نشریه علمی - پژوهشی
بوم‌شناسی کشاورزی

جلد ۱۶ شماره ۲
تابستان ۱۴۰۳

شاپا: ۷۷۱۳-۲۰۰۸

(شماره پیاپی: ۶۰)

عنوان مقالات

نشریه بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه)
دانشگاه فردوسی مشهد

با شماره پروانه ۸۹/۲۲۵۱۵ مورخه ۸۹/۹/۲۸ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی
درجه علمی پژوهشی شماره ۸۹/۳/۱۱/۵۲۴۷۹ مورخه ۸۹/۹/۸ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال ۱۳۹۸ ، کلیه نشریات دارای درجه" علمی -پژوهشی "به نشریه" علمی "تغییر نام یافتند.

جلد۱۶ شماره۲ تابستان ۱۴۰۳

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول: دکتر بهنام کامکار، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر داخلی: دکتر سرور خرم‌دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵
تلفن: ۳۸۸۰۴۶۵۴-۰۵۱ **نمابر:** ۳۸۷۸۷۴۳۰-۰۵۱
پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir **آدرس سایت:** https;//agry.um.ac.ir

این نشریه در پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:
پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)
مقالات این شماره در سایت https://agry.um.ac.ir به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 197-217

Study Root System Structure and Characterstics in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars Influenced by Applications of Sources of Fertilizer under Dryland Farming

Rahim Naseri[1*], Amir Mirzaei[2] and Abbas Soleymanifard[2]

1- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor, Crop and Horticultural Science Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ilam, Iran.
(*- Corresponding author's Email: mailto:r.naseri@ilam.ac.ir)

Received: 10-02-2021
Revised: 01-07-2021
Accepted: 04-07-2021
Available Online: 04-07-2021

How to cite this article:
Naseri, R., Mirzaei, A., & Soleymanifard, A. (2024). Study root system structure and characteristics in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars influenced by applications of sources of fertilizer under dryland farming. *Journal of Agroecology*, *16*(2), 197-217. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2021.68851.1023

Introduction

Among the nutrients used by the plant for the growth of nitrogen due to its participation in the structure of proteins, amino acids, coenzymes and nucleic acids are the main factors involved in plant growth and fertility. In recent decades, a group of soil bacteria in the rhizosphere has been introduced as plant growth-promoting bacteria that have been able to improve crop growth. In addition to the positive effects on soil properties, these bacteria are economically and environmentally beneficial and a good alternative to chemical fertilizers. *Azotobacter* and *Azpirillum* are the most important Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) in plants that, in addition to bio-stabilizing nitrogen, produce growth-promoting hormones such as auxin, gibberellin, and cytokines. Modification of root system architecture by PGPR implicates the production of phytohormones and other signals that lead to enhanced secondary root branching and development of the root system. Since accessible water is the main factor limiting growth in rainfed agriculture, so one of the ways to improve nutrition and plant growth is to use PGPR. Therefore, this study was carried out on the role of *Azospirillum* + *Azetobacter* on root traits of new wheat cultivars in Ilam province.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of growth-promoting bacteria on root system criteria in wheat under dryland conditions, a field experiment was carried out as a factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications at the farm station of Sarablah Agricultural Research Center during 2019-2020 cropping season. Experimental treatments include different wheat cultivars (Sardari, Karim, Koohdasht and Rijaw) and treatment of different fertilizer sources, including control (without fertilizer treatment), 50% urea chemical fertilizer (50% of required), *Azospirillum* + 50% 50% urea chemical fertilizer (50% of required), *Azetobacter* + 50% N fertilizer, *Azospirillum* + *Azetobacter* + 50% urea chemical fertilizer (50% of required) and 100% urea chemical fertilizer (100% of required). Each experimental plot consisted of eight planting rows with a

https://doi.org/10.22067/agry.2021.68851.1023

row spacing of 20 cm and a length of 4 m. Nitrogen fertilizer (120 $kg.ha^{-1}$) was applied at planting and stalking stage based on soil test. Phosphorus fertilizer was applied from triple superphosphate source at the recommended rate of 50 $kg.ha^{-1}$at planting time. In this study, root length, root fresh and dry weight, root volume, root surface, root diameter, specific root length, root length density, root specific mass, root tissue density and root surface area density were evaluated. Experimental data were analyzed using SAS statistical program. Comparison of means were done by Duncan test and graphs were drawn with Excel software.

Results and Discussion

The results of this study showed that the interaction between cultivar × fertilizer sources was significant in root characteristics of dryland wheat, so that the maximum root length (115.6 cm), root volume (13.3 cm^3), root surface (137.2 cm^2), specific root length (46.9 cm root $length.g^{-1}$ DW root), specific root mass (0.0045 g of DW $roots.cm^{-3}$ soil volume), root length density (0.214 cm root $length.cm^{-3}$ soil volume), root tissue density (32.4 g $root.cm^{-3}$ soil volume) and root surface area density (127.5 $cm^2.cm^{-3}$) was obtained in Rijo cultivar × *Azospirillum* + *Azetobacter* + 50% 50% urea chemical fertilizer (50% of required) compared to control treatment (without fertilizer sources).

Conclusion

The results showed that due to the lack of rainfall in most rainfed fields of the province and also due to the positive effect of fertilizer biofertilizer in maintaining soil moisture, improving the physical and chemical quality of soil, to achieve proper grain yield in rainfed conditions of biofertilizer with chemical fertilizer Used nitrogen. In this study, it was observed that in the combined system of biochemical and chemical fertilizers, the rooting system increases so that the maximum root length, root volume, root area, root-specific volume, root length density, root tissue density and root surface density was observed from Rijaw cultivar × *Azospirillum* + *Azetobacter* + 50% N chemical fertilizer. Bacteria increase plant growth by affecting the plant by improving physiological and biochemical conditions to increase resistance to adverse environmental factors in rainfed agriculture. Therefore, the results of this study can be concluded that in rainfed conditions where the intensity and fluctuations of rainfall are not predictable, having a strong root system can greatly reduce the harmful effects of water deficit against environmental stresses in the region and cause an acceptable increase in the yield of dryland wheat grain.

Keywords: Root diameter, Root length density, Root specific volume, Root tissue density, Root volume

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۱۷-۱۹۷

بررسی ساختار و خصوصیات سیستم ریشه‌ای ارقام گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم تحت کاربرد منابع مختلف کودی

رحیم ناصری[1*]، امیر میرزایی[2] و عباس سلیمانی‌فرد[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه روی سیستم ریشه‌ای گندم در شرایط دیم، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک-های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله استان ایلام در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام مختلف گندم (سرداری، کریم، کوهدشت و ریژاو) و منابع مختلف کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم* + کود شیمیایی اوره تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره بود. صفات مورد ارزیابی در این پژوهش شامل طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، قطر ریشه، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه بود. بیشترین طول ریشه (۱۱۵/۶ سانتی‌متر)، حجم ریشه (۱۳/۳ سانتی‌مترمکعب)، سطح ریشه (۱۳۷/۲ سانتی‌مترمربع)، طول مخصوص ریشه (۴۶/۹ سانتی‌متر طول ریشه بر گرم وزن خشک ریشه)، حجم مخصوص ریشه (۰/۰۰۴۵ گرم وزن خشک ریشه بر سانتی‌مترمکعب حجم خاک)، تراکم طول ریشه (۰/۲۱۴ سانتی‌متر طول ریشه بر سانتی‌مترمکعب خاک)، تراکم بافت ریشه (۳۲/۴ گرم ریشه بر مترمکعب حجم خاک) و چگالی سطح ریشه (۱۲۷/۵ سانتی‌متر مربع بر سانتی‌مترمکعب) در رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره نسبت به شاهد(عدم مصرف کود) و کمترین طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، طول مخصوص ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه در رقم سرداری × شاهد (عدم مصرف کود) مشاهده گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده در شرایط دیم، گندم رقم ریژاو با توجه به ساختار ریشه‌ای گسترده و مناسب‌تر در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* عملکرد قابل قبولی را توانست به‌دست آورد، بنابراین می‌توان این رقم را پیشنهاد داد.

واژه‌های کلیدی: تراکم بافت ریشه، تراکم طول ریشه، حجم ریشه، حجم مخصوص ریشه، قطر ریشه

مقدمه

اکثر زمین‌های زراعی کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار داشته که دارای اسیدیته قلیایی و مواد آلی اندکی بوده که موجب کاهش حلالیت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در خاک می‌گردد. نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر ضروری در گیاهان بوده که دو سوم آن به‌واسطه آبشویی، تصعید، روان‌آب و فرسایش از دسترس گیاه خارج می‌گردد. به‌منظور از بین بردن این مشکل، کاربرد کودهای شیمیایی افزایش یافته است که مصرف بیش از حد این کودها در طولانی‌مدت سبب بروز مشکلات فراوانی از جمله تخریب جمعیت میکروبی خاک و آلودگی محیط‌زیست می‌شود (Boveiri Dehsheikh et al., 2017). باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم سبب بهبود رشد گیاهان می‌شوند. باکتری‌های

۱- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
۲- استادیار، بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: r.naseri@ilam.ac.ir)
https://doi.org/ 10.22067/agry.2021.68851.1023

افزاینده رشدگیاه تأثیر بسزایی در روند افزایش رشد گیاه دارند، از جمله این باکتری‌ها به *آزوسپیریلیوم*، *ازتوباکتر* و *سودوموناس* می‌توان اشاره نمود (Abbasi Seyahjani et al., 2017). یکی از مهم‌ترین تأثیر باکتری *آزوسپیریلیوم* تغییر در مورفولوژی سیستم ریشه گیاه میزبان بوده که با افزایش تعداد ریشه‌های ثانویه و موئین سبب افزایش سطح ریشه و در نهایت، سبب جذب آب و عناصر غذایی می‌گردد (Askary et al., 2009). در همین راستا، کاکمکی و همکاران (Cakmakci et al., 2007) گزارش کرده‌اند که تلقیح بذر جو (*Hordeum vulgare* L.) با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، سبب افزایش طول و وزن ریشه‌ها می‌گردد. در پژوهش دیگری، گزارش شده که تلقیح گندم (*Triticum aestivum* L.) با *آزوسپیریلیوم* (Naiman et al., 2009) سبب افزایش حجم و بیوماس ریشه شده که این توسعه ریشه با افزایش هورمون‌های رشد (Karthikeyan et al., 2007) و همچنین تراوش پروتونی (Mostajeran et al., 2004) مرتبط بوده است. ترشح پروتونی در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* موجب افزایش جذب آب توسط گیاه شده (Mahfouz & Sharaf-Eldin, 2007)، امّا در شرایط قلیائی بودن خاک به‌دلیل زیادشدن رادیکال هیدروکسیل موجب محدودشدن رشد ریشه می‌گردد (Mostajeran et al., 2004). عموآقایی (Amooaghaie et al., 2002) در پژوهش‌های خود نشان دادند که علت افزایش عملکرد و رشد، به‌واسطه رشد سیستم ریشه به‌خصوص در مراحل ابتدایی رشد در گندم بوده است. تلقیح بذر گندم با باکتری *آزوسپیریلیوم* از طریق افزایش سیستم ریشه‌ای گیاه سبب افزایش جذب آب و مواد غذایی و در نهایت، سبب بالارفتن زیست‌توده ریشه گندم شده است (Russo et al., 2005). آنچه مشخص است تغییرات هورمون‌های گیاهی به‌واسطه استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه منجر به افزایش وزن خشک ریشه (Shaharoona et al., 2006)، طول و سطح ریشه (Shaharoona et al., 2008) می‌شود. مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2004) در طی آزمایشی، گزارش کردندکه باکتری *آزوسپیریلیوم* سبب القاء تغییر در تراکم و ایجاد انشعاب در تارهای کشنده ریشه گندم می‌گردد. در پژوهش انجام گرفته روی نخود (*Cicer arietinum* L.) گزارش شده است که طول و حجم ریشه در حضور باکتری *آزوسپیریلیوم* افزایش معنی‌داری داشت (Naseri et al., 2019b). با توجه به اینکه شناخت ساختار ریشه گیاه از اهمیت ویژه‌ای در شرایط دیم برخوردار است و گسترش مناسب آن یکی از عوامل تأثیرگذار در تولید گندم تحت شرایط کم‌آبی می‌باشد، هدف از این تحقیق، بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* بر سیستم ریشه‌ای ارقام گندم در شرایط دیم بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر باکتری‌های افزاینده رشد گیاه بر سیستم ریشه‌دهی ارقام جدید گندم دیم، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله استان ایلام با عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و با طول جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۶ دقیقه و ارتفاع ۹۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ارقام مختلف گندم (سرداری، کریم، کوهدشت و ریژاو) و منابع مختلف کودی شامل شاهد (عدم مصرف کود)، کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم+* کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه)، باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره بود. هر کرت شامل هشت ردیف کشت به‌طول چهار متر و فاصله ردیف‌های کشت ۲۰ سانتی‌متر بود. *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* (10^8 CFU.ml^{-1}) از مؤسسه آب و خاک کرج تهیه گردید. بذر ارقام مختلف گندم از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان ایلام تهیه گردید (جدول ۱). قبل از کاشت عملیات کاشت، بذرهای ارقام مختلف گندم با باکتری *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* آغشته (بذور تیمار شده به‌مدت چند دقیقه روی سطح تمیز، در سایه قرار داده شدند تا خشک شوند) و سپس کشت شد. آمار هواشناسی محل مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. کودهای نیتروژن و فسفر براساس آزمون خاک (جدول ۳) مورد استفاده قرار گرفتند. کود نیتروژن از منبع اوره به‌میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (در هنگام کاشت و شروع ساقه‌دهی) به زمین داده شد. کود فسفره از منبع سوپر فسفات تریپل به‌میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار توصیه شده در زمان کاشت مصرف گردید.

جدول ۱- خصوصیات ارقام گندم مورد بررسی

Table 1-Studied wheat cultivars characterstics

ارقام Cultivars	منشأ Source	تنش خشکی Drought stress	سال معرفی Release year	تحمل به ورس Tolerant to lodging
کریم Karim	ایکاردا ICARDA	متحمل Tolerant	2011	متحمل Tolerant
کوهدشت Kohdast	-	متحمل Tolerant	2000	متحمل Tolerant
ریژاو Rijaw	ایران Iran	متحمل Tolerant	2011	متحمل Tolerant

جدول ۲- مقادیر متوسط ماهانه دما، بارش و رطوبت در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی سرابله در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸

Table 2- Monthly mean value of precipitation and relative humidity in Agricultural Research Field Station of Sarableh during 2019-2020 cropping seasons

ماه Month	حداقل دما Min. temp. (˚C)	حداکثر دما Max. temp. (˚C)	میزان بارش Precipitation (mm)	حداقل رطوبت Min. RH (%)	حداکثر رطوبت Max. RH (%)
مهرماه Oct.	13.2	37.2	15	18	41
آبان Nov.	0.8	27.2	44.6	33	73
آذر Dec.	0.2	19.6	134.4	53	83
دی Jan.	-2	16.4	37.4	47	84
بهمن Feb.	-8.5	19.5	60.3	43	79
اسفند Mar.	1.7	24.8	267.1	47	84
فروردین Apr.	2.6	26.6	33.5	40	80
اردیبهشت May	4.8	36.5	11.3	24	64
خرداد Jun.	16	39.7	0	12	31

جدول۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (در عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر) محل آزمایش ۹۹- ۱۳۹۸

Table 3- Soil physical and chemical properties (0-30 cm depth) of experimental area 2019-2020

بافت Texture	آهن Fe	روی Zn	مس Cu	منگنز Mn	منیزیم Mg	فسفر Available P	پتاسیم Available K	نیتروژن Total N	کربن آلی Organic C	شوری EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
	(mg.kg^{-1})							(%)			
لومی- رسی Loam-clay	10	1.4	5.2	12	216	6	280	0.13	1.5	0.40	7.1

جهت اندازه‌گیری صفات مرتبط با ریشه در داخل مزرعه در مرحله گرده‌افشانی (Naseri et al., 2019a) از استوانه‌ای فلزی (شبیه به اوگر نمونه‌برداری خاک) که به‌صورت دستی طراحی و الگوبرداری شده بود، استفاده گردید. استوانه فلزی مورد استفاده در این پژوهش دارای ۳۰ سانتی‌متر طول و دو سانتی‌متر قطر بود (Naseri et al., 2019a). جهت نمونه‌گیری ریشه داخل خاک، استوانه را تا عمق مورد

در خاک فرو برده، سپس ریشه‌ها در ظرف یک بار مصرف به آزمایشگاه منتقل و پس از شستشوی ریشه‌ها، در داخل یخچال نگهداری شدند. وزن تر ریشه‌ها توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن گردید (Akhavan et al., 2012). پس از اندازه‌گیری پارمترهای مربوط به ریشه، ریشه‌های مورد آزمایش در داخل دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت گذاشته سپس توسط ترازوی دیجیتال با دقت یک هزارم وزن شدند. طول ریشه‌ها توسط دست و پس از قرار دادن آن‌ها در آب جهت شناورشدن توسط خط‌کش اندازه‌گیری شدند.

محاسبه حجم ریشه با استفاده از استوانه مدرج از طریق معادله زیر انجام گرفت:

معادله (۱)
$$A = B - C$$

که در آن، A: حجم ریشه، B: حجم آب و ریشه و C: حجم آب خالی می‌باشند.

سطح ریشه که از معادله زیر محاسبه شد (Akhavan et al., 2012; Shaban et al., 2012):

معادله (۲)
$$RA = 2 \times SQRT(RV \times 3.14 \times RL)$$

که در آن، RA[1]: سطح ریشه، RV[2]: حجم ریشه و RL[3]: طول ریشه، SQRT: ریشه دوم می‌باشند.

شادابی ریشه از طریق معادله زیر محاسبه گردید (Hajabbasi, 2001):

معادله (۳)
$$RF = \frac{RL}{RV}$$

که در آن، RF[4]: شادابی ریشه (ظرافت ریشه) و RL: طول ریشه و RV: حجم ریشه می‌باشند.

قطر ریشه که طریق محاسبه آن به‌صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001; Schenk et al., 1979):

معادله (۴)
$$RD = SQRT\frac{(4 \times FRW)}{(RL \times 3.14)}$$

که در آن، RD[5]: قطر ریشه، FRW[6]: وزن تر ریشه، RL: طول ریشه و SQRT: ریشه دوم می‌باشند.

1- Root area
2- Root volume
3- Root length
4- Root fineness
5- Root diameter
6- Fresh root weight

محاسبه طول مخصوص ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Mahanta et al., 2004; Huang et al., 1991):

معادله (۵)
$$SRL = \frac{RL}{DRW}$$

که در آن، SRL[7]: طول مخصوص ریشه، RL: طول ریشه و DRW[8]: وزن خشک ریشه می‌باشند.

طریقه محاسبه محتوی آب نسبی ریشه به‌صورت زیر صورت گرفت (Hasanabadi et al., 2010; Lovelli et al., 2012):

معادله (۶)
$$RWC = \frac{FRW - DRW}{DRW}$$

که در آن، RWC[9]: محتوی آب نسبی ریشه، RFW: وزن تر ریشه و DRW: وزن خشک ریشه می‌باشند.

تراکم طول ریشه از طریق معادله زیر به‌دست آمد (Mahanta et al., 2014; Mandal et al., 2003):

معادله (۷)
$$RLD = \frac{RL}{SV}$$

که در آن، RLD[10]: تراکم طول ریشه، RL: طول ریشه و SV[11]: حجم خاک می‌باشند.

حجم مخصوص ریشه از طریق معادله زیر به‌دست آمد (Hasanabadi et al., 2010):

معادله (۸)
$$SRM = \frac{RDW}{SV}$$

که در آن، SRM[12]: حجم مخصوص ریشه،DRW: وزن خشک ریشه و SV: حجم خاک می‌باشند.

طریقه محاسبه تراکم بافت ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Paula & Pausas, 2011):

معادله (۹)
$$RTD = RDW \times RV$$

که در آن، RTD[13]: تراکم بافت ریشه، DRW: وزن خشک ریشه و RV: حجم ریشه می‌باشند.

طریقه محاسبه تراکم حجم ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Hajabbasi, 2001):

7- Special root lenght
8- Dry root weight
9- Root water content
10- Root length density
11- Soil volume
12- Special root mass
13- Root tissue density

معادله (۱۰)
$$RMD = \frac{FRW}{SV}$$

که در آن، RMD[1]: تراکم حجم ریشه، FRW: وزن تر ریشه و SV: حجم خاک می‌باشند.

طریقه محاسبه چگالی سطح ریشه به‌صورت زیر انجام گرفت (Akhavan et al., 2012):

معادله (۱۱)
$$RAD = RL \times RD \times 3.14$$

که در آن، RAD[2]: چگالی سطح ریشه، RL: طول ریشه و RD: قطر ریشه می‌باشند.

جهت محاسبه عملکرد دانه در برداشت نهایی پس از حذف اثرات حاشیه‌ای و سپس پس از جداکردن کاه و کلش، عملکرد دانه در سطحی معادل ۱/۸ مترمربع محاسبه گردید. تجزیه واریانس استفاده از نرم‌افزار SAS 9.2 و مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و رسم شکل‌ها توسط Excel 2016 صورت گرفت.

نتایج و بحث

وزن تر و خشک ریشه

براساس نتایج واریانس، اثرات تیمار رقم و منابع مختلف کودی بر وزن تر و خشک ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). رقم ریژاو دارای بیشترین وزن تر و خشک ریشه بود (جدول ۵). استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش این صفت گردید، به‌طوری‌که تیمار باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کود اوره دارای بیشترین و تیمار عدم مصرف کود دارای کمترین وزن تر و خشک ریشه بود. (جدول ۵). در این آزمایش همان‌طوری که جدول ۵ نشان می‌دهد ظاهراً بین ارقام از نظر وزن ریشه اختلاف وجود دارد، رقم ریژاو و کریم نسبت به سرداری و کوهدشت دارای وزن ریشه بیشتری بوده که ممکن است ناشی از اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد. آنچه مشخص است ارقامی که بتوانند در مراحل اولیه رشد وزن بیشتری از ریشه را به خود اختصاص دهند، از وضعیت مطلوب‌تری از جمله طول ریشه، حجم ریشه خواهند داشت که در این پژوهش این موضوع برای ارقام ریژاو و سپس کریم صدق می‌کرد. افزایش وزن خشک ریشه نسبت به شاهد را می‌تواند به‌دلیل اثر باکتری در اختیار قرار دادن عناصر غذایی مورد نیاز گیاه به‌ویژه نیتروژن و همچنین ترشح یک سری ترکیبات که توسط باکتری‌ها آزاد می‌شود، نسبت داد. تلقیح گندم با *آزوسپیریلیوم* سبب افزایش توسعه ریشه می‌گردد که این امر موجب توانایی بیشتر در جذب آب و مواد غذایی توسط گیاه شده که نتیجه آن افزایش زیست‌توده ریشه و در نهایت، سبب وزن خشک ریشه گندم می‌گردد (Russo et al., 2005). افزایش وزن ریشه گندم در نتیجه تلقیح با باکتری‌های افزاینده رشد در پژوهش‌های دیگری نیز گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد (Banerjee et al., 2006; Vessey & Buss, 2002; Shaharoona et al., 2008). صدیق و همکاران (Siddigue et al., 1990) اظهار داشتند که ارقام جدید در مقایسه با ارقام قدیمی از نظر وزن خشک ریشه اختلاف معنی‌داری وجود دارد، که دلیل این امر را اختلاف ژنتیکی بین ارقام عنوان نمودند. مشخص شده است که تغییرات فیتوهورمونی به‌دلیل استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه سبب افزایش وزن خشک ریشه خواهد شد (Shaharoona et al., 2006).

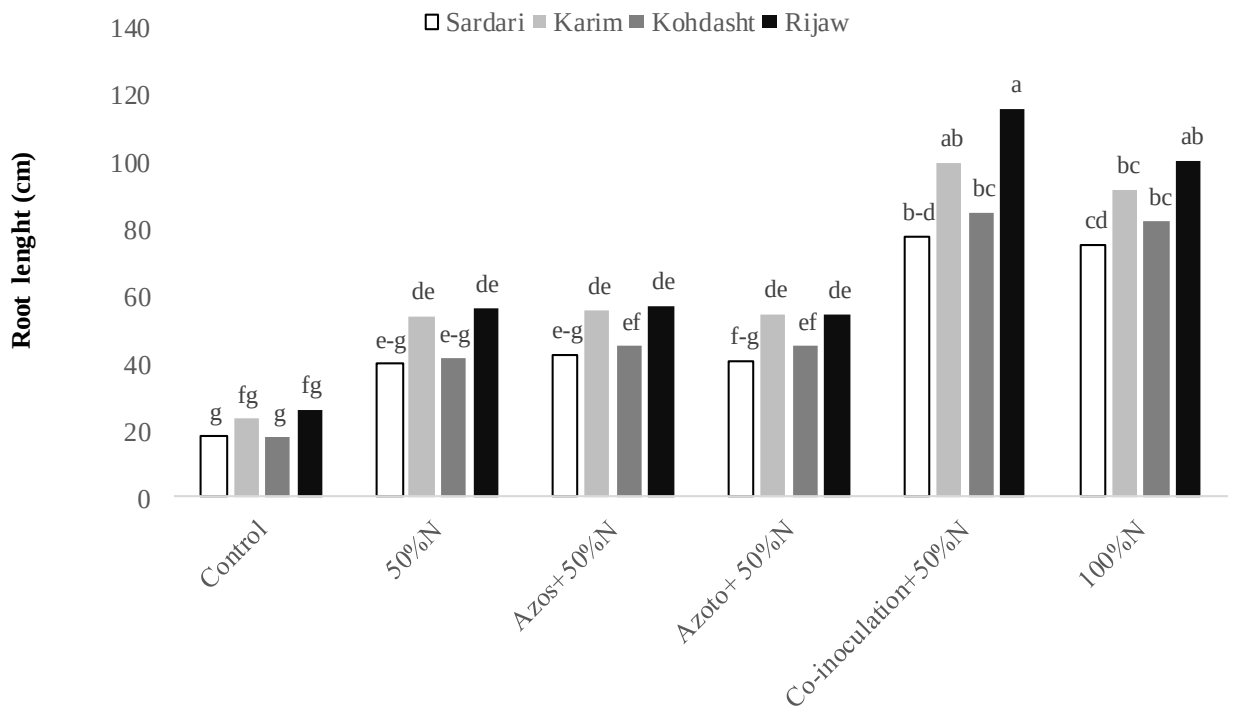
طول ریشه

طول ریشه یکی مهم‌ترین پارامتر در روند رشد گیاهی استفاده می‌گردد، زیرا پژوهشگران اعتقاد دارند که طول ریشه در واحد حجم خاک بهترین خصوصیت جهت ارزیابی آب خاک و جذب عناصر توسط گیاه می‌باشد (Eshghizadeh et al., 2012; Khazaei et al., 2004). اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد بر طول ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). بیشترین میزان طول ریشه از رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کود اوره و کمترین میزان طول ریشه در شاهد رقم سرداری مشاهده شد. به‌دست آمد (شکل ۱). تلقیح بذر ارقام گندم با باکتری‌های *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* باعث افزایش طول ریشه شد. در این پژوهش نشان داده شد که بین ارقام مختلف گندم در تیمارهای مختلف اختلاف زیادی وجود دارد، آنچه به نظر می‌رسد، در بین ارقام گندم ریژاو و سپس کریم از سرعت اولیه ریشه بیشتری برخوردار بوده که نسبت به سایر ارقام سرداری و کوهدشت در وضعیت مطلوب‌تری قرار داشتند و امّا در حضور کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه این تفاوت در طول ریشه را برای رقم ریژاو و کریم بیشتر بود. به نظر می‌آید که ارقامی که بتوانند در مراحل اولیه رشد طول ریشه را داشته باشند، از جمله سطح

1- Root mass density
2- Root surface area density

ریشه، طول مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه و چگالی سطح ریشه بیشتری برخوردار هستند که در این پژوهش، این موضوع برای ارقام ریژاو و سپس کریم نسبت به ارقام سرداری و کوهدشت صدق کرد. افزایش طول ریشه با کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است (Nezarat & Gholami, 2009). گسترش طول ریشه از طریق افزایش جذب آب سبب بهبود عملکرد دانه (شکل ۱۰) و ثبات آن مؤثر است. طول ریشه نقش بسیار مهمی در جذب آب از اعماق پایین‌تر خاک دارد (Serraj et al., 2004).

باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق تغییر در پارامترهایی ریشه‌ای مثل توسعه ریشه،وزن ریشه، بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارد (Lucy et al., 2004). مشخص شده است که کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد با تغییر غلظت داخلی هورمون‌های گیاه سبب افزایش طول ریشه می‌شود (Glick et al., Shaharoona et al., 2008 ; 2001). باکتری‌های افزاینده رشد گیاه با کاهش تولید اتیلن سبب تحریک رشد ریشه می‌شود (Shaharoona et al., 2008; Glick et al., 2001).



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۱- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر طول ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 1- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root length of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

جدول ۵- مقایسه ساده صفات مربوط به ریشه تحت تأثیر رقم و منبع کودی در شرایط دیم

Table 5- Simple comparison of root traits related by affected cultivar and fertilizer source under dryand conditions

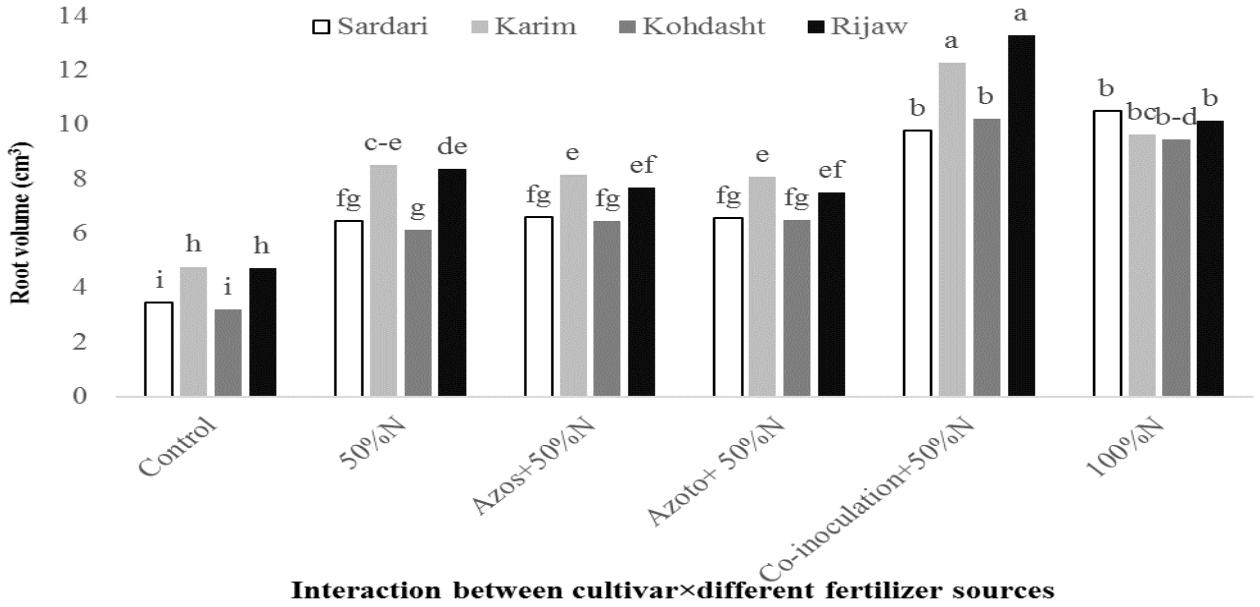
صفات Traits	وزن تر ریشه در بوته Fresh root weight per plant (g)	وزن خشک ریشه در بوته Dry root weight per plant (g)	شادابی ریشه Root fineness (cm root.root fresh weight^{-1})	آب ریشه Root water (g)
رقم Cultivar				
سرداری Sardari	7.2^{b*}	1.5^{b}	6.4^{c}	7.03^{b}
کریم Karim	7.8^{ab}	1.7^{a}	7.05^{b}	7.5^{ab}
کوهدشت Kohdasht	7.2^{b}	1.6^{b}	6.6^{c}	7.06^{b}
ریژاو Rijaw	8.6^{a}	1.7^{a}	10.05^{a}	8.4^{a}
منابع مختلف کودی fertilizer source				
شاهد (عدم مصرف کود) Control	4.03^{c}	0.90^{c}	5.3^{c}	3.7^{c}
کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه) 50% urea chemical fertilizer	7.2^{b}	1.44^{b}	6.3^{b}	7.07^{b}
باکتری *آزوسپیریلیوم* + کود شیمیایی اوره (تأمین ۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azospirillum* + 50% urea chemical fertilizer	7.5^{b}	1.59^{b}	6.8^{b}	7.08^{b}
باکتری *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azetobacter* + 50% urea chemical fertilizer	7.2^{b}	1.49^{b}	6.6^{b}	7.2^{b}
آزوسپیریلیوم + *ازتوباکتر* + کود شیمیایی اوره (۵۰ درصد نیاز گیاه) *Azospirillum*+*Azetobacter* + 50% urea chemical fertilizer	10.2^{a}	2.2^{a}	12.03^{a}	9.9^{a}
تأمین ۱۰۰ درصد نیاز گیاه با اوره 100% urea chemical fertilizer	10.2^{a}	2.2^{a}	8.5^{ab}	9.9^{a}

*میانگین‌هایی، در هر ستون، که دارای حرف مشترک می‌باشند بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test.

حجم ریشه

نتایج آماری حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها بیانگر اثـر معنـی‌دار (یک درصد) برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی بر حجم ریشه بود (جدول ۴). بیشترین حجم ریشه در رقم ریژاو و تحت کاربرد بـاکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره و کمتـرین حجم ریشه در رقم سرداری و شـاهد به‌دسـت آمـد. در ایـن پـژوهش میزان افزایش حجـم ریشـه در رقـم ریـژاو و تحـت کـاربرد بـاکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره نسـبت بـه شاهد (عدم مصرف کود) ۷۳/۹ درصد بود (شکل ۲). از بین ارقام مورد بررسی، رقم ریژاو و کریم بالاترین حجم ریشه را دار بودند (شکل ۲). که این تفاوت ممکن است به علت اختلاف ژنتیکی بین ارقام باشد. با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد رقم ریـژاو و کـریم بیشـترین حجـم ریشه را دارا بودند. باکتری‌های افزاینده رشـد گیـاه بـا ایجـاد سیسـتم ریشه‌دهی گسترده سبب افزایش جذب آب و عناصر غذایی مـی‌گردنـد (Yang et al., 2009).



شکل ۲- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر حجم ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 2- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root volume of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

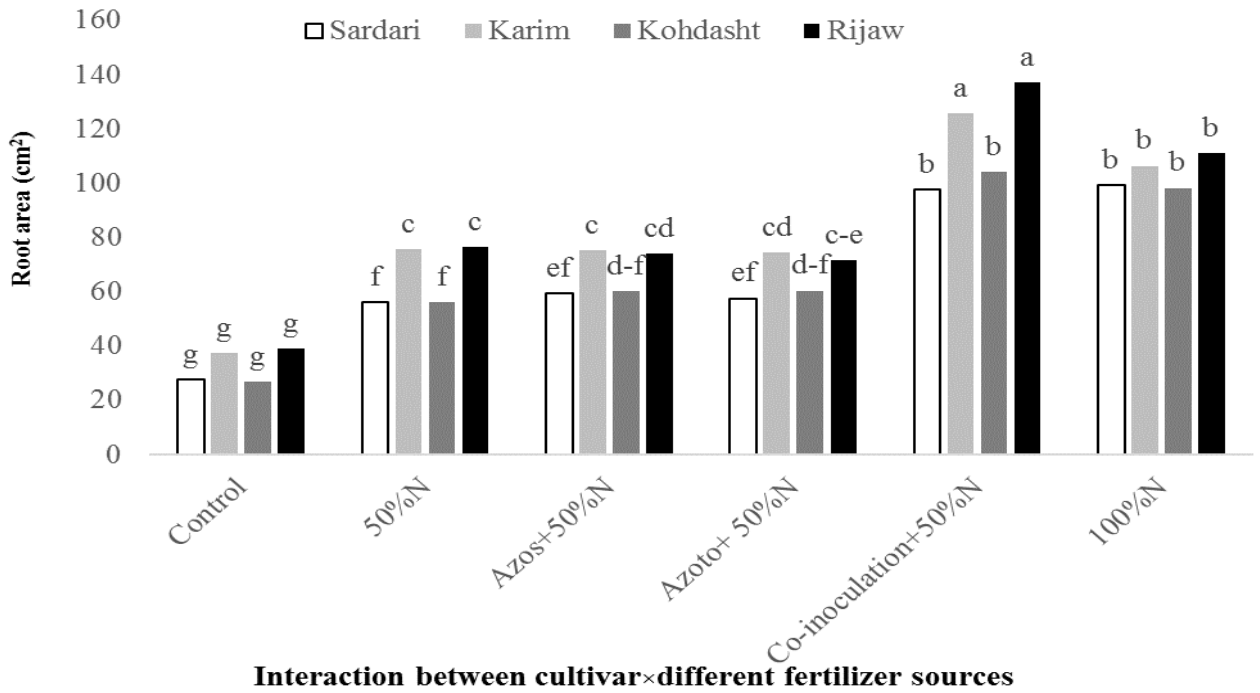
حجم ریشه از مهم‌ترین صفت در جذب آب و مواد غذایی بـوده و به‌عنوان یک صفت در بررسی بین قسمت‌های هـوایی و ریشـه گیـاه کاربرد دارد (Ganjeali et al., 2007). بیان شـد کـه نسـبت حجـم ریشه به اندام‌های هوایی می‌توانـد یکـی از مهم‌تـرین شـاخص‌هـای تخمین جذب آب توسط گیاه باشد (Caird et al., 2007).

سطح ریشه

اثر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی سطح ریشه را بـه‌طـور معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر قرار داد (جدول ۴). با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، بیشترین سطح ریشه (افزایش ۷۹/۵ درصدی) در رقم ریژاو در تیمار *آزوسـپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کـود شـیمیایی اوره و کمتـرین آن در رقـم سـرداری و شـاهد

مشاهده شد (شکل ۳). در این پژوهش، مشخص گردید که در تمامی ارقام گندم مورد بررسی در حضور تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، سطح ریشه به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت.

عبدل العزیز و همکاران (Abdelaziz et al., 2007) و ال‌قدبان (EL-Ghadban, 2002) به دنبال تلقیح با تثبیت‌کننده‌های نیتروژن روی گیاهان رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) و مرزنگوش (*Majorana hortensis* L.) نشان دادند که جذب آب و عناصر غذایی پرمصرف در حضور باکتری ناشی از افزایش سطح ریشه بوده که مستقیماً روی فرآیندهای فیزیولوژیکی و مصرف کربوهیدرات‌ها مؤثر است. افزایش سطح ریشه از طریق افزایش سطح جذب‌کننده می‌تواند کارآیی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد (Abrishamchi et al., 2012).



شکل ۳- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر سطح ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 3- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root area of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های رشد گیاه با کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه، افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین بوده که این امر با افزایش سطح ریشه و دسترسی به آب و عناصر غذایی موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary et al., 2009). آنچه در این پژوهش نشان داده شد، به نظر می‌رسد که رقم ریژاو از طریق افزایش طول و سطح ریشه، آب بیشتری را در شرایط دیم جذب توانست جذب کند که دلیل این موضوع را تغییر ساختار ریشه و رشد بهتر ریشه از جمله افزایش تعداد ریشه بیان کردند (Khalvati et al., 2005; Berta et al., 2005).

شادابی ریشه

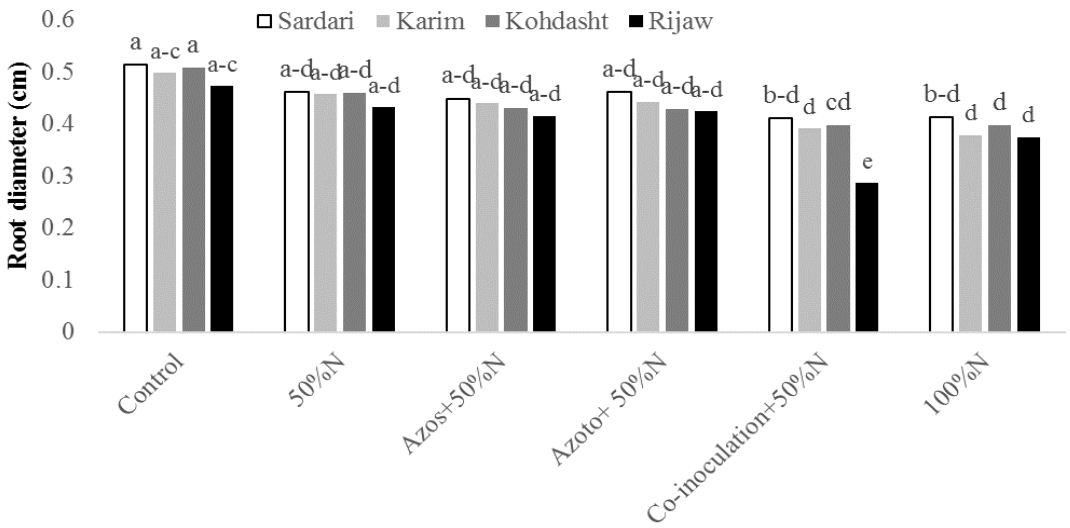
براساس نتایج واریانس داده‌های حاصل از این پژوهش، اثرات اصلی رقم و منابع مختلف کودی بر شادابی ریشه معنی‌دار گردید

(جدول ۴). رقم ریژاو و سرداری به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان بودند (جدول ۵). در این پژوهش مشاهده گردید که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش شادابی ریشه گردید، به‌طوری‌که تیمار *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* +۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین و شاهد (عدم مصرف کود) کمترین میزان شادابی ریشه را داشت (جدول ۵). در واقع، شادابی ریشه طراوت و ظرافت ریشه را در داخل خاک را نشان می‌دهد، هر چه این ظرافت ریشه بیشتر باشد، نشان‌دهنده نازک بودن ریشه بوده (Hajabbasi, 2001) که به‌نظر می‌رسد، می‌تواند در جذب آب و املاح نقش مؤثرتری داشته باشد. در پژوهش دیگری نیز گزارش شده است که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد موجب افزایش شادابی ریشه در گندم شد (Naseri, 2017).

قطر ریشه

بر پایه نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها، اثر برهم‌کنش رقم × منابع کودی بر قطر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۴). تیمارهای حاوی باکتری قطر ریشه کمتری داشتند. بیشترین قطر ریشه از رقم سرداری در شاهد (عدم مصرف کود) و کمترین قطر ریشه از رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره به‌دست آمد. براساس این نتایج رقم سرداری در شاهد (عدم مصرف کود) افزایش ۴۴/۳ درصدی در قطر ریشه را نشان داد. دلیل کاهش قطر ریشه در تیمارهای حاوی باکتری را می‌توان به افزایش طول ریشه نسبت داد (Jiriaie et al., 2014).

تغییراتی مورفولوژیکی ریشه از جمله افزایش طولی ریشه (شکل ۱) به‌دلیل نقش مواد تنظیم‌کننده رشد تولید شده به‌وسیله باکتری‌های افزاینده رشد گیاه گزارش شده است (Banerjee et al., 2006; Vessey & Buss, 2002). با توجه به اینکه با افزایش طول ریشه، از قطر آن کاسته خواهد شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.



شکل ٤- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر قطر ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 4- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root diameter of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

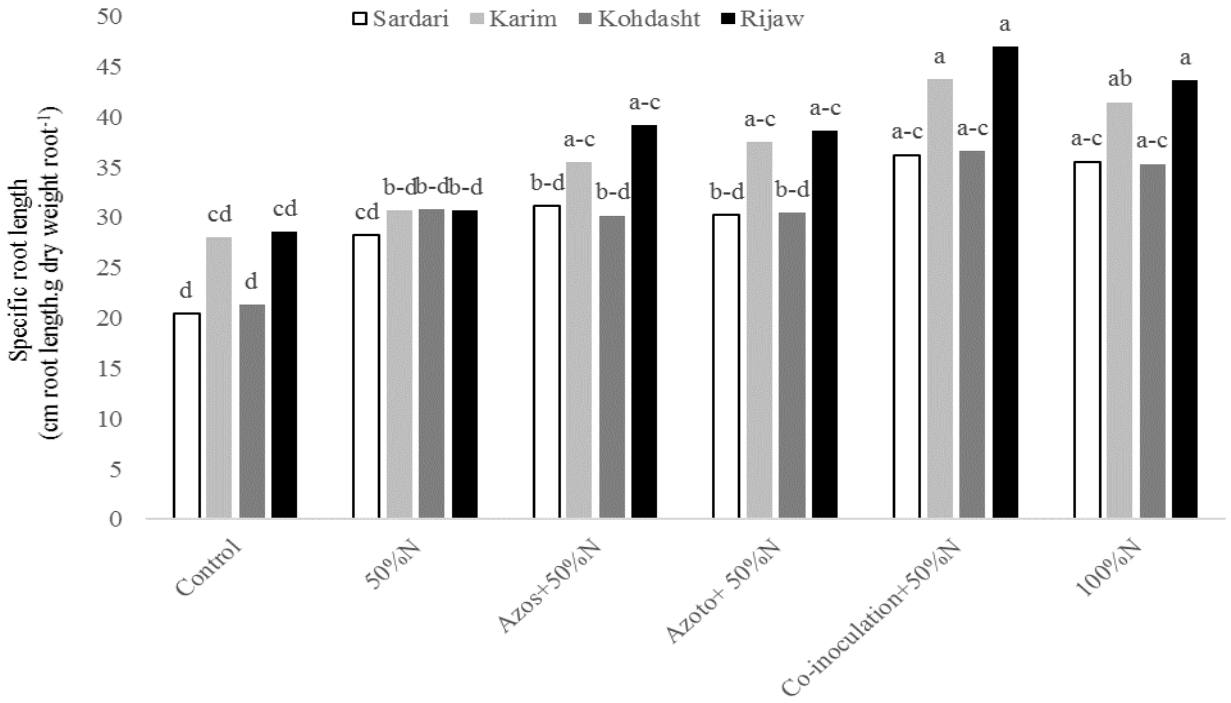
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

طول مخصوص ریشه

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که صفت طول مخصوص ریشه تحت تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید. در تیمار باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + تأمین ۵۰ درصد نیاز نیتروژن گیاه با کود اوره در رقم ریژاو بیشترین طول مخصوص ریشه را داشت و کمترین آن مربوط به شاهد(عدم مصرف کود) رقم سرداری بود (شکل ۵) .

کودهای زیستی از طریق در اختیار قرار دادن عناصر ضروری و مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌واسطه گسترش و توسعه سیستم ریشه سبب افزایش رشد گندم می‌گردد (Eydizadeh et al., 2010; Amiri Farsani et al., 2013). گیاه در شرایط کمبود آب، با تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه‌ها طول مخصوص ریشه را افزایش داده، در نتیجه توانایی ریشه در جذب آب را بهبود می‌بخشد (Shaban et al., 2012). علاوه‌بر طول ریشه، طول ویژه ریشه (نسبت طول ریشه به جرم آن) نیز از صفات مهم در نشان دادن کارایی ریشه در جذب آب و مقاومت به خشکی به‌شمار می آید (Bauhus et al., 1999).



شکل ۵- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر طول مخصوص ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 5- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on specific root length of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

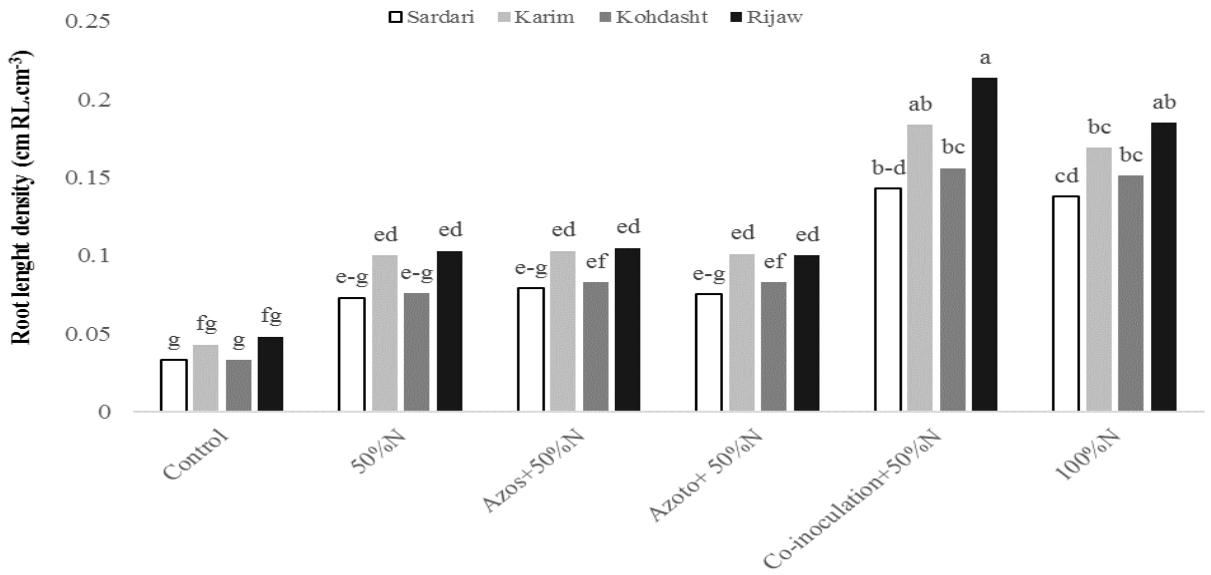
محتوی نسبی آب ریشه

محتوی نسبی آب ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمار اثرات اصلی رقم و منابع مختلف کودی قرار گرفت (جدول ۴). براساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها، رقم ریژاو بیشترین و رقم سرداری کمترین محتوی نسبی آب ریشه را دارا بودند (جدول ۵). مقایسه میانگین اثر تیمارها نشان داد که استفاده از باکتری‌های افزاینده رشد گیاه موجب افزایش این صفت گردید، به‌طوری‌که تیمار باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره بیشترین و شاهد (عدم مصرف کود) کمترین محتوی نسبی آب ریشه را به خود اختصاص دادند (جدول ۵). در واقع، محتوی نسبی آب می‌تواند نشان‌دهنده نقش ریشه در جذب، نگهداری و انتقال آب از ریشه به اندام‌های هوایی باشد. در گزارش‌های ناصری و همکاران (Naseri et al., 2018) روی گندم نیز نشان داده شد که از نظر محتوی نسبی آب ریشه بین ارقام تفاوت وجود دارد، به‌طوری‌که رقم کراس‌سبلان در حضور باکتری‌های افزاینده رشد گیاه افزایش ۵۴/۳ درصد را نشان داد.

تراکم طول ریشه

تجزیه و تحلیل داده‌ها نشان داد که اثر تیمارهای آزمایشی بر تراکم طول ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). از نظر تراکم طول ریشه رقم ریژاو تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره بیشترین (افزایش ۸۴/۵ درصدی افزایش) و رقم سرداری در شاهد کمترین میزان را به خود اختصاص دادند. مستاجران و همکاران (Mostajeran et al., 2004) در طی آزمایشی روی گندم، نشان دادند که باکتری *آزوسپیریلیوم* موجب تغییر در تراکم و انشعاب ریشه‌ای می‌گردد.

کودهای زیستی حاوی ریزجانداران از جنس *ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم* علاوه‌بر فراهم نمودن عناصر غذایی برای گیاه و تسهیل جذب عناصر غذایی از طریق تولید ترکیبات مختلف و ترشح اسیدهای آلی، با ساخت ویتامین‌ها، تولید سیدروفور، تولید مواد تنظیم‌کننده رشد گیاه از قبیل اکسین‌ها و جیبرلین‌ها، ساخت آنزیم‌های دخیل در رشد و نمو گیاه، تولید ترشحات حل‌کننده و کاهش اسیدیته خاک، سبب رشد، توسعه ریشه و اندام‌های هوایی گیاه شده و به‌طور غیرمستقیم در رشد گیاه نقش ایفاء می‌نمایند (Gupta et al., 2015).



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ٦- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر تراکم طول ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 6- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root length density of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

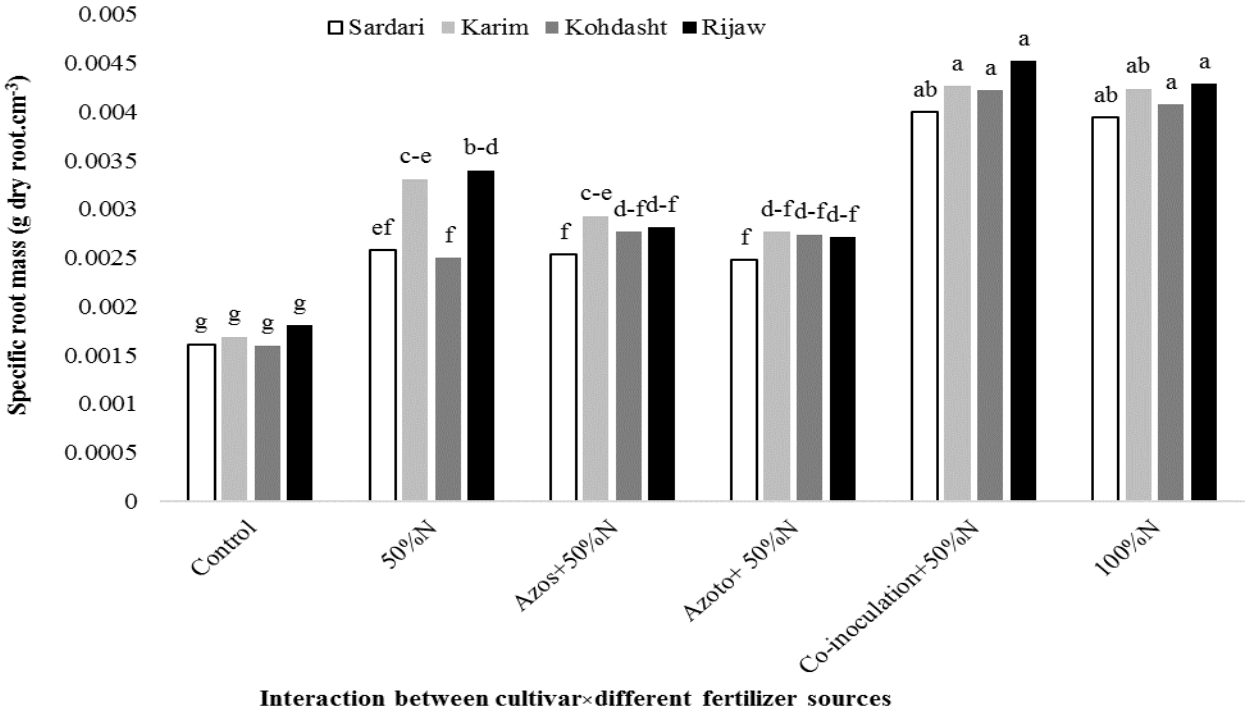
میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می‌باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

حجم مخصوص ریشه

در این آزمایش، تأثیر تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی بر حجم مخصوص ریشه معنی‌دار گردید (جدول ۴). براساس نتایج حاصل از این پژوهش، رقم ریژاو تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره، بیشترین حجم مخصوص ریشه (افزایش ۹۶/۴ درصدی) را به خود اختصاص دادند. حجم مخصوص ریشه نیز در رقم سرداری و در شاهد دارای کمترین میزان بود (شکل ۷). نشان داده شده است که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه مثل *ازتوباکتر* علاوه بر تثبیت نیتروژن مولکولی قادر به تولید مواد بیولوژیکی مثل اسید نیکوتینیک، اسید پنتوتنیک، اکسین‌ها، جیبرلین‌ها در اطراف ریشه گیاه بوده و با افزایش سیستم ریشه‌ای سبب بهبود جذب عناصر غذایی می‌گردد (Shata et al., 2007).

میرزا شاهی و همکاران (Mirzashahi et al., 2013) نشان دادند که در تیمارهایی که از کود زیستی *ازتوباکتر* استفاده شد، در سطوح پایین کود نیتروژن عملکرد دانه گندم بهبود یافت، آن‌ها افزایش جذب عناصر غذایی را ناشی از افزایش فراهمی زیستی عناصر معدنی خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و محلول کردن فسفر و پتاسیم و نیز افزایش تارهای کشنده و یا تشکیل ریشه جانبی به‌دلیل تولید تنظیم‌کننده‌های رشد گیاه (اکسین، جیبرلین و سیتوکینین) ارزیابی نمودند. کودهای زیستی به‌خصوص باکتری‌های *آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر* به‌عنوان محرک رشد گیاهی با تولید هورمون‌های رشد مانند اکسین سبب افزایش تولید تارهای کشنده ریشه و جذب عناصر غذایی می‌شوند (Kennedy et al., 2004).



شکل ۷- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر حجم مخصوص ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 7- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on specific root mass of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

تراکم بافت ریشه

نتایج تجزیه واریانس حاصل از داده‌ها برای تراکم بافت ریشه حاکی از آن است که بین تیمارهای رقم × منابع مختلف کودی در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴). با توجه به نتایج حاضر رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین تراکم بافت ریشه (افزایش ۹۰/۷ درصدی) و کمترین آن از رقم سرداری و در شاهد به‌دست آمد (شکل ۸).

با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین بیان کرد که همکاری باکتری‌های افزاینده رشد گیاه با ریشه ارقام مختلف گندم، سبب افزایش رشد ریشه و سطح جذب و ضمن افزایش جذب عناصر غذایی موجب جذب بیشتر آب از مناطق دورتر از ریشه و در نهایت، منتج به افزایش عملکرد دانه گردید (شکل ۱۰).

چگالی سطح ریشه

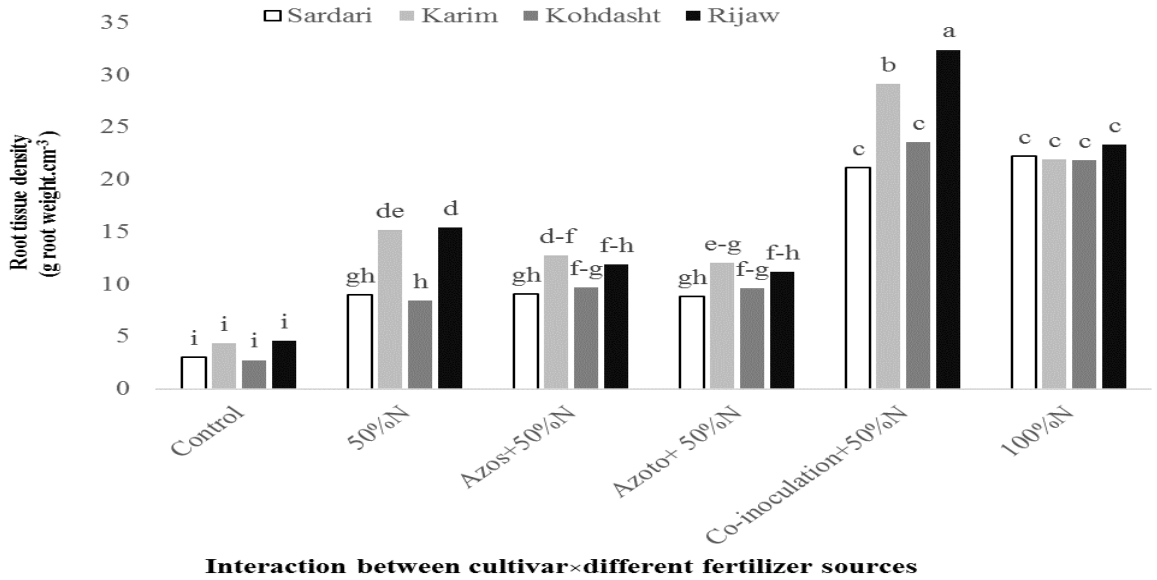
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر تیمارهای آزمایشی بر چگالی سطح ریشه در سطح احتمال یک درصد می‌باشد (جدول ۴). اثر برهم‌کنش بین تیمارها نشان داد که واکنش ارقام در منابع کودی متفاوت بود، به‌طوری‌که رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره بیشترین و رقم سرداری در شاهد کمترین چگالی سطح ریشه را داشتند. در این پژوهش، رقم ریژاو و تحت کاربرد باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره در مقایسه با شاهد (عدم مصرف کود) موجب افزایش ۷۷/۷ درصدی در چگالی سطح ریشه گردید (شکل ۹). در بررسی چگالی سطح ریشه گندم، نتایج نشان داد که تلقیح بذور با باکتری‌های افزاینده رشد گیاه توانست چگالی سطح ریشه را ۳۰ درصد افزایش دهد (Jiriaie et al., 2014).

یکی از مهم‌ترین مکانیزم‌های رشد گیاه به‌وسیله باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد، تغییر در ریخت‌شناسی سیستم ریشه گیاه است. این باکتری‌ها موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین می‌شوند که این امر موجب افزایش سطح ریشه و افزایش دسترسی به آب و عناصر غذایی می‌شود، در نتیجه موجب بهبود وضع آبی گیاه می‌شود (Askary et al., 2009).

عملکرد دانه

عملکرد دانه تحت تأثیر برهم‌کنش رقم × منابع مختلف کودی اختلاف معنی‌داری نشان داد (جدول ۴). نتایج عملکرد دانه بیانگر این مطلب بود که رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره دارای بیشترین و رقم سرداری × شاهد کمترین میزان بود، به‌طوری‌که نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) افزایش ۸۶/۳ درصدی در عملکرد دانه مشاهده شد (شکل ۱۰).

امینی و همکاران (Amani et al., 2016) افزایش عملکرد دانه ذرت (*Zea mays* L.) با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (*آزوسپیریلیوم* و *ازتوباکتر*) را گزارش نمودند و علت آن را چنین بیان نمودند که باکتری‌های افزاینده رشد گیاه از طریق ترشح مواد محرک رشد از جمله اکسین، جیبرلین و سیتوکنین می‌توانند موجب بهبود رشد ریشه و جذب بهتر آب و مواد غذایی برای گیاه شده که این امر سبب افزایش عملکرد می‌شوند.



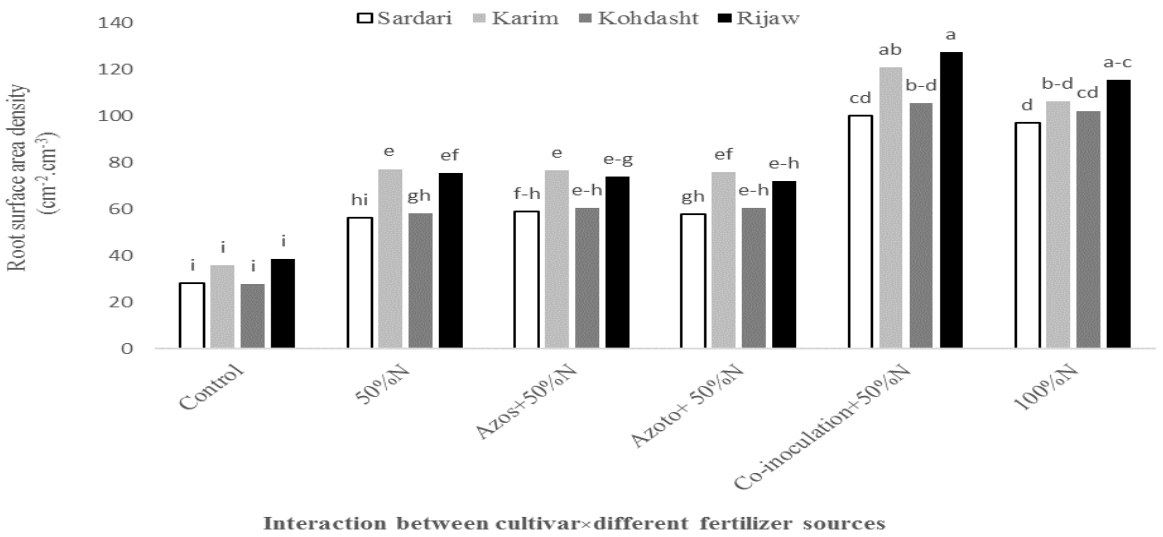
شکل ۸- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر تراکم بافت ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 8- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root tissue density of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test



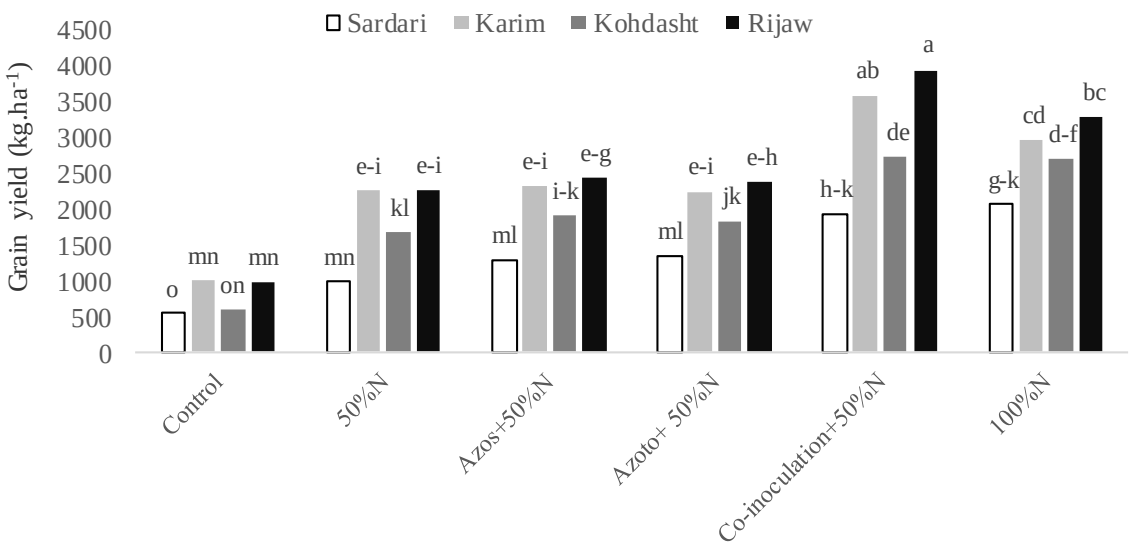
شکل ۹- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر چگالی سطح ریشه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 9- Interaction of cultivar × fertilizer treatments on root surface area density of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test



Interaction between cultivar×different fertilizer sources

شکل ۱۰- برهم‌کنش رقم × تیمارهای مختلف کودی بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط دیم

Fig. 10- Interaction of cultivar × fertilizer treatments grain yield of wheat under dryland conditions

Control: شاهد، 50% Nitrogen: ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azospirillum* + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، *Azotobacter* + 50% Nitrogen: *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن، Co-inoculation + 50% Nitrogen: *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن و 100% Nitrogen: ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حرف مشترک می¬باشند، بر مبنای آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means, in each column, followed by similar letter are not significantly different at the 5% probability level- using Duncan's Multiple Range Test

در این پژوهش نیز مشاهده شد که در اثر کاربرد باکتری‌های افزاینده رشد گیاه خصوصیات ریشه‌ای از جمله طول ریشه (شکل ۱)، حجم ریشه (شکل ۲)، سطح ریشه (شکل ۳) و سایر صفات ریشه افزایش یافته که این امر موجب می‌گردد که در شرایط دیم، گندم به‌واسطه سیستم ریشه‌دهی گسترده ضمن افزایش جذب عناصر غذایی و رطوبت خاک منجر به زیادشدن عملکرد دانه گردد. افزایش عملکرد دانه گندم با کاربرد کود زیستی نیتروکسین (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) در سایر گزارش‌ها در گندم نشان داده شده‌است (Tavakoli & Jalali, 2016).

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که با توجه به کمبود بارندگی در شرایط دیم ایلام و به‌دلیل اثر مثبت کود زیستی در جذب رطوبت خاک از طریق گسترش سیستم ریشه برای دستیابی به عملکرد مناسب دانه می‌توان از کود زیستی استفاده کرد. در این پژوهش مشاهده شد که در سیستم تلفیقی کود زیستی و شیمیایی سیستم ریشه‌دهی افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که حداکثر طول ریشه، حجم ریشه، سطح ریشه، حجم مخصوص ریشه، تراکم طول ریشه، تراکم بافت ریشه و چگالی سطح ریشه در رقم ریژاو × باکتری *آزوسپیریلیوم* + *ازتوباکتر* + ۵۰ درصد کود شیمیایی اوره مشاهده شد. با توجه به اینکه میزان شدت و نوسانات بارندگی در شرایط دیم قابل پیش‌بینی نیست، بنابراین سیستم ریشه‌دهی گسترده می‌تواند گندم را در برابر تنش‌های محیطی آخر فصل به‌خصوص گرما انتهای فصل حفظ و سبب بهبود عملکرد دانه گندم دیم گردد.

References

1. Abbasi Seyahjani, E., Yarnia, M., Farhvash, F., Khorshidi Benam, M.B., & Asadi Rahmani, H. (2017). Influence of *Rhizobium*, *Pseudomonas* and Fungi mycorrhiza on some traits of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought stress. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(1), 85-102. (In Persian with English

abstract). https://doi.org/20.1001.1.24764310.1396.27.1.6.6
2. Abdelaziz, M.E., Pokluda R., & Abdelwahab, M.M. (2007). Influence of compost, microorganisms and NPK fertilizer upon growth, chemical composition and essential oil production of *Rosmarinus officinalis* L. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluy-Napoca*, *35*(1), 86-90. https://doi.org/10.15835/nbha351261
3. Abrishamchi, P., Ganjeali1, A., & Sakeni, H. (2012). Evaluation of morphological traits, proline content and antioxidant enzymes activity in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Iranian Journal of Pulses Research*, *3*(2), 17-30. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v1391i2.24695
4. Akhavan, S., Shabanpour, M., & Esfahani, M. (2012). Soil compaction and texture effects on the growth of roots and shoots of wheat. *Journal of Water and Soil*, *26*(3), 727-735. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.14941
5. Amani, N., Sohrabi, Y., & Heidari, G. (2016). Yield and some physiological characteristics in maize by application of bio and chemical fertilizers under drought levels. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(2), 65-83. (In Persian with English abstract)
6. Amiri Farsani, F., Chorom, M., & Enayatizamir, N. (2013). Effect of biofertilizerand chemical fertilizer on wheat yield under two soil types in experimental greenhouse. *Soil and Water*, *27*(2), 441-451. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.24589
7. Berta, G., Sampo, S., Gamalero, E., Massa, N., & Lemanceau, P. (2005). Suppression of *Rhizoctonia* root-rot of tomato by *Glomus mossae* BEG12 and *Pseudomonas fluorescens* A6RI is associated with their effect on the pathogen growth and on the root morphogenesis. *European Journal of Plant Pathology*, *111*(3), 279–288. https://doi.org/10.100/s10658-004-4585-7
8. Amooaghaie, R., Mostajeran, A., & Emtiazi, G. (2002). The effect of strain and concentration of *Azospirillum brasilense* bacterium on growth and development of root in wheat cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*, *33*(2), 222-231. (In Persian with English abstract)
9. Askary, M., Mostajeran, A., & Amooaghaei, R. (2009). Influence of the co-inoculation *Azospirillum brasilense* and *Rhizobum meliloti* plus 2,4-D on grain yield and N P K content of *Triticum aestivum* (cv. Baccros and mahdavi). *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, *5*(3), 296-307.
10. Banerjee, M., Yesmin, R.L., & Vessey, J.L. (2006). Plant-growth- promoting rhizobacteria as biofertilizers and biopesticides, p. 137-181. In: Handbook of microbial biofertilizers. M.K. Rai, (Ed.) *Food Production Press*, U.S.A.
11. Bauhus, J., & Messier, C. (1999). Evaluation of fine root length and diameter measurements obtained using RHIZO image analysis. *Agronomy Journal*, *19(1)*, 142–147. https://doi.org/10.2134/agronj1999.00021962009100010022x
12. Boveiri Dehsheikh, A., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., & Enayatizamir, N. (2017). The effect of plant growth promoting *Rhizobacteria*, chemical fertilizer and humic acid on morpho-physiological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* var. thyrsiflorum). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *26*(4), 129-142. (In Persian with English abstract)
13. Caird, M.A., Richards, J.H., & Donovan, L.A. (2007). Night time stomatal conductance and transpiration in C_3 and C_4 plants. *Plant Physiology*, *143(1)*, 4–10. https://doi.org/10.1104/pp.106.092940
14. Cakmakci, R., Erat, M., Erdoman, U.G., & Donmez, M.F. (2007). The influence of PGPR on growth parameters, antioxidant and pentose phosphate oxidative cycle enzymes in wheat and spinach plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *170*(2), 288-295. https://doi.org/10.1002/jpln.200625105
15. EL-Ghadban, E.A.E., Ghallab, A.M., & Abdelwahab, A.F. (2002). Effect of organic fertilizer and biofertilization on growth, yield and chemical composition of Marjoram plants under newly reclaimed soil conditions. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, *28*(9), 6957-6973. https://doi.org/10.21608/jacb.2003.252955
16. Eshghizadeh, H.R., Kafi, M., Nazami, A., & Khoshgoftarmanesh, A.H. (2012). Studies on the role of root morphology attribution in salt tolerance of blue-pani grass (*Panicum antidotale* Retz.) using artificial neural networks (ANN). *Research on Crops*, *13*(2), 534-544.
17. Eydizadeh, K., Mahdavi Damghani, A., Sabahi, H., & Soufizadeh, S. (2010). Effect of integrated application of biofertilizer and chemical fertilizer on growth of maize (*Zea mays* L.) in Shushtar. *Journal of Agroecology*, *2*(2), 292-301. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v2i2.7636
18. Feiziasl, V., Fotovat, A., Astaraeiand, A., & Lakzyan, A. (2014). Effects of nitrogen fertilizer rates and application time on root characteristics of dryland wheat genotypes. *Iranain Journal of Dryland Agriculture*, *2*(1), 41-59. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/idaj.2014.100555
19. Ganjeali, A., & Kafi, M. (2007). Genotypic differences for allometric relationships between root and shoot characteristics chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Pakistan Journal of Botany*, *39*(5), 1523-1531.
20. Glick, B.R., Penrose, D., & Wenbo, M. (2001). Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advance*, *19*(2), 135-138. https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00065-3

21. Gupta, G., Parihar, S.S., Ahirwar, N.K., Snehi, S.K., & Singh, V. (2015). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): Current and future prospects for development of sustainable agriculture. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, *7*(2), 96-102. https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000188
22. Hajabbasi, M.A. (2001). Tillage effects on soil compactness and wheat root morphology. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *3*, 67-77.
23. Hasanabadi, T., Ardakani, M.R., Rejali, F., Paknejad, F., Eftekhari, S.A., & Zargari, K. (2010). Response of barley root characters to co-inoculation with *Azospirillum lipoferum* and *Pseudomonas flouresence* under different levels of nitrogen. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, *9*(*2*), 156-162.
24. Huang, B.R., Taylor, H.M., & Mcmichael, B.L. (1991). Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. *Environmental and Experimental Botany*, *31*(*4*), 471-477. https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90046-Q
25. Jiriaie, M., Fateh, E., & Aynehband, A. (2014). The consequences of single and integrated application of mycorrhiza and *Azospirillum* inoculants on yield and yield components of warm region wheat cultivars (*Triticum* spp.). *Journal of Agroecology*, *6*(3), 520-528. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.21770
26. Karthikeyan, B., Jaleel, C.A., Gopi, R., & Delveekasundarm, M. (2007). Alterations in seedling vigour and antioxidant enzyme activities in *Catharanthus roseus* under seed priming with native diazotrophs. *Journal of Zhejiang University Science*, *8*(7), 453-457. https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0453
27. Khalvati, M.A., Mozafar, A., & Schmidhalter, V. (2005). Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth water relations and gas exchange of barley subjected to drought stress. *Plant Biology Stuttgart*, *7*(6), 706-712. https://doi.org/10.1055/s-2005-872893
28. Khazaei, H.R., Riahinia, S., & Eshghizadeh, H.R. (2014). Effect of water stress on root distribution and extension of different triticale genotypes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 417-426. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v12i3.42217
29. Kennedy, I.R., Choudhury, A.T.M., & Kecskes, M.L. (2004). Non-symbiotic bacterial diazothrophs in crop-farming systems: can their potential for plant growth promoting be better expoited?. *Soil Biology and Biochemistry*, 1229-1244. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.04.006
30. Lovelli, S., Pernio, M., Di Tommaso, T., Biochicchio, R., & Amato, M. (2012). Specific root length and diameter of hydroponically-grown tomato plants under salinity. *Journal of Agronomy*, *11*(4), 101-106. https://doi.org/10.3923/ja.2012.101.106
31. Lucy, M., Reed, E., & Glick, B.R. (2004). Applications of free living plant growth-promoting rhizobacteria. *Soil Science*, *86*, 1-25. https://doi.org/10.1023/B:ANTO.0000024903.10757.6e
32. Mahanta, D., Rai, R.K., Mishra, S.D., Raja, A., Purakayastha, T.J., & Varghese, E. (2014). Influence of phosphorus and biofertilizers on soybean and wheat root growth and properties. *Field Crops Research*, *166*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.016
33. Mahfouz, S.A, & Sharaf-Eldin, M.A. (2007). Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *International Agrophysics*, *21*(4), 361-366. https://doi.org/10.1055/s-2007-987419
34. Mandal, K.G., Hati, K.M., Misra, A.K., Ghosh, P.K., & Bandyopadhyay, K.K. (2003). Root density and water use efficiency of wheat as affected by irrigation and nutrient management. *Journal of Agricultural Physics*, *3*(1 & 2), 49-55.
35. Mirzashahi, K., Asadi Rahmani, H., Khavazi, K., & Afshari, M. (2013). The effect of two biofertilizer on irrigated wheat in north of Khozestan. *Soil and Water Science*, *27*(2), 159-168. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijsr.2013.126241
36. Mostajeran, A., Amooaghaei R., & Emtiazi, G. (2004). The effect of *Azospirillum brasilense* and pH of irrigation water on yield, protein content and sedimentation rate of protein in different wheat cultivars. *Iranian Journal of Biology*, *18*(3), 243-260. (In Persian with English abstract).
37. Naiman, A.D., Latrónico, A., & Salamone, I.E. (2009). Inoculation of wheat with *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, *45*(1), 44-51. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2008.11.001
38. Naseri, R. (2017). Effect of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on morpho-physiological traits and yield of two wheat cultivars under dryland farming. *Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Ilam University, Iran*, 356 pp. (In Persian with English abstract)
39. Naseri, R., Barary, M., Zaree, M.J., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2018). Effects of phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi on root charactrestics of some activities of antioxidant anzyme of wheat under dryland conditions. *Journal of Applied Research of Plant Ecophysilogy*, *5*(1), 163-188. (In Persian with English

abstract)
40. Naseri R., Barary, M., Zarea, M., Khavazi, K., & Tahmasebi, Z. (2019a). Evaluation of root and grain yield of wheat cultivars affected by phosphate solubilizing bacteria and mycorrhizal fungi under dry land conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *17*(1), 83-98. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.69147
41. Naseri, R., Soleymanifard, A., Mirzaeir, A., Darabi, F., & Fathi, A. (2019b). The effect of plant growth promoting rhizohacteria on activities of antioxidative enzymes, physiological characteristics and root growth of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars under dry land conditions of Ilam province. *Iranian Journal of Pulses Research*, *10*(2), 62-76. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i2.64299
42. Nezarat, S., & Gholami, M. (2009). Screening plant growth promoting rhizobacteria for improving grain germination seedling growth and yield of maize. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *12*(1), 26-32. https://doi.org/10.3923/pjbs.2009.26.32
43. Paula, P., & Pausas, J.G. (2011). Root traits explain different foraging strategies between resprouting life histories. *Oecologia*, *165*, 321–331. https://doi.org/10.1007/s00442-010-1806-y
44. Russo, A., Felici, C., Toffanin, A., G.tz M., Collados, C., & Barea, J.M. (2005). Effect of *Azospirillum inoculants* on arbuscular mycorrhiza establishment in wheat and maize plants. *Journal of Biology and Fertility of Soils*, *41*(5), 301–309. https://doi.org/10.1007/s00374-005-0854-7
45. Schenk, M.K., & Barber, S.A. (1979). Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. *Agronomy Journal*, *71*, 921-927. https://doi.org/10.2134/agronj1979.00021962007100060006x
46. Serraj, R., Krishnamurthy, L., Kashiwagi, J., Kumar, J., Chandra, S., & Crouch, J.H. (2004). Variation in root traits of chickpea (C*icer arietinum* L.) grown under terminal drought. *Field Crops Research*, *88(2-3)*, 115–127. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2003.12.001
47. Shaban, M., Mansourifar, S., Ghobadi, M., & Ashrafi Parchin, R. (2012). Effect of drought stress and starter nitrogen fertilizer on root characteristics and seed yield of four chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Seed and Plant Production Journal*, *27*(4), 451-470. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110448
48. Shaharoona, B., Arshad, M., Zahir, Z.A., & Khalid, A. (2006). Performance of *Pseudomonas* spp. containing ACC deaminase for improving growth and yield of maize (*Zea mays* L.) in the presence of nitrogenous fertilizer. *Soil Biology and Biochemistry*, *38*(9), 2971-2975. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.03.024
49. Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., & Zahir, Z.A. (2008). Ferttilizer-dependent efficiency of *Pseudomonas* for improving growth, yield and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Microbial Biotechnology*, *79*(1), 147-155. https://doi.org/10.1007/s00253-008-1419-0
50. Shata, S.M., Mahmoud, S.A., & Siam, H.S. (2007). Improving calcareous soil productivity by integrated effect of intercropping and fertilizer. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *3*, 733-739.
51. Siddigue, K.H.M., Belford, R.K., & Tennant, D. (1990). Root/shoot ratio of old and modern, tall and semi-draft wheat in a Mediterranean environment. *Plant and Soil*, *121*(1), 89-98. https://doi.org/10.1007/BF00013101
52. Tavakoli, M., & Jalali, A.H. (2016). Effect of different biofertilizers and nitrogen fertilizer levels on yield and yield components of wheat. *Journal of Crop Production and Processing*, *6*(21), 33-45. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.18869/acadpub.jcpp.6.21.34
53. Vessey, J.K., & Buss, T.J. (2002). *Bacillus cereus* UW85 inoculation effects on growth, nodulation, and N accumulation in grain Iegumes. Controlled-environment studies. *Canadian Journal of Plant Science*, *82*(2), 283-290. https://doi.org/10.4141/P01-047
54. Yang, J., Kloepper, J.W., & Ryu, C.M. (2009). Rhizosphere bacteria help plants tolerate abiotic stress. *Trends in Plant Science*, *14*(1), 1-4. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.10.004

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 219-245

Role of Rural Women in the Sustainability of Iran's Agroecosystems

Anahita Valiollahi Bisheh[1], Alireza Koocheki[2*], Mehdi Nassiri Mahallati[2], Minoo Moallem[3]

1 and 2- Ph.D. and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
3- Professor, Department of Gender and Women's Studies, University of California, Berkeley, USA.
(*- Corresponding author's Email: akooch@um.ac.ir)

Received: 20-04-2021
Revised: 18-10-2021
Accepted: 25-10-2021
Available Online: 25-10-2021

How to cite this article:
Valiollahi Bisheh, A., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., & Moallem, M. (2024). Role of rural women in the sustainability of Iran's agroecosystems. *Journal of Agroecology, 16*(2), 219-245. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/ 10.22067/AGRY.2021.69949.1040

Introduction

Following population growth and increasing demand for food, agricultural systems have been considerably altered across the world. Nonetheless, the majority of these changes have been accompanied with many consequences by reason of focusing on economic growth and ignoring the relation between humans and environmental wellbeing. Thus, it seems that any future increase in food production should be done in a sustainable way which considers various issues. Based on this viewpoint, understanding the importance of diverse women's roles and addressing gender equality are indisputable preconditions for achieving sustainability in the agriculture sector. Women significantly affect the welfare and sustainability of farmer households through numerous tasks assigned to them by societies. However, women do not have the same rights as men in access to productive resources because of gender-based norms. Although the sustainability of agricultural systems has been evaluated by many researchers, they rarely used gender-based analyzes in their assessments. Hence, we aim to determine women's participation in various agricultural systems and evaluate the impact of women's activities on the sustainability of agroecosystems in Iran by using a comprehensive approach.

Materials and Methods

To explore answers to our research goals, a specific questionnaire was utilized, and its validity and reliability were approved by experts and the Cronbach's alpha test, respectively. We used the purposive sampling method to identify townships and villages and applied the simple random sampling technique to select farmer households. Based on different methods and the results of pre-test surveys, 930 farmer households were considered as the appropriate sample size in this study. Because there are different climatic conditions, agricultural products and subcultures in Iran, this study was carried out in all 31 provinces of Iran to cover differences between regions. The sustainability of farmer households was assessed by applying 15 indicators. Then, scores attained by farmer households were simplified to define three principal thresholds for sustainability: unacceptable (scores≤ 1.5), limited (1.5 <scores≤ 2.5), and good (2.5 <scores). Women's different activities in market-oriented (male-dominated) agricultural systems were ranked by the Friedman test. The correlation between women's participation in male-dominated farms and the sustainability of farmer households was determined based on the Tao B. Kendall correlation coefficient. Moreover, the effect of women's participation in female-dominated agricultural systems (home gardens) on the sustainability of farmer households was assessed

https://doi.org/ 10.22067/AGRY.2021.69949.1040

by the independent samples t-test.

Results and Discussion

Results disclose that the majority of rural women are pushed back from market-oriented (male-dominated) agricultural systems, especially from cash crop and fruit production systems. Nonetheless, women continue to play a significant role in subsistence (female-dominated) agricultural systems, with 44.1% of them having home gardens. Our findings reveal that farmer households do not experience the good threshold of sustainability, but households whose women have home gardens succeed in gaining higher scores of sustainability than other farmer households. Home gardens, compared with male-dominated farms, put the minimum pressure on the environment because of their reliance on renewable energy inputs. In economic and social dimensions, women meaningfully improve the sustainability of their households by producing different crops and fruits in home gardens. Farmer households with home gardens are able to offer a wider variety of products for sale, make more profit, and even have better savings and liquidity. Home gardens can also increase women's economic ability, which subsequently improves the food security, health and education of children. Women positively affect the sustainability of farmer households by participating in male-dominated farms. Nonetheless, women's participation in these systems is not as effective on the sustainability of farmer households as their participation in female-dominated agricultural systems (home gardens).

Conclusion

Our findings indicate that women's agricultural activities influence the sustainability of farmer households in a positive way. Therefore, we suggest that experts and policymakers address issues affecting the agriculture sector through a gender lens. Because, the marginalization of rural women from the agriculture sector means the transformation of rural women from economically active actors into consumers with a different lifestyle, which undoubtedly puts a lot of pressure on the economy, both locally and nationally. It will also lead to numerous environmental and social consequences.

Keywords: Economic sustainability, Environmental sustainability, Gender, Home garden, Household, Social sustainability

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۴۵-۲۱۹

نقش زنان روستایی در پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی ایران

آناهیتا ولی‌اللهی بیشه[۱]، علیرضا کوچکی[۲*]، مهدی نصیری محلاتی[۲] و مینو معلم[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۳۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۷/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

زنان به‌دلیل نقش‌های گوناگون خود در خانه و مزرعه همواره تأثیر قابل توجهی بر رفاه و پایداری خانوارهای روستایی دارند. بااین‌وجود، ارزش فعالیت‌های آنان اغلب دست‌کم گرفته می‌شود که این موضوع بسیاری از برنامه‌های توسعه را با ناکامی مواجه نموده است. با هدف تعیین میزان مشارکت زنان در کشاورزی و تأثیر آنان بر پایداری اگرواکوسیستم‌های ایران، پژوهش حاضر در تمامی استان‌های کشور به اجرا درآمد. داده‌های مورد نیاز به‌وسیله پرسشنامه از ۹۳۰ خانوار کشاورز گردآوری شدند. روایی و پایایی پرسشنامه به‌ترتیب توسط متخصصان و آزمون آلفای کرونباخ تأیید شد و تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از طریق آزمون فریدمن، آزمون تی نمونه‌های مستقل و ضریب همبستگی تائو بی کندال صورت پذیرفت. براساس یافته‌ها، مشارکت اکثریت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) کمتر از حد متوسط بود. از سوی دیگر، نتایج نشان دادند که با وجود محدودیت‌های متفاوت، ۴۴/۱ درصد از زنان دارای باغچه‌های خانگی بودند. ارزیابی پایداری نیز آشکار ساخت که در کل اگر چه خانوارهای کشاورز سطح مطلوبی از پایداری را تجربه نکردند، امّا زنان با تولید محصولات کشاورزی گوناگون در باغچه‌های خانگی خویش به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) پایداری خانوارهایشان را بهبود بخشیدند. زنان همچنین با مشارکت در تولید محصولات کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) به ارتقای پایداری خانوارهای خود یاری رساندند. البته آنان با مشارکت در این سامانه‌ها به اندازه زمانی که در باغچه‌های خانگی‌شان فعالیت داشتند، موفق به بهبود پایداری نشدند. بدین ترتیب، پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که کارشناسان و سیاست‌گذاران با نگاهی جنسیت‌محور به مسائل بخش کشاورزی بپردازند. زیرا به حاشیه راندن زنان از این بخش به مفهوم تبدیل آنان از عناصر فعال اقتصادی به مصرف‌کنندگانی با سبک زندگی متفاوت می‌باشد که این تغییر بی‌تردید اقتصاد محلی و ملی را با دشواری‌های فراوانی مواجه می‌سازد و پیامدهای هنگفتی را به همراه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی، پایداری زیست‌محیطی، باغچه خانگی، جنسیت، خانوار

مقدمه

به‌منظور تأمین نیاز غذایی جمعیت رو به فزونی جهان، سیمای بخش کشاورزی به انحای گوناگون تحت تأثیر برنامه‌های پرشمار توسعه دستخوش تغییر شده است. بااین‌وجود، توسعه کشاورزی به‌دلیل تمرکز بر رشد اقتصادی و نادیده انگاشتن رابطه میان انسان و رفاه زیست‌محیطی طی سالیان متمادی، پیامدهای ناگواری را به بار آورده است. از جمله این پیامدها می‌توان به گسترش دامنه فقر و گرسنگی (FAO, 2020; World Bank, 2020) و ضد خدمات برخاسته از سامانه‌های رایج کشاورزی اشاره نمود که به‌شکل لجام‌گسیخته‌ای سلامت بشر و محیط زیست را به‌سوی فروپاشی سوق می‌دهند (Kremen & Miles, 2012; Zhang et al., 2007). ازاین‌روی، به نظر می‌رسد که هرگونه افزایش در ذخیره غذایی و توسعه سامانه‌های کشاورزی جهان در آینده ناگزیر می‌بایست به شیوه‌ای پایدار صورت پذیرد (Smith, 2013). زیرا در کشاورزی پایدار تنها بر فعالیت‌های تولیدی داخل مزرعه تأکید نمی‌شود و تمامی ابعاد اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی و همچنین ارتقای مقاومت و توان تاب‌آوری

۱ و ۲- به‌ترتیب دکتری و استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳- استاد، گروه مطالعات زنان و جنسیت، دانشگاه کالیفرنیا، برکلی، ایالات متحده آمریکا.
(*- نویسنده مسئول: Email: akooch@um.ac.ir)
https://doi.org/ 10.22067/AGRY.2021.69949.1040

اگرواکوسیستم‌ها دارای اهمیت هستند (Garibaldi et al., 2017). بنابر چنین نگره‌ای، درک اهمیت نقش‌های متنوع زنان روستایی و پرداختن به برابری جنسیتی از پیش‌شرط‌های کتمان‌ناپذیر در مسیر نیل به پایداری کشاورزی محسوب می‌شوند (Quisumbing et al., 2014).

در سراسر جهان، زنان حدود ۴۳ درصد از نیروی کار کشاورزی را تأمین می‌کنند (FAO, 2011) و از آنان نیز به‌عنوان تولیدکنندگان اصلی مثلث غذایی: برنج، گندم و ذرت یاد می‌شود (World Bank et al., 2009). مشارکت زنان در عرصه‌های کشاورزی از چنان اهمیتی برخوردار است که براساس برآوردهای انجام‌گرفته، در صورت دسترسی یکسان زنان با مردان به نهاده‌های کشاورزی ۳۰ –۲۰ درصد بر عملکرد مزارع زنان و ۴ –۲/۵ درصد بر بهره‌وری کل کشاورزی در کشورهای در حال توسعه افزوده و ۱۷–۱۲ درصد از تعداد کل گرسنگان جهان کاسته خواهد شد (FAO, 2011). زنان افزون بر اثر شگرفی که بر رفاه و اقتصاد خانوار و جامعه خویش می‌گذارند، تلاش شایان توجهی را نیز صرف حفظ خدمات اکوسیستمی از جمله تأمین آب، حفظ کیفیت آب، تشکیل خاک، کنترل فرسایش خاک و حفظ زیستگاه‌های طبیعی می‌کنند و در مقایسه با مردان حاضر به پرداخت هزینه‌های بیشتری برای دریافت این نوع از خدمات اکوسیستمی هستند (Yang et al., 2018). جنبش‌های چیپکو در هند (۱۹۷۳) و کمربند سبز (۱۹۷۷) در کنیا نمونه‌های برجسته از تلاش‌هایی به رهبری زنان برای حفاظت از محیط زیست به‌شمار می‌آیند. رفتارهای محیط زیست‌دوستانه‌ی زنان به‌میزان زیادی محصول حس مراقبت‌شان از خود و خانواده خود و نگرانی‌شان نسبت به سلامت نسل‌های بعد و محیط زیست می‌باشد (Jackson, 1993). از سوی دیگر، زنان به‌دلیل دسترسی نامناسب به منابع تولید و اتکای شدید به منابع طبیعی و کشاورزی عمدتاً بیش از دیگران در معرض بحران‌های زیست‌محیطی قرار می‌گیرند (Neumayer & Plümper, 2007). تمامی این عوامل در نهایت، بستری را فراهم می‌سازند تا زنان اغلب گرایش زیادی به اجرای شیوه‌های پایدار کشاورزی داشته باشند (Karami & Mansoorabadi, 2008). بااین‌حال، زنان کماکان تحت لوای کشاورزان نامریی روزگار می‌گذرانند و به‌منظور بهره‌برداری از ظرفیت کامل خویش به‌عنوان تولیدکنندگان غذا و اعضای ارزشمند جامعه با نابرابری‌های فراوانی دست و پنجه نرم می‌کنند.

نابرابری‌ها جنسیت‌محور را می‌توان در دسترسی به انواع گوناگون سرمایه‌ها، ورودی‌ها و خدمات از جمله زمین، دام، نیروی کار، بازار، فن‌آوری، آموزش و خدمات ترویجی و مالی مشاهده کرد (Quisumbing et al., 2014). برای مثال، نتایج مطالعاتی در نیکاراگوئه (Foltz, 2000) و نیجریه (Lawal & Muyiwa, 2009) آشکار نمودند که خانوارهای زن‌سرپرست تقریباً ۲۰۰ درصد بیشتر از خانوارهای دوسرپرست با محدودیت‌های اعتباری مواجه بودند؛ یا در کنیا گزارش شد که ارزش ادوات کشاورزی متعلق به زنان، تنها ۱۸ درصد از ارزش تجهیزات کشاورزی بود که در اختیار مردان قرار داشتند (Saito et al., 1994). بخش اعظم این نابرابری‌ها از هنجارهای مبتنی بر جنسیت و مردسالارانه‌ای سرچشمه می‌گیرند که در سطح محلی بسیار نیرومند بوده و در ژرفای ساختارهای سنتی و غیررسمی جوامع ریشه دوانده‌اند (Baden, 1999). هنجارهای از این دست غالباً انجام فعالیت‌های درآمدزا در بازارهای غذا و کشاورزی را برای زنان روستایی دشوار می‌سازند، فرصت مشارکت در تصمیم‌گیری‌ها را در سطح خانوار و جامعه از آنان دریغ می‌کنند، از توانایی آنان در پیش‌برد پایداری چشم می‌پوشانند (World Bank et al., 2009) و به‌طور کلی، زنان روستایی را نه به‌عنوان کشاورز، بلکه به‌عنوان همسر کشاورز به رسمیت می‌شناسند. رویه‌ای که تداوم آن در درازنای تاریخ، هزینه‌های گزافی را به زنان، بخش کشاورزی، اقتصاد و جامعه در سراسر جهان تحمیل نموده است. در تانزانیا، برای نمونه، دسترسی محدود زنان به نیروی کار، به‌تنهایی مسبب ۹۷ درصد از شکاف جنسیتی موجود در بهره‌وری کشاورزی است که سالانه حدود ۱۰۲ میلیون دلار از تولید ناخالص داخلی این کشور را به تاراج می‌برد (UN Women et al., 2015).

در ایران، بنابر آمارها، نرخ اشتغال (فعالیت با دستمزد) زنان در بخش کشاورزی حدود ۲۰ درصد می‌باشد (World Bank, 2021). بااین‌وجود، میزان واقعی مشارکت زنان در بخش کشاورزی کشور با توجه به نقش متمایز آنان در سامانه‌های کشاورزی معیشتی (زن‌محور) و همچنین سهم انکارناپذیر آنان در تأمین نیروی کار خانوادگی بدون دستمزد در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور)، بسیار بیشتر از این رقم می‌باشد. به‌منظور اجتناب از چنین ساده‌انگاری‌ها و همچنین آشکارسازی و رفع نابرابری‌هایی که در سطح خانوارها و جوامع روستایی از نظر تصمیم‌گیری و دسترسی به منابع وجود دارند، بر تجزیه و تحلیل جنسیتی تأکید فراوانی می‌شود. تجزیه و تحلیل

جنسیتی توضیح می‌دهد که چگونه نقش‌ها، حقوق و مسئولیت‌های مردان و زنان با یکدیگر مرتبط هستند و چگونه این ارتباط بر نتایج اثر می‌گذارد (Doss, 2014). هر چند پایداری سامانه‌های کشاورزی در ایران توسط پژوهشگران بسیاری مورد واکاوی قرار گرفته است، امّا به‌ندرت می‌توان رویکردی جنسیت‌محور را در چارچوب نظری و عملی آنان یافت (Amini et al., 2020; Arabioun et al., 2010; Rezaei et al., 2018; Veisi et al., 2013). از سوی دیگر، مطالعاتی هم که به بررسی نقش زنان در کشاورزی ایران پرداخته‌اند از توجه به اصل پایداری غافل مانده‌اند (Amini & Taheri, 2017; Barghi et al., 2014; Nouri, 2016). با هدف پر کردن این خلأ ملموس اطلاعاتی، پژوهش حاضر در تلاش است تا علاوه‌بر تعیین میزان و ماهیت مشارکت زنان روستایی در انواع سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی معیشتی و بازاربنیان، تأثیر مشارکت آنان را بر ابعاد مختلف پایداری اگرواکوسیستم‌های کشور مورد ارزیابی قرار دهد.

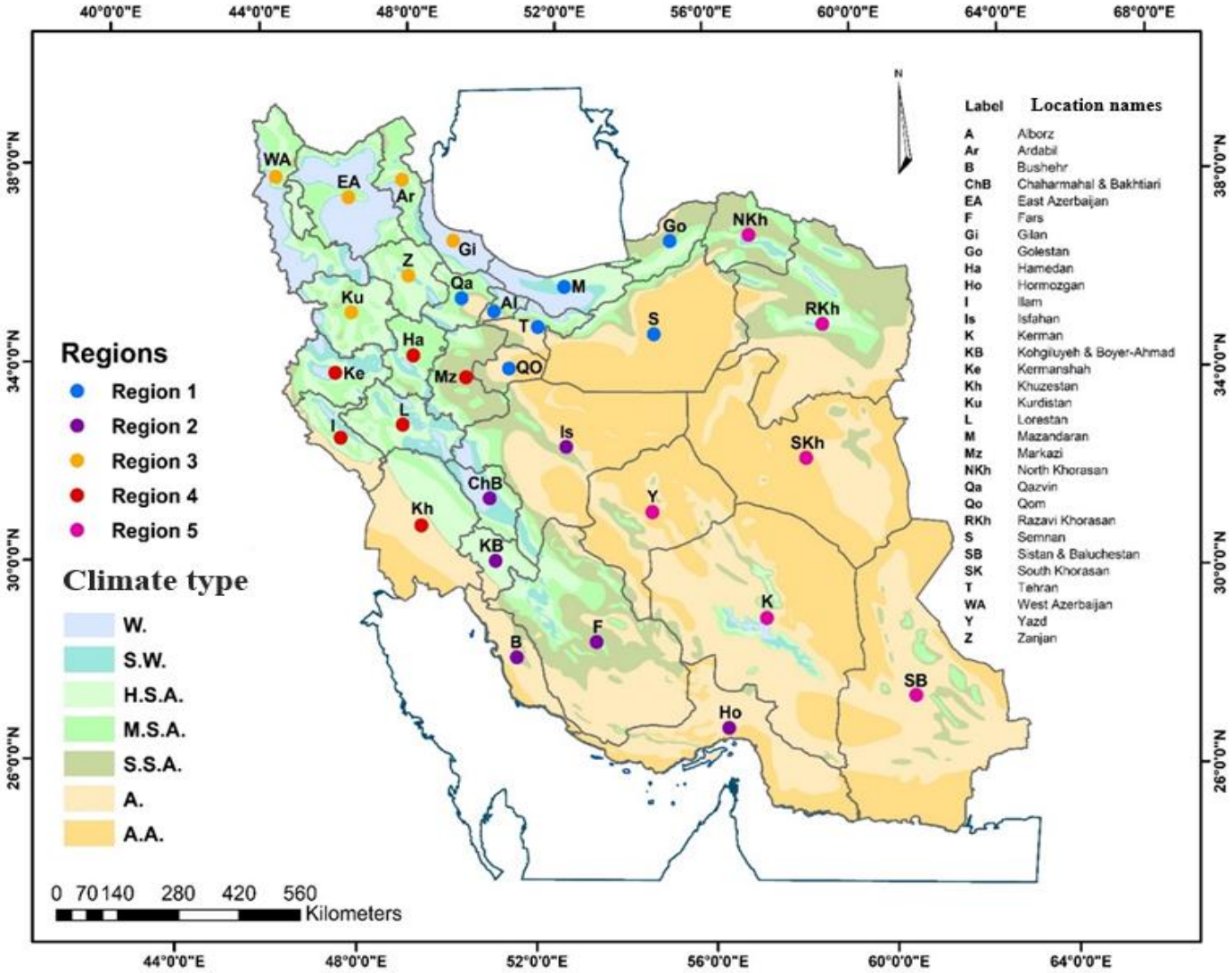
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: ایران کشوری است با وسعت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع که در مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و سه دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و پنج دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی گسترش یافته است. از نظر اقلیمی، ایران تحت تأثیر اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد که البته دامنه وسیعی از شرایط آب‌وهوایی با بارندگی قابل توجه را می‌توان در مناطق مختلف آن مشاهده نمود. این تنوع اقلیمی امکان کشت انواع محصولات زراعی و باغی را برای کشاورزان مناطق گوناگون کشور فراهم کرده است. اقلیم نه تنها چارچوب کشاورزی هر منطقه را مشخص می‌نماید، بلکه بر رفتار (Van de Vliert et al., 2004)، درآمد و رفاه افراد (Karimi et al., 2018) نیز اثر می‌گذارد. بنابراین، مطالعه حاضر در تمامی ۳۱ استان ایران به اجرا درآمد (شکل ۱) تا بتوان با لحاظ نمودن تفاوت‌های احتمالی بین استانی، سطح واقعی پایداری اگرواکوسیستم‌های کشور و همچنین نحوه اثر فعالیت‌های کشاورزی گوناگون زنان روستایی بر آن را مشخص نمود.

جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها: بنابر اهداف اصلی پژوهش که آشکار ساختن میزان و نحوه مشارکت زنان روستایی در سامانه‌های مختلف کشاورزی و همچنین، ارزیابی جنسیت‌محور پایداری اگرواکوسیستم‌های ایران بودند، جامعه آماری در این مطالعه تمامی خانوارهای کشاورز از ۳۱ استان را شامل می‌شد. روش‌های مورد استفاده برای نمونه‌برداری از این جامعه آماری به این شرح بودند که شهرستان‌ها و روستاها طی دو مرحله با به‌کارگیری روش نمونه‌گیری هدفمند شناسایی شدند و خانوارهای کشاورز هم در نهایت، با استفاده از روش نمونه‌گیری تصادفی ساده انتخاب شدند. اگر چه حجم نمونه آماری مناسب برای این پژوهش با استفاده از فرمول کوکران در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ۳۸۴ خانوار کشاورز محاسبه شد، امّا در تعیین حجم نمونه آماری از شیوه دیگری بهره گرفته شد که تعداد خانوارهای مورد مطالعه را تا حدود ۲/۵ برابر افزایش می‌داد و بر دقت پژوهش می‌افزود. بیلی (Bailey, 1994) بیان نمود که برای انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری موفق می‌توان صرف نظر از اندازه جمعیت در جامعه‌های آماری بزرگ، حداقل حجم نمونه را ۳۰ مورد در نظر گرفت. بر مبنای این دیدگاه و همچنین با توجه به سطح معنی‌دار بودن و واریانس یافته‌های حاصل از مطالعات مقدماتی در استان مازندران، انتخاب ۳۰ خانوار کشاورز در هر استان مورد تأیید قرار گرفت. با احتساب ۳۱ استان موجود در کشور، حجم نمونه نهایی ۹۳۰ خانوار کشاورز تعیین شد. دلیل انتخاب استان مازندارن برای مطالعات مقدماتی، میزان و تنوع بالای فعالیت‌های کشاورزی زنان روستایی مناطق شمالی کشور بود. جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز نیز با استفاده از پرسشنامه‌ای که روایی و پایایی آن به‌ترتیب توسط متخصصان و آزمون آلفای کرونباخ[1] تأیید شد، انجام پذیرفت. لازم به ذکر است که در این پژوهش از مطالعه فردی و درون‌خانوادگی برای گردآوری اطلاعات بهره گرفته شد و مرد سرپرست خانوار و همسر او در هر خانوار کشاورز به‌صورت جداگانه مورد مصاحبه قرار گرفتند.

به‌منظور مشخص نمودن سطح پایداری اگرواکوسیستم‌های کشور از سه بُعد پایداری زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی و در مجموع، از ۱۵ سنجه پایداری استفاده شد (شکل ۲). نحوه محاسبه میزان پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی به این شکل بود که ابتدا با میانگین گرفتن از امتیازات پاسخ‌هایی که هر خانوار (مرد و همسر او) به پرسش‌های مربوطه داده بود، امتیاز هر سنجه برای آن خانوار مشخص شد.

1- Cronbach's Alpha



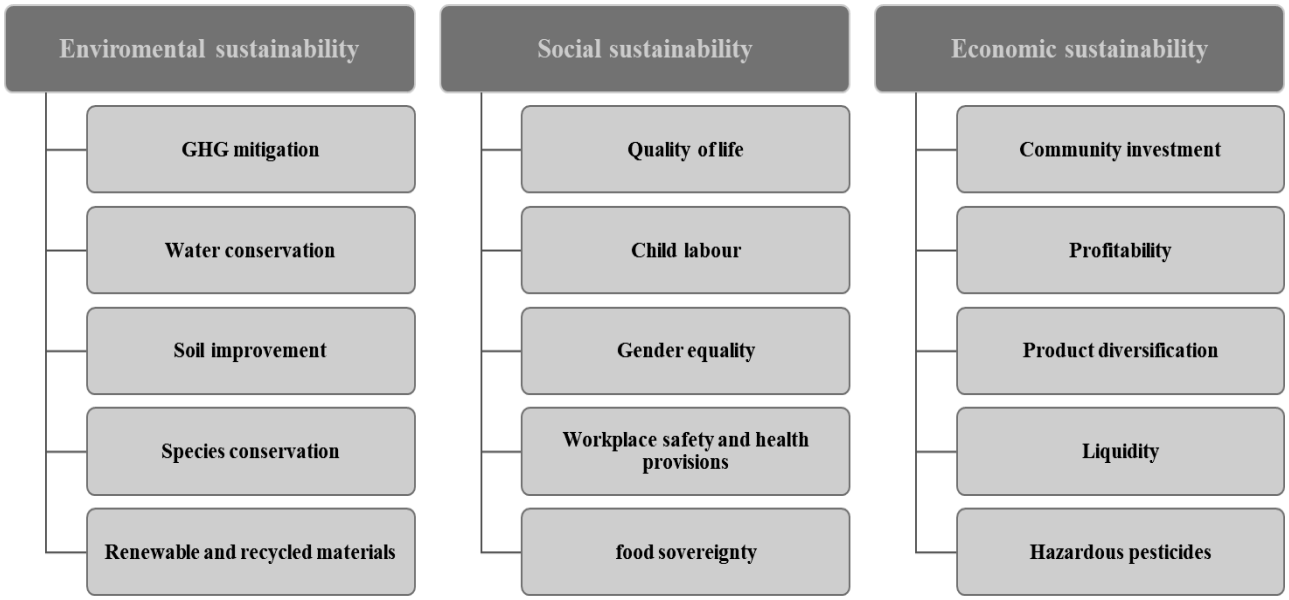
نکته: این نقشه براساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن طراحی شده است و هفت نوع اقلیم را شامل می‌شود: مرطوب (.W)، نیمه مرطوب (.S.W)، کمی نیمه خشک (.S.S.A)، نیمه خشک متوسط (.M.S.A)، بسیار نیمه خشک (.H.S.A)، خشک (.A) و کاملاً خشک (.A.A). افزون‌براین، استان‌های کشور براساس هم‌جواری، موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های مشترکشان به پنج منطقه دسته‌بندی شده‌اند.

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Geographical location of the study area

سپس، امتیاز خانوار در هر بُعد پایداری نیز با میانگین‌گیری از امتیازات سنجه‌های مربوطه به‌دست آمد. در نهایت، امتیاز پایداری کل برای هر خانوار با میانگین گرفتن از امتیازات بُعدهای پایداری زیست-محیطی، اقتصادی و اجتماعی محاسبه شد و در یکی از سه سطح غیرقابل قبول (۱/۵≤ امتیاز پایداری)، محدود (۲/۵≤ امتیاز پایداری >۱/۵) و مطلوب (امتیاز پایداری >۲/۵) جای گرفت. یافته‌های پژوهش پس از تجزیه و تحلیل در چارچوب آمارهای توصیفی و استنباطی گزارش شدند که در آمار توصیفی از فراوانی و درصد و در آمار استنباطی از آزمون‌های متفاوتی استفاده گردید. بدین ترتیب که مشارکت زنان در سامانه‌های زراعی، باغی و دامی بازاربنیان (مردم‌محور) با توجه به رتبه‌ای بودن گویه‌های آنان، به¬وسیله آزمون فریدمن[1] اولویت‌بندی شد.

1- Friedman test



شکل ۲- سنجه‌های ارزیابی پایداری سامانه‌های غذا و کشاورزی (FAO, 2015)

Fig. 2- Indicators of the sustainability assessment of food and agricultural systems

احتمال وجود همبستگی میان مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) و پایداری خانوارهای کشاورز براساس ضریب همبستگی تائو بی‌کندال[1] و تأثیر اقدام زنان به تولید محصولات کشاورزی معیشتی (زن‌محور) در باغچه‌های خانگی بر میزان پایداری خانوارهای کشاورز از طریق آزمون تی نمونه‌های مستقل[2] مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

اطلاعات فردی- خانودگی: براساس اطلاعات فردی و خانوادگی افراد که در جدول ۱ گزارش شده است، بیش از نیمی از زنان و مردان در گروه سنی بین ۶۰- ۴۰ سال قرار داشتند. میانگین سنی زنان و مردان در این پژوهش به‌ترتیب ۴۷/۳۴ و ۵۱/۰۷ سال بود. نتایج نشان دادند که در زمینه تحصیلات، زنان در مقایسه با مردان با دشواری‌های بیشتری مواجه شدند، به‌گونه‌ای که میزان بی-سوادی در میان زنان حدود دو برابر این مقدار در بین مردان بود. حال آنکه سطح پایین تحصیلات زنان عمدتاً از عوامل اصلی محدودکننده فرصت‌های شغلی و توانایی‌های آنان جهت مشارکت در برنامه‌های آموزشی کشاورزی به‌شمار می‌آید (FAO, 2011). از نظر بُعد خانوار نیز تعداد اعضای اغلب (۷۸/۳ درصد) خانوارهای روستایی کمتر از شش نفر بود.

میزان و نحوه مشارکت زنان روستایی در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) و سامانه‌های کشاورزی معیشتی (زن‌محور): توزیع فراوانی و رتبه‌بندی نقش‌آفرینی زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) به تفکیک نوع سامانه در جدول ۲ ارائه شده‌اند. نتایج آشکار ساختند که اگر چه ۳۰/۱ درصد از زنان به‌میزان متوسط تا زیاد در تولید کل محصولات کشاورزی بازاربنیان به مردان خود یاری رساندند، امّا اکثریت زنان حضور کمرنگی در تولید این نوع از محصولات به‌خصوص محصولات زراعی و باغی نقدینه داشتند. دلیل این کاهش مشارکت را می‌توان تا حد زیادی ناشی از وقوع پدیده‌های متنوعی همچون مکانیزاسیون کشاورزی، تغییرات اقلیمی (مانند خشکسالی)، تغییر در الگوی کشت، کاهش جمعیت روستاها و مهاجرت آنان به شهرها و متحول شدن سبک زندگی روستایی در کشور (مانند افزایش سطح تحصیلات، سن ازدواج و سطح توقع نسل جوان روستایی) دانست. مطالعات بسیاری کاهش مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی ایران را تأیید کردند.

1- Kendall Tau-b correlation coefficient
2- Independent samples t-test

جدول ۱- ویژگی‌های فردی- خانوادگی مردان و زنان روستایی

Table 1- Individual-familial characteristics of rural men and women

جنسیت Gender	متغیر Variable																					
	سن (سال) Age (old)						تحصیلات Education								بُعد خانوار (نفر) Household size (person)					
	≤40		40-60		60<		بی‌سواد Illiterate		زیردیپلم No diploma degree		دیپلم Diploma degree		دانشگاهی University degree		≤3		3-6		6<	
	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)
زن Women	271	29.1	585	62.9	74	8	364	39.1	383	41.2	161	17.3	22	2.4	213	22.9	515	55.4	202	21.7
مرد Men	183	19.7	570	61.3	177	19	179	19.2	391	42	303	32.6	57	6.1						

برای مثال، در پژوهشی در جهرم، نتایج گویای نقش‌پذیری بسیار پایین و با پراکندگی زیاد زنان در فعالیت‌های کشاورزی بودند که این روند فرسایشی به‌میزان قابل توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی منطقه قرار داشت. به‌گونه‌ای که با نامساعد شدن شرایط آب‌وهوایی (خشکسالی)، زیاد بودن فاصله تا مزارع و پراکنده بودن مزارع، زنان تمایل کمتری برای انجام فعالیت‌های کشاورزی نشان می‌دادند (Amini & Taheri, 2017). در گرگان نیز میزان فعالیت‌های کشاورزی زنان کمتر از حد متوسط بود و گزارش شد که زنانی که دارای سواد کمتر، سن بیشتر و خانواده‌های پرجمعیت بودند، مشارکت بیشتری در فعالیت‌های کشاورزی داشتند (Barghi et al., 2014). در مطالعه‌ای دیگر در تربت‌جام، نتایج بیانگر کاهش معنادار مشارکت نسل جدید زنان روستایی در سامانه‌های مختلف کشاورزی بودند و افزایش میزان تحصیلات زنان جوان، تأثیرگذارترین عامل بر کاهش نقش‌پذیری آنان در فعالیت‌های کشاورزی عنوان شد. زنان جوان به‌دلیل درس خواندن، زمان کافی برای انجام فعالیت‌های کشاورزی نداشتند و از سوی دیگر، پس از اتمام تحصیلاتشان عمدتاً انجام این نوع از فعالیت‌ها را در شأن خود نمی‌دیدند. ماشینی شدن امور (کاهش نیاز به نیروی کار) دومین عامل مؤثر بر کاهش مشارکت زنان جوان در سامانه‌های کشاورزی این منطقه بود. افزون‌براین، گرایش نسل جدید زنان به انجام مشاغل مدرن و با حقوق ثابت، یکی دیگر از عوامل مهم روند نزولی میزان فعالیت‌های کشاورزی زنان جوان محسوب می‌شد که این خود نشان‌دهنده نفوذ و گسترش فرهنگ شهری در مناطق روستایی می‌باشد (Nouri, 2016).

براساس یافته‌های پژوهش حاضر (جدول ۲)، خانوارهای کشاورز دارای گرایش کمتری برای پرورش دام در مقایسه با تولید محصولات زراعی و باغی نقدینه بودند. بااین‌وجود، شدت فعالیت زنان روستایی در سامانه‌های دامی نسبت به میزان نقش‌آفرینی آنان در سامانه‌های زراعی و باغی بازاربنیان (مردم‌محور) به‌مراتب بیشتر بود. رتبه‌بندی مشارکت زنان در انواع سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) نیز تأیید کرد که در خانوارهایی که هر سه نوع سامانه‌های زراعی، باغی و دامی را دارا بودند، زنان به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) بیشترین میزان حضور را در فعالیت‌های مرتبط با پرورش دام به عمل آوردند. به‌طور کلی، زنان هر چند در مالکیت دام همواره از حقوق بسیار کمتری نسبت به مردان بهره می‌برند، امّا در انجام امور مربوط به پرورش دام از هیچ تلاشی فروگذاری نمی‌کنند (Kariuki, 2019). اهمیت فعالیت زنان در دامپروری به اندازه‌ای زیاد است که بنابر برآوردهای صورت‌گرفته، دو سوم (یا ۴۰۰ میلیون نفر) از تعداد کل نگه‌دارندگان کم درآمد دام‌ها در سراسر جهان را زنان تشکیل می‌دهند (Thornton et al., 2002).

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی نحوه مشارکت زنان در سامانه‌های زراعی بازاربنیان (مردم‌محور) در جدول ۳ گزارش شده‌اند. مشارکت زنان در فرآیند تولید محصولات زراعی بازاربنیان اگر چه به‌صورت قابل تأملی طی سالیان اخیر به‌سبب عواملی که پیش‌تر به آن پرداخته شد، کاهش یافته است، امّا همچنان ۳۰-۲۰ درصد از خانوارهای

دارای سامانه‌های زراعی بازاربنیان از مشارکت زیاد تا خیلی زیاد زنـان در مراحل کاشت، داشت، برداشت و پس از برداشت محصول برخوردار بودند.

جدول ۲- آمار توصیفی و رتبه‌بندی مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور)

Table 2- Descriptive statistics and the ranking of women's participation in market-oriented (male-dominated) agricultural systems

نوع سامانه Type of system	سطح مشارکت Level of participation: خیلی کم Very low (N)	(%)	کم Low (N)	(%)	متوسط Medium (N)	(%)	زیاد High (N)	(%)	خیلی زیاد Very high (N)	(%)	میانگین رتبه Mean of rank	(N)	درجه آزادی df	کای اسکوئر Chi-square	سطح معنی‌داری Significance level
سامانه‌های زراعی Crop production systems	573	66.9	30	3.5	111	13	143	16.7	-	-	1.64				
سامانه‌های باغی Fruit production systems	125	29.6	144	34.1	152	36	1	0.2	-	-	1.88	137	2	66.978	0.000**
سامانه‌های دامی Livestock production systems	33	10.8	2	0.7	244	79.7	27	8.8	-	-	2.47				
کل Total	386	41.5	264	28.4	186	20	94	10.1	-	-					

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

رتبه‌بندی فعالیت زنان در مراحل مختلف تولید محصولات زراعی نقدینه آشکار ساخت که به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) بیشـترین میـزان نقش‌آفرینی زنان در سامانه‌هـای زراعـی بازاربنیـان (مردم‌محـور) بـه مرحله برداشت محصول به سبب نیاز بالا بـه نیـروی کـار اختصـاص داشت (جدول ۳). نتایج حاضر با یافتـه‌هـای سـایر مطالعـاتی کـه بـه بررسی نقش زنان در سـامانه‌هـای مختلـف زراعـی کشـور پرداختنـد (Barghi et al., 2014; Nouri, 2016; Porbar et al., 2014)، هم‌خوانی داشتند. مشارکت در تولید محصولات زراعی همواره یکی از مهم‌ترین وظایف زنان در خانوارهای کشاورز بوده است. زنان معمـولاً در تمامی مراحـل کاشـت، داشـت، برداشـت و فعالیـت‌هـای پـس از برداشت محصولات زراعی مانند خرمن‌کوبی، بوجاری کردن و آسیاب کردن دانه‌ها، مسـئولیت‌هـایی را بـر عهـده دارنـد (Carr & Hartl, 2010). برای مثال، در غرب آسیا، بررسی‌ها نشان دادند که در مـزارع غلات با وجود مکانیزه شدن برداشت محصول، وجین علف‌های هـرز کماکان یکی از مسئولیت‌های اصلی زنان بود و در مزارع بقولات نیـز زنان مشارکت چشم‌گیری را در برداشت محصول داشتند (Abdelali-Martini et al., 2008).

با توجه به نتایج (جـدول ۳)، در امـر فـروش محصـولات زراعـی بازاربنیان (مردم‌محور) برخلاف سایر مراحل زراعی هـیچ فرصـتی بـه زنان روستایی برای مشارکت داده نشد. در کل، زنان روستایی به‌دلیـل نقش‌های جنسیتی و هنجارهای فرهنگی و اجتماعی سـهم انـدکی در تولید و بازاریابی محصـولات نقدینـه دارنـد (Njuki et al., 2011) و همچنین برای کنترل درآمدهـای حاصـل از فعالیـت‌هـای کشـاورزی سودآور و بازارمحور دارای شانس بسیار ناچیزی می‌باشند (Chege et al., 2015).

جدول ۴ شامل یافته‌های مرتبط با بررسی فعالیت زنان روسـتایی در مراحل مختلف سامانه‌های باغی بازاربنیان (مردم‌محـور) مـی‌باشـد. یافته‌های مذکور نمایان کردند که در بـیش از نیمـی (۶۵٪- ۵۵٪) از

خانوارهای کشاورز دارای سامانه‌های باغی بازاربنیان، زنـان بـه‌میـزان زیاد تا خیلی زیاد در برداشت و فعالیت‌های پس از برداشـت محصـول مشارکت داشتند.

جدول ۳- آمار توصیفی و رتبه‌بندی مشارکت زنان در مراحل مختلف سامانه‌های تولید محصولات زراعی بازاربنیان (مردم‌محور)

Table 3- Descriptive statistics and the ranking of women's participation at different stages of market-oriented (male-dominated) crop production systems

نوع فعالیت Type of activity	سطح مشارکت Level of participation: خیلی کم Very low (N)	(%)	کم Low (N)	(%)	متوسط Medium (N)	(%)	زیاد High (N)	(%)	خیلی زیاد Very high (N)	(%)	میانگین رتبه Mean of rank	(N)	درجه آزادی df	کای اسکوئر Chi-square	سطح معنی‌داری Significance level
کاشت Planting	583	68	5	0.6	24	2.8	92	10.7	153	17.9	3.17				
داشت Maintaining	604	70.5	8	0.9	32	3.7	73	8.5	140	16.3	3.06				
برداشت Harvesting	595	69.4	9	1.1	19	2.2	52	6.1	182	21.2	3.23	857	4	655.367	0.000**
پس از برداشت Post-harvest	639	74.6	3	0.4	10	1.2	44	5.1	161	18.8	3.13				
فروش Selling	857	100	-	-	-	-	-	-	-	-	2.41				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

همچنین رتبه‌بندی انواع گوناگون فعالیت‌های بـاغی زنـان نشـان داد که مشارکت آنان در مرحله پس از برداشت محصولات باغی بـه‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) بیشتر از میزان حضور آنان در سایر مراحـل بود (جدول ۴). در همین رابطه، پژوهشی در کـرج بـا ارزیـابی سـطح مشارکت زنان در فعالیت‌های پس از برداشـت محصـولات کشـاورزی گزارش کرد که بیش از نیمی از زنان به‌میزان متوسط تا خیلی زیاد در تفکیک و درجه‌بندی محصولات کشاورزی ایفای نقش نمودند و بـه‌ویژه با فرآوری محصولات کشاورزی و تولید ترشـی، شـور، لواشـک، برگه، مربا و کمپوت زمینه‌ساز کاهش ضایعات و افزایش ارزش افزوده این محصولات شدند (Hejazi et al., 2011).

در مقایسه با مراحل پس از برداشت و برداشت محصولات بـاغی که به‌ترتیب بیشترین میزان فعالیت زنان در آن‌ها مشاهده شـد، نتـایج به‌دست‌آمده گویای آن بودند که مشارکت زنـان در مراحـل کاشـت و فروش محصولات باغی به‌ترتیب درکمترین سطح ممکن قرار داشـت (جدول ۴). در تأیید این یافته‌ها می‌توان به مطالعه صـورت گرفتـه در تربت جام اشاره کرد. در این منطقه گزارش شد که ۸۰ درصد از زنـان در فروش محصولات باغی و حدود ۷۰ درصد از زنان در کاشت نهـال به‌میزان بسیار کم تا کم مشارکت نمودند، حال آنکه بیش از ۵۰ درصد از زنان به‌میزان متوسط تا خیلی زیـاد در برداشـت میـوه فعـال بودنـد (Nouri, 2016).

توزیع فراوانی و رتبـه‌بنـدی مشـارکت زنـان در مراحـل مختلـف سامانه‌های دامی بازاربنیان (مردم‌محـور) در جـدول ۵ قابـل مشـاهده هستند. بنابر یافته‌ها، بیش از ۷۵ درصد از خانوارهایی که بـه پـرورش دام اشتغال داشتند به‌جز چرا و خرید و فروش دام‌ها در سایر فعالیـت‌های مرتبط با دامپروری به مشارکت زیاد تا خیلی زیـاد زنـان وابسـته بودند. رتبه‌بندی مشارکت زنان در مراحل مختلـف تولیـد محصـولات دامی بازاربنیان نیز نشان داد که به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) بیشـترین بار مسئولیت زنان در امور دامپروری به مرحله دوشـیدن شـیر و تهیـه لبنیات اختصاص داشـت (جـدول ۵). در بسـیاری از جوامـع روسـتایی جهان، تقسیم کارهای مربوط به پرورش دام بین مردان و زنان تحـت

تأثیر نقش‌های جنسیتی صورت می‌پذیرد (Kariuki, 2019). مراقبت از حیوانات آسیب‌پذیر (مانند گوساله و حیوانات بیمار، زخمی و آبستن)، تغذیه دام، برداشت علوفه، چرای دام، نظافت آخور، دوشیدن شیر، تهیه و فروش محصولات لبنی از جمله فعالیت‌هایی هستند که عمدتاً در شرح وظایف زنان جای دارند (Yisehak, 2008) و آنان در رابطه با نحوه درست انجام این وظایف، از دانش بومی غنی برخوردار هستند.

جدول ٤- آمار توصیفی و رتبه‌بندی مشارکت زنان در مراحل مختلف سامانه‌های تولید محصولات باغی بازاربنیان (مردم‌محور)

Table 4- Descriptive statistics and the ranking of women's participation at different stages of market-oriented (male-dominated) fruit production systems

نوع فعالیت Type of activity	سطح مشارکت Level of participation										میانگین رتبه Mean of rank	(N)	درجه آزادی df	کای اسکوئر Chi-square	سطح معنی‌داری Significance level
	خیلی کم Very low		کم Low		متوسط Medium		زیاد High		خیلی زیاد Very high						
	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)					
کاشت Planting	422	100	-	-	-	-	-	-	-	-	2.24				
داشت Maintaining	389	92.2	21	5	10	2.4	1	0.2	1	0.2	2.36				
برداشت Harvesting	127	30.1	5	1.2	48	11.4	92	21.8	150	35.5	3.98	422	4	1146.344	0.000**
پس از برداشت Post-harvest	123	29.1	2	0.5	23	5.5	80	19	194	46	4.13				
فروش Selling	409	96.9	8	1.9	5	1.2	-	-	-	-	2.29				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

برای مثال، زنان در شهرستان بوانات در استان فارس هنگام دوشیدن شیر، نخست پستان دام را با شیر تر می‌کردند و این باور را داشتند که چنین عملی موجب نرم شدن پستان دام، مانع از زخم شدن آن و تسهیل فرآیند شیردوشی می‌شود. زنان همچنین شیر گوسفندان و بزهایی که دارای کهره و بره کوچک بودند، کمتر می‌دوشیدند یا اصلاً نمی‌دوشیدند تا به رشد دام‌ها کمک نمایند (Bouzarjomehri et al., 2017). در مثالی دیگر، در شهرستان اندیکا در استان خوزستان مشاهده شد که زنان برای دوشیدن شیر، یک پارچه مخصوص که در زبان محلی آن را «شیرپال» می‌نامیدند بر روی ظرف می‌بستند تا مانع از وارد شدن مو، فضولات دام و گردوغبار به ظرف شوند (Dehdari et al., 2017).

نتایج پژوهش همچنین نمایان ساختند که زنان برای مشارکت در خرید و فروش دام‌های متعلق به مردان مشابه آنچه در مرحله فروش محصولات زراعی و باغی نقدینه تجربه کردند، از شانس بسیار ناچیزی برخوردار بودند (جدول ۵). عدم حضور یا فعالیت اندک زنان در این مرحله را می‌توان تا حد زیادی به‌سبب هنجارهای مردسالارانه و نقش‌های جنسیتی دانست که پویایی زنان در خارج از محیط خانه را نوعی تابو و مشارکت در بازارهای کشاورزی و کنترل بر درآمد خانوار را خارج از حیطه اختیارات زنان می‌انگارند.

جدول ۶ نشاندهنده انواع محصولات کشاورزی می‌باشد که تولید و فروش آنان توسط و تحت نظر زنان روستایی صورت می‌پذیرفت. هر چند مطابق با نتایجی که پیش‌تر به شرح آن پرداخته شد، از میزان مشارکت زنان روستایی در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) کاسته شده است (جدول ۲)، امّا تمامی آنان با توجه به وظایف پرشماری که در تغذیه و حفظ سلامت اعضای خانوارهایشان داشتند، کماکان به انحای گوناگون به تولید محصولات کشاورزی معیشتی مبادرت می‌ورزیدند (جدول ۶). محصولات فرآوری‌شده (مانند مربا، ترشی، رب، شوری و غیره)، طیور و تخم مرغ، سبزی‌جات و

صیفی‌جات (مانند ریحان، جعفری، شاهی، گشنیز، فلفل، گوجه‌فرنگی، خیار، کدو سبز، بادمجان، پیاز، سیر، کاهو و غیره) و فرآورده‌های لبنی (مانند ماست، پنیر، کره و غیره) به‌ترتیب چهار گروه از محصولات کشاورزی بودند که زنان بیشترین گرایش را برای تولید آن‌ها داشتند.

جدول ۵- آمار توصیفی و رتبه‌بندی مشارکت زنان در مراحل مختلف سامانه‌های تولید محصولات دامی بازاربنیان (مردم‌محور)

Table 5- Descriptive statistics and the ranking of women's participation at different stages of market-oriented (male-dominated) livestock production systems

نوع فعالیت Type of activity	سطح مشارکت Level of participation										میانگین رتبه Mean of rank	(N)	درجه آزادی df	کای اسکوئر Chi-square	سطح معنی‌داری Significance level
	خیلی کم Very low		کم Low		متوسط Medium		زیاد High		خیلی زیاد Very high						
	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)					
چرای دام Grazing livestock	275	89.9	6	2	8	2.6	16	5.2	1	0.3	1.73				
تغذیه و تعلیف دام Feeding livestock	33	10.8	-	-	36	11.8	99	32.4	138	45.1	3.57				
نظافت آخورها Cleaning barns	33	10.8	-	-	18	5.9	73	23.9	182	59.5	3.83				
شیردوشی و تهیه لبنیات Milking and producing dairy products	33	10.8	-	-	1	0.3	1	0.3	271	88.6	4.26	306	4	1016.479	0.000**
خرید و فروش دام Buying and selling livestock	306	100	-	-	-	-	-	-	-	-	1.61				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

در مقابل، زنان برای تولید غلات (مانند گندم، برنج و غیره)، گیاهان علوفه‌ای (مانند شبدر، یونجه و غیره)، گیاهان صنعتی (مانند کنجد، آفتابگردان، کلزا، سویا و غیره)، حبوبات (مانند نخود، لوبیا، عدس و غیره) و میوه‌جات (مانند سیب، مرکبات، انار و غیره) و پرورش دام (مانند گاو، گوسفند و غیره) دارای تمایل یا به بیانی درست‌تر دارای شانس بسیار ناچیزی بودند. زیرا برای تولید این محصولات عمدتاً زمین‌هایی با مساحت بیشتر و سرمایه‌هایی با مقدار زیادتر لازم بود که زنان برخلاف مردان به‌ندرت به چنین مواردی دسترسی داشتند. یافته‌ها همچنین آشکار نمودند که هدف تمامی زنان از تولید محصولات کشاورزی در گام نخست رفع نیازهای خانوار بود و تنها ۳۴/۵ درصد از زنان در صورت مازاد بودن مقدار محصولاتشان، اقدام به فروش آن‌ها در بازارهای محلی می‌کردند. این نتیجه با توجه

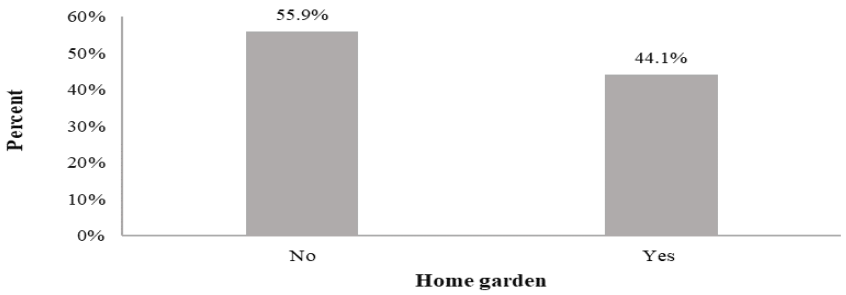
به بار وظایفی که زنان به‌منظور حفظ امنیت غذایی و سلامت خانوار بر دوش می‌کشند، دور از انتظار نبود. در میان انواع محصولات کشاورزی تولیدشده توسط زنان، به‌ترتیب طیور و تخم مرغ، محصولات فرآوری‌شده و محصولات لبنی بیشترین امکان درآمدزایی را برای زنان فراهم ساختند (جدول ۶). در افغانستان، برای مثال، پرورش طیور اغلب به‌شیوه سنتی و تحت کنترل زنان در حیاط خانه‌ها انجام می‌گرفت. محصولات تولیدی این سامانه‌ها معمولاً نیاز خانوارهای افغان را تأمین می‌کردند و در صورت مازاد بودن نیز برای فروش در بازارهای محلی عرضه می‌شدند. مصرف‌کنندگان افغانستانی حاضر به پرداخت ۴۰- ۳۰ درصد هزینه بیشتر برای خرید این تخم مرغ‌های محلی بودند (Fattori, 2005). در کل، با توجه به افزایش ارزش طیور با گذشت زمان، کشاورزان خرده‌مالک، پرورش این حیوانات را یک نوع پس‌انداز، سرمایه‌گذاری و بیمه قابل اطمینان به حساب می‌آورند (Sonaiya et al., 1999).

جدول ٦- آمار توصیفی زنان روستایی براساس تولید و فروش انواع محصولات کشاورزی

Table 6- Descriptive statistics of rural women based on the producing and selling of various agricultural products

نوع محصول کشاورزی Type of agricultural product	تولید Producing				فروش Selling			
	بلی Yes		خیر No		بلی Yes		خیر No	
	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)
میوه‌جات Fruits	41	4.4	889	95.6	25	61	16	39
غلات Cereals	-	-	930	100	-	-	-	-
حبوبات Beans	71	7.6	859	92.4	17	23.9	54	76.1
سبزی‌جات و صیفی‌جات Vegetables	408	43.9	522	56.1	54	13.2	354	86.8
گیاهان صنعتی Industrial crops	31	3.3	899	96.7	21	67.7	10	32.3
گیاهان علوفه‌ای Forage plants	-	-	930	100	-	-	-	-
دام Livestock	-	-	930	100	-	-	-	-
محصولات لبنی Dairy products	272	29.2	658	70.8	124	45.6	148	54.4
طیور و تخم مرغ Poultry and egg	572	61.5	358	38.5	232	40.6	340	59.4
محصولات فرآوری‌شده (مانند مربا، رب و غیره) Processed products (such as jam, tomato paste, etc.)	930	100	-	-	147	15.8	783	84.2
کل Total	930	100	-	-	321	34.5	609	65.5

شکل ۳ توزیع فراوانی زنان روستایی را از نظر داشتن باغچه‌های خانگی نشان می‌دهد. براساس نتایج، نزدیک به ۵۶ درصد از زنان روستایی فاقد باغچه‌های خانگی بودند و امکان کشت هیچ‌گونه محصول زراعی یا باغی را در سامانه‌هایی که تحت مدیریت خودشان باشند، نداشتند. محدودیت‌های اقلیمی به‌خصوص خشکسالی و کمبود منابع آب کشاورزی، وجود نارسایی‌های پرشمار در ساختار کالبدی و فیزیکی روستاها و همچنین، الگوی نامناسب ساخت مسکن و محوطه‌سازی در بسیاری از مناطق روستایی کشور غالباً از عناصر بنیادینی محسوب می‌شدند که دسترسی زنان به باغچه‌های خانگی کارآمد را با دشواری‌های متعددی همراه می‌ساختند. بااین‌وجود، حدود ۴۴ درصد از خانوارهای کشاورز مورد بررسی دارای باغچه‌های خانگی بودند که مدیریت امور مربوط به این سامانه‌های کشاورزی کوچک توسط زنان صورت می‌پذیرفت. زنان با تولید محصولاتی همچون سبزی‌جات، صیفی‌جات، حبوبات، میوه‌جات و غیره در باغچه‌های خانگی خویش قادر بودند تا بخشی از نیازهای خانوارهایشان را تأمین کنند، هزینه‌های غذایی خانوارهایشان را کاهش دهند و حتی با فروش بخش مازاد محصولات امکان داشتن یک منبع درآمد اضافه را برای خانوارهایشان مهیا سازند (شکل ۳).



شکل ۳- آمار توصیفی زنان روستایی براساس داشتن باغچه‌های خانگی
Fig. 3- Descriptive statistics of rural women based on having home gardens

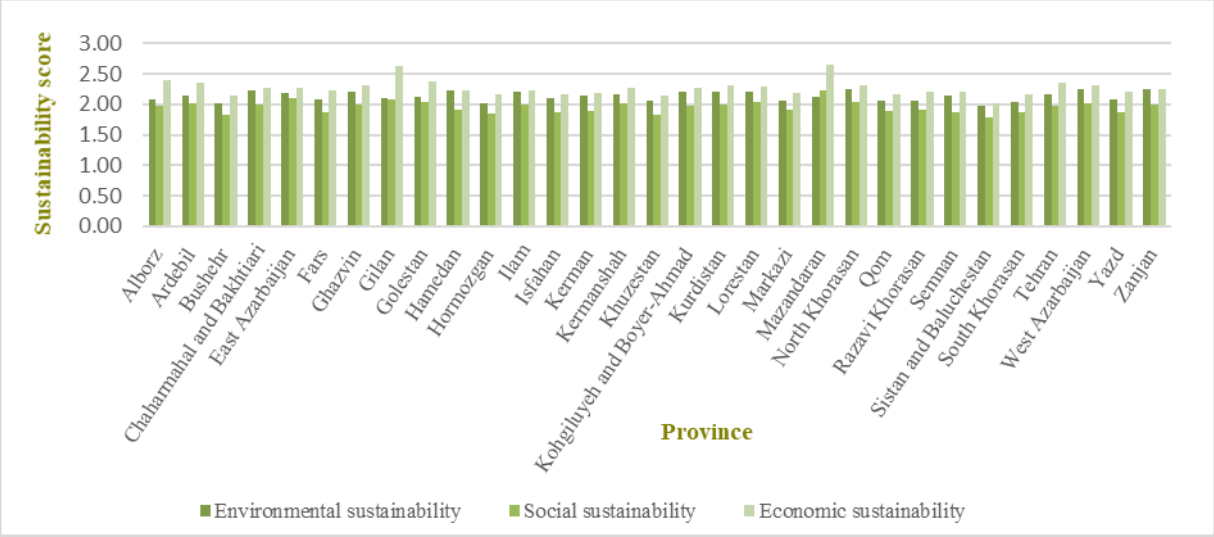
نقش زنان روستایی در پایداری کشاورزی: نتایج حاصل از ارزیابی پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی کشور در جدول ۷ گزارش شده است. خانوارهای کشاورز هر چند که جهت نیل به پایداری در هیچ یک از ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی عملکرد غیرقابل قبولی نداشتند، امّا قادر هم نبودند تا به سطح مطلوبی از پایداری دست یابند (جدول ۷). این یافته‌ها با نتایج مطالعات بسیاری که به ارزیابی پایداری سامانه‌های کشاورزی ایران اقدام نمودند، هم‌خوانی داشتند. برای مثال، ارزیابی پایداری زمین و تولیدات کشاورزی در استان مازندارن، شرایط را تقریباً ناپایدار تا پایدارِ متوسط نشان داد (Amini et al., 2020)؛ یا در استان فارس، ارزیابی پایداری سامانه-های تولید گندم و عوامل مؤثر بر آن آشکار کرد که شاخص پایداری کل برای حدود ۶۸ درصد از کشاورزان کمتر از حد متوسط بود و حدود ۹۹ درصد از کشاورزان به‌لحاظ اقتصادی شرایط ناپایدار تا بسیار ناپایداری را تجربه نمودند (Arabioun et al., 2010). با توجه به شکل ۴ که نشانگر شرایط اگرواکوسیستم‌های استان‌های مختلف کشور در ابعاد سه‌گانه پایداری می‌باشد، ناکامی خانوارهای کشاورز در دستیابی به سطح مطلوبی از پایداری تنها محدود به چند استان خاص نبود و این عدم موفقیت در تمامی ۳۱ استان مشاهده شد. بااین‌حال، لازم به ذکر است که استان‌های کشور از نظر امتیازهای پایداری کسب‌شده با یکدیگر تفاوت‌هایی هم داشتند. این تفاوت‌ها تا حد بسیاری از یکسان نبودن ویژگی‌های اقلیمی مناطق مختلف ایران نشأت می‌گرفت. خانوارهای کشاورز در استان‌های شمالی (مازندران و گیلان) که وضعیت آب‌وهوایی مناسب بود، از نظر اقتصادی و اجتماعی شرایط پایدارتری را نسبت به سایر خانوارهای کشاورز تجربه نمودند. بااین‌وجود، خانوارهای مورد اشاره به سبب کیفیت بالاتر و وفور منابع‌های طبیعی گوناگون در استان‌های شمالی دارای دغدغه کمتری برای حفظ پایداری محیط زیست بودند. اقلیم نه تنها تأثیر شایان توجهی بر خصوصیات و ظرفیت سامانه‌های کشاورزی هر منطقه دارد، بلکه تعیین‌کننده الگوی رفتاری (Van de Vliert et al., 2004)، میزان درآمد و رفاه کلی انسان‌ها (Karimi et al., 2018)

نیز می‌باشد. برای مثال، بررسی اثر عوامل مختلف بر توسعه کشاورزی پایدار در استان قزوین نمایان ساخت که اگر چه پایداری کشاورزی به‌طور معناداری تحت تأثیر عوامل اقلیمی، اجتماعی و اقتصادی قرار داشت، امّا اثر اقلیم بر پایداری کشاورزی از تأثیر سایر عوامل بیشتر بود (Asadi et al., 2013).

جدول ۷- پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی (خانوارهای کشاورز)

Table 7- Sustainability of agroecosystems (farmer households)

سطح پایداری Level of sustainability	بُعد پایداری Dimension of sustainability						کل Total	
	پایداری زیست‌محیطی Environmental sustainability		پایداری اقتصادی Economic sustainability		پایداری اجتماعی Social sustainability			
	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)	(N)	(%)
غیرقابل قبول Unacceptable	-	-	15	1.6	2	0.2	-	-
محدود Limited	930	100	908	97.6	675	72.6	928	99.8
مطلوب Good	-	-	7	0.8	253	27.2	2	0.2
میانگین امتیازات پایداری Mean of sustainability scores	2.13		1.95		2.26		2.12	



شکل ٤- پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی بوم‌نظام‌های کشاورزی در استان‌های مختلف ایران

Fig. 4- Environmental, social, and economic sustainability of agroecosystems in the various provinces of Iran

ارزیابی تأثیر فعالیت‌های کشاورزی زنان روستایی بر پایداری اگرواکوسیستم‌ها آشکار ساخت که عامل جنسیت را به جرأت می‌توان در زمره مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده پایداری عرصه‌های کشاورزی و روستایی در نظر گرفت. جدول ۸ شامل یافته‌های مربوط به بررسی اثر مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی معیشتی و زن‌محور (باغچه‌های خانگی) بر پایداری زیست‌محیطی خانوارهای کشاورز می‌باشد. خانوارهای کشاورز اگر چه صرف نظر از داشتن یا نداشتن باغچه‌های خانگی، در رسیدن به سطح مطلوبی از پایداری زیست‌محیطی ناکام

ماندند (جدول ۷)، امّا تجزیه و تحلیل‌های بیشتر نشان دادند که زنان در خانوارهای دارای باغچه‌های خانگی الگوی رفتاری محیط زیست-دوستانه‌تری را به نمایش گذاشتند و به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) التزام به حفظ پایداری زیست‌محیطی در خانوارهای آنان بیشتر بود (جدول ۸). باغچه‌های خانگی، سامانه‌های کشاورزی کوچک امّا کارآمدی می‌باشند که انواع مختلف گیاهان زراعی و درختان میوه را در بر می-گیرند و در تأمین معیشت خانوار، حفظ تنوع زیستی، تثبیت گازهای گلخانه‌ای و ارائه انواع خدمات و کالاها نقش انکارناپذیری را ایفا می-نمایند (World Bank et al., 2009). زنان روستایی به‌سبب دامنه بی‌انتهای وظایفی که به‌منظور محقق نمودن نیازهای اعضای خانوار و حفظ سلامت و رفاه آنان بر دوش می‌کشند، عمدتاً ارزش قابل توجهی را برای خدمات اکوسیستمی برآمده از باغچه‌های خانگی قایل می-باشند (Calvet-Mir et al., 2016). نظر به ماهیت یکپارچه محیط زیست، زنان روستایی حاضر در این پژوهش به‌ویژه افرادی که دارای باغچه‌های خانگی بودند، صرفاً بر حفظ و بهبود پایداری یک نوع خاصی از منابع طبیعی تمرکز نداشتند و تلاش می‌کردند تا در تصمیمات و اقدامات کشاورزی خویش به پایداری تمامی جنبه‌های محیط زیست توجه نمایند.

جدول ۸- اثر تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی توسط زنان بر پایداری زیست‌محیطی خانوارهای کشاورز

Table 8- Effect of the producing of agricultural products in home gardens by women on the environmental sustainability of farmer households

سنجه پایداری Indicator of sustainability	داشتن باغچه‌های خانگی Having home gardens	درجه آزادی df	میانگین Mean	F	t	سطح معنی‌داری Significance level
کاهش گازهای گلخانه‌ای GHG mitigation	خیر No	690	2.23	1476.52	-3.00	0.003**
	بلی Yes		2.29			
بهبود خاک Soil improvement	خیر No	913	2.14	96.31	-23.74	0.000**
	بلی Yes		2.54			
حفاظت از گونه‌ها Species conservation	خیر No	900	1.74	221.47	-64.02	0.000**
	بلی Yes		2.20			
مواد بازیافتی و تجدیدپذیر Renewable and recycled materials	خیر No	923	2.23	72.73	-13.94	0.000**
	بلی Yes		2.43			
حفاظت از آب Water conservation	خیر No	928	1.83	0.19	0.868	0.386 ns
	بلی Yes		1.82			
پایداری زیست‌محیطی Environmental sustainability	خیر No	927	2.03	17.07	-29.80	0.000**
	بلی Yes		2.26			

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

نتایج گویای این مهم بودند که زنان روستایی با به‌کارگیری رهیافت‌های گوناگون در باغچه‌های خانگی توانستند تا امتیاز پایداری خانوارهای خود را در سنجه بهبود کیفیت خاک به سطح مطلوبی ارتقا دهند (جدول ۸). زنان برای آماده‌سازی بستر خاک از شخم حفاظتی بهره بردند. آنان همچنین برخلاف مردان که از کودهای شیمیایی به-منظور افزایش حاصلخیزی خاک استفاده کردند، با اعمال تناوب زراعی، کشت مخلوط، کشت حبوبات، مالچ‌گذاری و مصرف کودهای دامی و مرغی در باغچه‌های خانگی خود به این مقصود رسیدند. خاک

سالم و حاصل‌خیز یک پیش‌شرط اجتناب‌ناپذیر برای پایداری معیشت و امنیت غذایی محسوب می‌شود، بنابراین کشاورزان همواره گرایش زیادی به افزایش پایداری خاک دارند. بااین‌وجود، زنان کشاورز به‌سبب دسترسی محدودشان به زمین و فن‌آوری‌های کشاورزی عمدتاً با استفاده از رهیافت‌های جایگزین که ریشه در دانش بومی آنان دارند، به حفظ پایداری زمین مبادرت می‌ورزند (World Bank et al., 2009). برای مثال، در پژوهشی در شهرستان‌های نیشابور و فیروزه در استان خراسان رضوی مشاهده شد که نزدیک به ۹۵ درصد از زنان پیرامون ویژگی‌های انواع مختلف خاک‌ها دارای دانشی در حد متوسط و متوسط رو به بالا بودند. زنان اسامی محلی، ویژگی‌های فیزیکی (مانند رنگ، بافت و ظرفیت نگه‌داری آب)، محدودیت‌ها و کاربردهای انواع مختلف خاک‌ها را می‌دانستند و کاملاً از این مهم آگاهی داشتند که هر نوع از خاک برای تولید چه محصولاتی مناسب است و بر عملکرد این محصولات چه تأثیری دارد (Bouzarjomehri, 2018). در مالاوی، زنان هنگام انتخاب گیاهان زراعی برای کشت در مزارع خود تنها تأمین نیازهای غذایی اعضای خانوار را مد نظر قرار نمی‌دادند و به قابلیت آن گیاه (مانند بادام‌زمینی و نخود سودانی) برای افزایش حاصلخیزی خاک نیز توجه می‌کردند (Kerr et al., 2007). در اتیوپی، زنان سرپرست خانوارهای فقیر با استفاده از فضولات دام‌های بستگانشان که در مزارع آن‌ها تغذیه می‌کردند و با بهره‌گیری از کمپوست ضایعات و باقی‌مانده‌های غذایی اقدام به افزایش ماده آلی خاک سامانه‌های کشاورزی خویش می‌نمودند (Haile et al., 2001). در رابطه با مصرف مواد و انرژی، یافته‌ها روشن نمودند که اگر چه خانوارهای بهره‌مند از باغچه‌های خانگی قادر نبودند تا به سطح مطلوبی از پایداری دست یابند، امّا در مقایسه با خانوارهای فاقد این نوع از سامانه‌های کشاورزی کوچک پایدارتر عمل کردند (جدول ۸). زنان با اجتناب از سوزاندن بقایای گیاهان و رهاسازی آن‌ها در سطح زمین و همچنین پرهیز از مصرف نهاده‌های انرژی تجدیدناپذیر (مانند سوخت فسیلی، سموم و کودهای شیمیایی) در باغچه‌های خانگی خویش موجبات افزایش پایداری چرخه مواد و انرژی را فراهم ساختند. استفاده از بقایای گیاهان برای تعلیف حیوانات و استفاده از فضولات حیوانات به‌منظور رفع نیازهای غذایی گیاهان، نقش به‌سزایی در کاهش مصرف کودهای شیمیایی دارند (Mitchell & Hanstad, 2004). کودهای دامی و مرغی می‌توانند به‌میزان زیادی ماده آلی و عناصر نیتروژن، پتاسیم و فسفر را به خاک اضافه کنند. به‌طور کلی، تنوع بالای گیاهان، فراوانی موجودات زنده بستر خاک و چرخه مداوم ماده آلی خاک در یک سامانه کشاورزی به‌میزان شایان توجهی کارایی چرخه مواد مغذی را بهبود می‌بخشند (Galhena et al., 2013).

در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نتایج نشان دادند که خانوارهای کشاورز به‌طور میانگین امتیاز پایداری مطلوبی را کسب نکردند. بااین‌وجود، زنان با داشتن باغچه‌های خانگی توانستند تا رفتارهای محیط زیست‌دوستانه خانوارهایشان را در این زمینه تقویت نمایند (جدول ۸). استفاده از روش‌های مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک (مانند تناوب زراعی، کشت مخلوط، کشت حبوبات و مصرف کودهای دامی و مرغی)، رها نمودن بقایای گیاهان در باغچه‌های خانگی به‌جای سوزاندن آنان و تمایل به کاشت حداقل چند درخت میوه در باغچه‌های خانگی با هدف تأمین نیازهای غذایی اعضای خانوار از جمله اقداماتی بودند که زنان به‌واسطه انجام آنان اثر مثبتی بر پایداری اتمسفر گذاشتند. ماهیت اغلب فعالیت‌های زنان در خانه و مزرعه به‌گونه‌ای می‌باشد که طی گذر زمان دانش وسیعی را پیرامون محیط زیست برای آنان فراهم نموده است. به‌عنوان نمونه، زنان روستایی در شهرستان‌های نیشابور و فیروزه در استان خراسان رضوی از اسامی محلی انواع گوناگون نزولات جوی، زمان و شدت بارش آن‌ها و اسامی محلی بادها و جهت وزش آن‌ها و همچنین اثرات مطلوب و مخربی که این عوامل اقلیمی بر محصولات کشاورزی می‌گذاشتند، اطلاع داشتند (Bouzarjomehri, 2018). بااین‌حال، جایگاه اجتماعی پایین زنان یکی از مهم‌ترین عواملی است که آنان را از بهره‌مندی از دانش منحصر به‌فردشان پیرامون الگوهای آب‌وهوایی، محصولات زراعی و سلامت و همچنین از اتخاذ و اعمال تصمیمات سودمند برای بهبود رفاه خانوارها و جوامعشان باز می‌دارد (Ravon, 2014). ازاین‌رو، ابزارهایی مانند پرداخت بهای خدمات اکوسیستم[1] و سازوکار توسعه پاک[2] دارای این ظرفیت ارزشمند هستند، تا نقش مؤثری را در توانمندسازی اقتصادی زنان، کاهش تغییرات اقلیمی و سازگاری با پیامدهای این تغییرات ایفا کنند (Bäthge, 2010). بنابر یافته‌ها، اگر چه عملکرد خانوارهای کشاورز در حفظ تنوع گونه‌ها (تنوع زیستی) از پایداری مطلوبی برخوردار نبود، امّا زنان به‌پشتوانه تولید انواع گوناگون محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی

1- Payment for ecosystem services (PES)
2- Clean development mechanism (CDM)

خویش موفق شدند تا امتیاز پایداری بالاتری را در سنجه حفاظت از گونه‌ها برای خانوارهایشان به ارمغان آورند (جدول ۸). زنان با هدف مهیا ساختن نیازهای غذایی اعضای خانوار معمولاً چندین گونه از گیاهان زراعی و درختان میوه را در باغچه‌های خانگی خود می‌کاشتند و در نگه‌داری از گیاهان خودرو و بومی که دارای فواید غذایی یا دارویی بودند تلاش بسیاری را صرف می‌نمودند. آنان علاوه‌بر کشت گونه‌های متنوع گیاهان زراعی و باغی و حفظ گیاهان بومی در باغچه‌های خانگی، با اجتناب از سوزاندن بقایای گیاهان پس از برداشت محصول و عدم استفاده از سموم شیمیایی برای کنترل آفات به افزایش تنوع زیستی کشاورزی کمک شایانی می‌کردند. عدم تمایل زنان به مصرف سموم شیمیایی غالباً از دانش زیاد آنان در رابطه با خطر آفتکش‌ها و سودمندی روش‌های مدیریت تلفیقی آفات (Birah et al., 2016) و همچنین قیمت بالای این نهاده‌ها و دسترسی محدود زنان به آن‌ها ناشی می‌شود (Doss & Morris, 2000). به‌طور کلی، زنان متولیان اصلی تنوع زیستی در جوامع کشاورز هستند و از ویژگی‌های مختلف بذرها و روش‌های نگه‌داری آن‌ها شناخت عمیقی دارند (Pionetti, 2006).

در زمینه‌ی حفظ منابع آبی، خانوارهای برخوردار از باغچه‌های خانگی و خانوارهای فاقد این نوع از سامانه‌های کشاورزی سطح محدودی از پایداری را تجربه کردند و برخلاف روندی که در سایر جنبه‌های محیط زیست حاکم بود، از نظر پایداری میان این دو گروه تفاوت معناداری وجود نداشت (جدول ۸). بنابر مشاهدات متعدد، زنان در باغچه‌های خانگی خویش عمدتاً به کشت گونه‌هایی از گیاهان زراعی پرداختند که نیاز آبی کمتری داشتند و برای آبیاری آنان نیز از شیوه‌های دستی (مانند سطل و شیلنگ آب)، آن هم در هنگام غروب آفتاب که شدت تبخیر آب کم می‌باشد، بهره بردند و بدین ترتیب، پایدارتر از مردان خانوارهایشان عمل نمودند. بااین‌وجود، زنان دارای باغچه‌های خانگی همانند آن دسته از زنانی که فاقد باغچه‌های خانگی بودند به‌دلیل سطح پایین سواد، فقدان مهارت‌های فنی مناسب و نداشتن شانس لازم برای مشارکت در تصمیم‌گیری‌ها در سطح خانوار و جامعه، قادر نبودند تا آن‌چنان که باید بر عملکرد خانوارهایشان در حفظ پایداری منابع آبی اثر بگذارند. فقدان آموزش مناسب و بی‌سوادی زنان به‌خصوص در کشورهای کمتر توسعه‌یافته مانع اصلی آموزش و هدایت کودکان و سایر اعضای خانواده به‌سوی توسعه‌ی فعالیت‌های پایدار از جمله حفاظت از آب به‌شمار می‌آیند (Fan et al., 2013).

در بُعد اقتصادی، همان‌طور که نتایج نشان دادند بخش اعظم خانوارهای کشاورز حاضر در پژوهش با محدودیت‌های جدی روبه‌رو بودند و از دستیابی به سطح مطلوبی از پایداری باز ماندند (جدول ۷). این نتیجه با توجه به شرایط نابسامان اقتصاد کشور و گزارش‌های مرکز آمار پیرامون رشد نرخ تورم سالانه از ۹/۹ درصد در سال ۱۳۹۶ به ۴۵/۸ درصد در سال ۱۴۰۰ دور از انتظار نبود. بااین‌وجود، یافته‌های به‌دست‌آمده آشکار ساختند که اقدام زنان به تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی هر چند که توان تاب‌آوری اقتصادی خانوارهای کشاورز را به سطح مطلوبی از پایداری ارتقا نداد، امّا به‌صورت معناداری ($p<۰/۰۱$) به آن بهبود بخشید که جزییات آن را می‌توان در جدول ۹ یافت.

نتایج نشان دادند (جدول ۹) که زنان بنابر مسئولیت‌ها و نگرانی‌هایی که در رابطه با تأمین امنیت غذایی خانوار داشتند معمولاً محصولات کشاورزی متنوع‌تری را در باغچه‌های خانگی خود کشت می‌کردند که این اقدام، ریسک از بین رفتن کل محصولات را در مواجهه با تنش‌های محیطی بسیار کاهش می‌داد (سنجه‌ی تنوع محصول). تولید محصولات کشاورزی توسط زنان در باغچه‌های خانگی همچنین تأثیر مثبتی بر بودجه‌ی مالی لازم برای خرید مواد غذایی مورد نیاز خانوار داشت و هنگامی هم که میزان تولید این محصولات از نیاز خانوار بیشتر می‌شد، زنان با فروش بخش مازاد محصولاتشان اقدام به درآمدزایی می‌کردند و بر پایداری خانوارهایشان در سنجه‌ی سودآوری اثر مثبتی می‌گذاشتند. از سوی دیگر، به‌دلیل عدم استفاده‌ی زنان از کنترل شیمیایی آفات در باغچه‌های خانگی، محصولات کشاورزی آنان از سلامت و بازارپسندی قابل توجهی برخوردار بودند و امتیاز پایداری خانوارهای این زنان نیز در سنجه‌ی آفتکش‌های خطرناک بالاتر بود. خانوارهای دارای باغچه‌های خانگی توانستند تا علاوه‌بر صرفه‌جویی در هزینه‌های ناشی از خرید مواد غذایی، با عرضه‌ی محصولات کشاورزی متنوع‌تر و سالم‌تر برای فروش به سود بیشتری دست یابند و در پی آن از پس‌انداز بهتری بهره‌مند شوند (سنجه‌ی نقدینگی). خانوارهای مذکور همچنین به‌سبب نقدینگی مناسب‌تری که داشتند، قادر بودند تا در برنامه‌های توسعه‌ی روستایی (ساخت خیابان، مدرسه، درمانگاه و غیره) سرمایه‌گذاری بیشتری نمایند (سنجه‌ی سرمایه‌گذاری اجتماعی).

باغچه‌های خانگی در بسیاری از کشورها به‌خصوص در

کشورهای در حال توسعه به‌دلیل هزینه‌بر نبودن و نیاز اندک به نهاده‌های کشاورزی و سرمایه‌گذاری، یک سازوکار کارآمد برای جلوگیری از فقر و یک منبع مهم درآمدزایی برای خانوارهای کم درآمد به حساب می‌آیند (Galhena et al., 2013). برای نمونه، در ویتنام، فعالیت‌های مربوط به باغچه‌های خانگی بیش از ۲۲ درصد از درآمد نقدی خانوارهای ساکن در مناطق کوهستانی را تشکیل می‌دادند (Trinh et al., 2003). درآمد حاصل از فروش محصولات تولیدشده در باغچه‌های خانگی عمدتاً برای خانوارها امکان خرید مواد غذایی بیشتر، پس‌انداز درآمد، بهبود سطح تحصیلات و کسب سایر خدمات را فراهم می‌سازد (Iannotti et al., 2009). باغچه‌های خانگی اگر چه اغلب تحت عنوان سامانه‌های تولید محصولات معیشتی شناخته می‌شوند، امّا با کشت گیاهان زراعی نقدینه و پرورش دام می‌توان این سامانه‌ها را به واحدهای تجاری کارآمدتری تبدیل نمود (Ranasinghe, 2009). بااین‌حال، کماکان مشارکت در سطوح بالاتر زنجیره‌های ارزش برای زنان به‌سبب دسترسی محدودشان به زمین، نهاده‌های کشاورزی و خدمات روستایی با دشواری‌های بسیاری همراه می‌باشد (FAO, 2011).

جدول ۹- اثر تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی توسط زنان بر پایداری اقتصادی خانوارهای کشاورز

Table 9- Effect of the producing of agricultural products in home gardens by women on the economic sustainability of farmer households

سنجه‌ی پایداری Indicator of sustainability	داشتن باغچه‌های خانگی Having home gardens	درجه آزادی df	میانگین Mean	F	t	سطح معنی‌داری Significance level
سرمایه‌گذاری اجتماعی Community investment	خیر No	740	1.60	56.90	-3.99	0.000**
	بلی Yes		1.67			
سودآوردی Profitability	خیر No	816	2.25	118.71	-9.54	0.000**
	بلی Yes		2.55			
تنوع محصول Product diversification	خیر No	928	2.26	0.00	-5.84	0.000**
	بلی Yes		2.39			
نقدینگی Liquidity	خیر No	928	1.98	0.59	-5.47	0.000**
	بلی Yes		2.13			
آفتکش‌های خطرناک Hazardous pesticides	خیر No	536	1.01	182.40	-49.87	0.000**
	بلی Yes		1.89			
پایداری اقتصادی Economic sustainability	خیر No	928	1.82	1.13	-23.31	0.000**
	بلی Yes		2.13			

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

نتایج مرتبط با تأثیر اقدام زنان به تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی بر جنبه‌های مختلف پایداری اجتماعی خانوارهای کشاورز در جدول ۱۰ گزارش شده‌اند. یافته‌ها روشن نمودند که هر چند تعداد پرشماری (۷۲/۶ درصد) از خانوارهای کشاورز پایداری اجتماعی محدودی را تجربه کردند (جدول ۷)، امّا خانوارهای دارای باغچه‌های خانگی به‌طور معناداری ($p<۰/۰۱$) امتیاز بالاتری را در این بُعد از پایداری کسب کردند (جدول ۱۰). فروش محصولات برآمده از باغچه‌های خانگی معمولاً وضعیت مالی خانواده‌ها را به‌دلیل

فراهم کردن یک منبع درآمد اضافه بهبود می‌بخشد و متعاقباً بر شرایط اجتماعی و فرهنگی آنان نیز اثر مثبتی می‌گذارد (Wilson, 1995). علاوه‌بر این، تخمین زده می‌شود که زنان به‌طور میانگین ۹۰ درصد از درآمد خود را صرف سرمایه‌گذاری در چارچوب خانواده می‌کنند، در صورتی‌که مردان تنها ۳۵ درصد از درآمدشان را به این امر اختصاص می‌دهند (WFP, 2021).

بنابر نتایج به‌دست‌آمده، خانوارهایی که زنان آنان به تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی می‌پرداختند در مقایسه با خانوارهای فاقد باغچه‌های خانگی از حاکمیت غذایی مطلوبی برخوردار بودند (جدول ۱۰). مهم‌ترین مزیت اجتماعی باغچه‌های خانگی را می‌توان در نقشی که آن‌ها در ارتقا سطح امنیت غذایی خانوار (برخورداری، دسترسی و مصرف محصولات غذایی) ایفا می‌کنند، جست (Galhena et al., 2013). باغچه‌های خانگی با توجه به دامنه‌ی گسترده‌ی محصولات کشاورزی که ارائه می‌دهند، این ظرفیت را دارند تا رژیم غذایی اصلی را با افزودن مقدار قابل توجهی از پروتئین‌ها (Torquebiau, 1992)، ویتامین‌ها (Kumar & Nair, 2004) و مواد معدنی (Asfaw & Woldu, 1997) غنی و متعادل سازند. این سامانه‌های کشاورزی کوچک حتی می‌توانند در هنگام بلایای طبیعی، درگیری‌ها و سایر شرایط بحرانی به‌عنوان یک ابزار کارآمد برای جلوگیری از شیوع و شدت یافتن گرسنگی و سوءتغذیه استفاده شوند (Wanasundera, 2006).

جدول ۱۰- اثر تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی توسط زنان بر پایداری اجتماعی خانوارهای کشاورز

Table 10- Effect of the producing of agricultural products in home gardens by women on the social sustainability of farmer households

سنجه‌ی پایداری Indicator of sustainability	داشتن باغچه‌های خانگی Having home gardens	درجه آزادی df	میانگین Mean	F	t	سطح معنی‌داری Significance level
کیفیت زندگی Quality of life	خیر No	928	1.80	0.74	-4.70	0.000**
	بلی Yes		2.00			
کار کودکان Child labour	خیر No	927	2.69	39.09	-3.17	0.002**
	بلی Yes		2.81			
برابری جنسیتی Gender equality	خیر No	928	1.82	1.91	-6.88	0.000**
	بلی Yes		1.96			
ایمنی محیط کار و مقررات بهداشتی Workplace safety and health provisions	خیر No	888	2.28	23.00	-4.41	0.000**
	بلی Yes		2.39			
حاکمیت غذایی Food sovereignty	خیر No	928	2.46	0.007	-3.45	0.001**
	بلی Yes		2.52			
پایداری اجتماعی Social sustainability	خیر No	928	2.21	0.80	-5.94	0.000**
	بلی Yes		2.33			

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

در سنجه‌ی کیفیت زندگی، اگر چه خانوارهای کشاورز فارغ از داشتن یا نداشتن باغچه‌های خانگی از دستیابی به سطح مطلوبی از پایداری باز ماندند، امّا زنان با تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی جهت تأمین نیازهای خانوارهای خود و همچنین با

فروش بخش مازاد محصولاتشان موفق شدند تا امتیاز پایداری بالاتری را برای خانوارهایشان به ارمغان آورند (جدول ۱۰). این‌که خانوارهای مورد بررسی می‌توانستند نیازهایی معیشتی اولیه‌شان از قبیل سه وعده غذای مناسب در روز، آب آشامیدنی سالم، پوشاک مناسب، مراقبت‌های پزشکی، مسکن مناسب و امن، هزینه‌های انرژی برای تأمین نور و دمای مناسب خانه، هزینه‌های آموزشی برای کودکان، وسایل مناسب حمل‌ونقل و نیازهای فرهنگی و تفریحی را با اجتناب کردن از اضافه‌کاری زیاد و به مخاطره انداختن اوقات فراغت اعضای خود مهیا کنند، در بهبود کیفیت زندگی آنان بسیار مؤثر بود. توانمندسازی اقتصادی زنان و افزایش مشارکت آنان در تصمیم‌گیری‌های خانواده اغلب منجر به تخصیص بودجه‌ی مالی بیشتر به مسایلی از جمله تغذیه، بهداشت، پوشاک و آموزش می‌شوند (Thomas, 1997). با توجه به یافته‌ها (جدول ۱۰)، خانوارهای کشاورز در رعایت ایمنی محیط کار و مقررات بهداشتی که از سنجه‌های مهم پایداری اجتماعی می‌باشد، عملکرد مطلوبی نشان ندادند. بااین‌حال، خانوارهای دارای باغچه‌ی خانگی قادر بودند تا محیط پایدارتر و ایمن‌تری را برای فعالیت اعضای خود و سایرین فراهم نمایند. زنان این خانوارها با اجتناب از مصرف سموم شیمیایی در باغچه‌های خانگی خویش به تولید محصولات کشاورزی متنوع که دارای خواص غذایی و دارویی ارزشمندی بودند، اقدام می‌کردند. بدین ترتیب، تولید محصولات کشاورزی در این سامانه‌های کوچک معیشتی (زن‌محور) اغلب با کمترین میزان ریسک برای سلامت اعضای خانوارها همراه بود. از سوی دیگر، فروش بخش مازاد محصولات تولیدشده در باغچه‌های خانگی، یک منبع درآمد اضافی را برای خانوارها فراهم می‌آورد و شانس آن‌ها را در تأمین هزینه‌های مربوط به بهداشت و درمان افزایش می‌داد.

از نظر رعایت حقوق کار کودکان، خانوارهای کشاورز حاضر در پژوهش عملکرد مطلوب و پایداری داشتند. به بیانی دیگر، خانوارها به‌منظور تأمین نیروی کار لازم برای انجام امور کشاورزی به‌ندرت مانع از تحصیل کودکان می‌شدند. بااین‌وجود، در خانوارهایی که زنان به تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی می‌پرداختند، به تحصیل کودکان توجه بیشتری می‌شد (جدول ۱۰). براساس مشاهدات، زنان هر چند که در مالکیت و کنترل درآمد، سرمایه‌ها و دارایی‌های خانوارهایشان از حقوق ناچیزی برخوردار بودند، امّا آنان در رابطه با باغچه‌های خانگی و کنترل درآمد حاصل از فروش محصولات تولیدشده در این سامانه‌های کشاورزی کوچک، تصمیم‌گیرندگان اصلی محسوب می‌شدند. بنابراین، زنان مذکور نسبت به زنانی که فاقد باغچه‌های خانگی بودند، توانایی اقتصادی بیشتری داشتند. بهبود توانایی اقتصادی زنان و کنترل آنان بر سرمایه‌ها و دارایی‌ها معمولاً میزان اثرگذاری زنان بر تصمیمات خانوار را افزایش می‌دهد (Meinzen-Dick et al., 2014) و به موجب آن، به تغذیه، سلامت و تحصیل فرزندان اهمیت بیشتری داده می‌شود (Lundberg et al., 1997). در سنجه برابری جنسیتی نیز یافته‌ها آشکار کردند که اگر چه خانوارهای کشاورز به‌طور کلی به سطح مطلوبی از پایداری دست نیافتند، امّا دختران و زنان در خانوارهای برخوردار از باغچه‌های خانگی با نابرابری‌های کمتری مواجه بودند (جدول ۱۰). در این خانوارها، عمدتاً شرایط اقتصادی بهتری وجود داشت و زنان محدودیت و رنج کمتری را برای کنترل درآمد و سایر سرمایه‌ها متحمل می‌شدند و همچنین دختران و زنان از فرصت‌های مساعدتری برای کسب تحصیل و مهارت بهره می‌بردند. برابری جنسیتی یکی از حقوق حیاتی افراد در جوامع بشری محسوب می‌شود و در اهداف توسعه‌ی هزاره سازمان ملل متحد نیز به آن توجه فراوانی شده است (UN, 2016). بااین‌حال، اهمیت درک نقش عامل جنسیت در کشاورزی اغلب از دیده‌ی متولیان این عرصه پنهان مانده است. این اهمال و انکار در شرایطی صورت می‌پذیرد که تعداد بسیاری از محدودیت‌ها و فرصت‌هایی که افراد برای توسعه‌ی سیاست‌های کشاورزی پایدار با آن‌ها روبه‌رو می‌شوند، تحت تأثیر عامل جنسیت شکل می‌گیرند؛ به‌نحوی که برای مثال، در بهره‌وری کشاورزی، با توجه به کشور و نوع محصول ۲۵-۴ درصد خلاء جنسیتی وجود دارد (World Bank & ONE Campaign, 2014).

یافته‌های مربوط به تجزیه و تحلیل اثر فعالیت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) بر پایداری خانوارهای کشاورز در جدول ۱۱ ارائه شده‌اند. با توجه به نتایج، رابطه‌ی بین مشارکت زنان در فرآیند تولید محصولات کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) و پایداری خانوارهای کشاورز در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بود. بااین‌وجود، به‌دلیل پایین بودن مقادیر ضریب همبستگی به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که زنان با مشارکت در سامانه‌های کشاورزی مردم‌محور در مقایسه با زمانی که شخصاً به تولید محصولات کشاورزی در باغچه‌های خانگی می‌پرداختند، شانس بسیار کمتری برای بهبود پایداری خانوارهای کشاورز در اختیار داشتند. از نظر زیست‌محیطی،

نتایج نشان دادند که میزان استفاده از نهاده‌های انرژی تجدیدناپذیر در مزارع مردان به‌دلیل ارزش اقتصادی بالا و بازارمحور بودن محصولات کشاورزی، بسیار زیاد بود و در رابطه با نحوه و میزان مصرف این نهاده‌ها نیز مردان غالباً به زنان خانوار فرصتی برای مشارکت در تصمیم‌گیری‌ها نمی‌دادند. مطالعاتی که به ارزیابی کارایی مصرف انرژی در سامانه‌های تولید محصولات باغی و زراعی بازاربنیان کشور پرداخته‌اند، سهم نهاده‌های انرژی تجدیدناپذیر از کل نهاده‌های انرژی مصرفی را حداقل ۷۰ درصد گزارش کرده‌اند (Mohammadi et al., 2008; Pishgar-Komleh et al., 2011; Rafiee et al., 2010). حال آنکه با توجه به نقش زنان در مراقبت و حفظ سلامت اعضای خانوار و محیط زیست (Jackson, 1993) و همچنین دسترسی محدود آنان به منابع تولید و سرمایه‌ها (Quisumbing et al., 2014)، باغچه‌های خانگی تا حد زیادی بر منابع انرژی تجدیدپذیر اتکا دارند و از پایداری بسیار مطلوبی برخوردار می‌باشند (Alayón-Gamboa & Gurri, 2008). نتایج پژوهش حاضر از سوی دیگر، گویای این مهم بودند که اگر چه زنان به‌دلیل نیروی کار بدون دستمزدی که در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) ارائه می‌دادند، دارای اثرات مثبتی بر پایداری اقتصادی خانوارهای خویش بودند، امّا با گذر زمان و وقوع تحولاتی همچون مکانیزه شدن فعالیت‌های کشاورزی، تغییر اقلیم و غیره از مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) و همچنین از شدت تأثیری که آنان از این طریق بر پایداری اقتصادی خانوارهایشان داشتند، به‌میزان شایان توجهی کاسته شد. افزون‌براین، از آن‌جا که کار زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) به‌عنوان نیروی کار خانوادگی به‌شمار می‌آمد و دستمزدی بابت آن پرداخت نمی‌شد، زنان برای مشارکت در تصمیم‌گیری‌های مهم پیرامون مسایلی همچون پوشاک، بهداشت، تغذیه، آموزش و غیره که بر پایداری اجتماعی خانوارها اثرگذار بودند، شانس و قدرت کافی نداشتند (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- همبستگی مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) با پایداری خانوارهای کشاورز

Table 11- Correlation of women's participation in market-oriented (male-dominated) agricultural systems with the sustainability of farmer households

بُعد پایداری Dimension of sustainability	متغیر مستقل Independent variable	(N)	ضریب همبستگی Correlation coefficient
پایداری زیست‌محیطی Environmental sustainability	مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) Women's participation in market-oriented (male-dominated) agricultural systems	930	0.101**
پایداری اقتصادی Economic sustainability		930	0.147**
پایداری اجتماعی Social sustainability		930	-0.033ns
کل Total		930	0.076**

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح یک درصد، * معنی‌دار در سطح پنج درصد و ns بدون معنی

Significance level: ** significant at 1%, * significant at 5%, and ns non-significant

نتیجه‌گیری

با توجه به آگاهی روزافزون پیرامون پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی فعالیت‌های کشاورزی، پژوهشگران بسیاری در سراسر جهان و ایران اقدام به ارزیابی پایداری کشاورزی نموده‌اند. بااین‌وجود، این مطالعات غالباً پایداری سامانه‌های تولید محصولات کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) را ارزیابی کرده و از پرداختن به نقش زنان در پایداری خانوارهای روستایی (به‌عنوان واحدهای بهره‌برداری کشاورزی) غافل مانده‌اند. از سوی دیگر، آن تعداد از مطالعاتی که به بررسی میزان مشارکت زنان در بخش کشاورزی مبادرت ورزیده‌اند نیز بر مقوله پایداری چشم پوشانده‌اند. به‌منظور رفع این خلاء پژوهشی و آماری، مطالعه حاضر با یک رویکرد جامع‌نگر به بررسی انواع فعالیت‌های کشاورزی زنان و اثر آنان بر پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی

کشور پرداخته است. براساس نتایج، مشارکت زنان در سامانه‌های کشاورزی بازاربنیان (مردم‌محور) به‌ویژه در سامانه‌های تولید محصولات زراعی و باغی نقدینه کمتر از حد متوسط و با کاهش چشم‌گیری همراه بود. هرچند، کماکان ۸۸/۵ درصد از زنان به‌میزان متوسط تا زیاد در پرورش دام به مردان خود یاری می‌رساندند. نتایج همچنین آشکار ساختند که با وجود اینکه در بسیاری از مناطق روستایی ایران، زنان به‌سبب محدودیت‌های اقلیمی، فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی قادر به داشتن باغچه‌های خانگی کارآمد نبودند، امّا ۴۴/۱ درصد از آنان موفق به تولید محصولات کشاورزی در سامانه‌های کوچک تحت مدیریت خود (باغچه‌های خانگی) شدند. یافته‌های برآمده از ارزیابی پایداری نیز نشان دادند که زنان با انجام فعالیت‌های مختلف کشاورزی از این قابلیت برخوردار بودند تا به‌طور معناداری بر میزان پایداری خانوارهای خود بیفزایند. بااین‌حال، نباید ناگفته گذاشت که زنان قادر نبودند تا با مشارکت در سامانه‌های بازاربنیان (مردم‌محور) به اندازه‌ی زمانی که خود اقدام به کشاورزی در باغچه‌های خانگی می‌کردند، پایداری خانوارهایشان را بهبود بخشند. با توجه به اثر متفاوت انواع فعالیت‌های کشاورزی زنان بر پایداری خانوارهای روستایی، پژوهش حاضر پیشنهاد می‌کند که کارشناسان و سیاست‌گذاران با رویکردی جنسیت‌محور به مسائل بخش کشاورزی کشور بپردازند. زیرا عقب راندن زنان از چرخه‌ی تولید محصولات کشاورزی به‌ویژه محصولات نقدینه منجر به افزایش مصرف‌گرایی و تغییر الگوی زندگی در مناطق روستایی می‌شود. این تغییر یقیناً اقتصاد محلی و ملی را در مسیر بسیار ناهمواری قرار خواهد داد و فشار فزآینده‌ای را بر محیط زیست و منابع طبیعی تحمیل خواهد نمود. راهکارهایی همچون ۱- ایجاد بانک اطلاعاتی جامع و دقیق از نقش‌ها و وظایف زنان در خانوارهای روستایی و کشاورز به‌منظور تدوین برنامه‌ها و سیاست‌های کارآمدتر، ۲- افزایش سطح آگاهی مردان در خصوص اهمیت کارهای بدون دستمزد زنان در پایداری اقتصادی و رفاه خانوارهای روستایی و کشاورز، ۳- ایجاد کارگاه‌های آموزشی و ترویجی هدفمند به‌منظور ارتقای سطح دانسته‌های کشاورزی زنان، ۴- لحاظ نمودن رویکرد جنسیت‌محور در طراحی فناوری‌ها و ماشین‌آلات کشاورزی، ۵- مهیا نمودن بستر لازم برای مشارکت زنان در نهادها و سازمان‌های دولتی و غیردولتی کشاورزی و ۶- ایجاد بازارهای مناسب برای محصولات کشاورزی زنان می‌تواند در سامان دادن به وضعیت زنان روستایی و متعاقباً کاهش ناپایداری عرصه‌های کشاورزی و روستایی بسیار مؤثر باشند.

References

1. Abdelali-Martini, M., Amri, A., Ajlouni, M., Assi, R., Sbieh, Y., & Khnifes, A. (2008). Gender dimension in the conservation and sustainable use of agro-biodiversity in West Asia. *Journal of Socio-Economics*, *37*(1), 365-383. https://doi.org/10.1016/j.socec.2007.06.007
2. Alayón-Gamboa, J.A., & Gurri-García, F.D. (2008). Home garden production and energetic sustainability in Calakmul, Campeche, Mexico. *Human Ecology*, *36*(3), 395-407. https://doi.org/10.1007/s10745-007-9151-4
3. 3- Amini, A., & Taheri, A.H. (2017). An analysis on the role-playing of rural women's economic activities and its dereminants: The case of Simakan rural district in Jahrom country. *Iraninan Agricultural Extension and Education Jouranl*, *12*(2), 37-51. (In Persian with English abstract)
4. Amini, S., Rohani, A., Aghkhani, M.H., Abbaspour-Fard, M.H., & Asgharipour, M.R. (2020). Assessment of land suitability and agricultural production sustainability using a combined approach (Fuzzy-AHP-GIS): A case study of Mazandaran province, Iran. *Information Processing in Agriculture*, *7*(3), 384-402. https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.10.001
5. Arabioun, A.A.G., Kalantari, K., Asadi, A.L.I., & Shaaban Ali Fami, H. (2010). Measuring sustainability level of wheat cropping system in Fars province and determining affecting factors. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, *5*(2), 17-28. (In Persian with English abstract)
6. Asadi, A., Kalantari, K., & Choobchian, S. (2013). Structural analysis of factors affecting agricultural sustainability in Qazvin province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *15*(1), 11-22.
7. Asfaw, Z., & Woldu, Z. (1997). Crop associations of home gardens in Welayta and Gurage in Southern Ethiopia. *SINET: Ethiopian Journal of Science*, *20*(1), 73-90. https://doi.org/10.4314/sinet.v20i1.18092
8. Baden, S. (1999). *Gender, Governance and the Feminisation of Poverty*. Background paper prepared for UNDP meeting on 'Women and Political Participation: 21st Century Challenges', New Delhi. pp. 24-26.
9. Bailey, K.D. (1994). *Method of Social Research*. Free Press, New York.

10. Barghi, H., Taghdisi, A., Taziki, R., & Nadekhani, Z. (2014). Investigating rural women's participation in agricultural activities (Case of Northern Astarabad villages of Gorgan). *Journal of Spatial Planning, 3*(4(11)), 155-174. (In Persian with English abstract)
11. Bäthge, S. (2010). *Climate Change and Gender: Economic Empowerment of Women through Climate Mitigation and Adaptation*. German Technical Cooperation Agency (GTZ), Eschborn.
12. Birah, A., Srivastava, R., Chand, S., & Ahmed, S.Z. (2016). Role of women in pest management in Andaman. *Indian Research Journal of Extension Education, 11*(21), 79-82.
13. Bouzarjomehri, K. (2018). Assessment and analysis of rural women's indigenous ecological knowledge and its use in sustaining natural resources: A case study of villages in the counties of Nishapur and Firuzeh. *Journal of Sustainable Rural Development, 2*(1), 17-28. https://doi.org/10.32598/JSRD.01.03.270
14. Bouzarjomehri, K., Masoumi Jashni, M., & Jahantigh, H. (2017). Investigating the role of indigenous knowledge and local traditions of women in the production and management of livestock products (Case study: Abu Nasr village, Bavanat city). *Indigenous Knowledge of Iran, 3*(6), 89-118. (In Persian)
15. Calvet-Mir, L., March, H., Corbacho-Monné, D., Gómez-Baggethun, E., & Reyes-García, V. (2016). Home garden ecosystem services valuation through a gender lens: A case study in the Catalan Pyrenees. *Sustainability, 8*(8), 718. https://doi.org/10.3390/su8080718
16. Carr, M., & Hartl, M. (2010). *Lightening the Load: Labour-Saving Technologies and Practices for Rural Women*. Practical Action, Rugby.
17. Chege, C.G., Andersson, C.I., & Qaim, M. (2015). Impacts of supermarkets on farm household nutrition in Kenya. *World Development, 72*(C), 394-407. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.03.016
18. Dehdari, S., Faraji, M., Cheraghian, A., & Ghorbani, M. (2017). The role of rural women traditional knowledge in livestock management-in Imam Zadeh Saleh Kutah village. *Rangeland, 11*(3), 306-320. (In Persian with English abstract)
19. Doss, C.R. (2014). Data needs for gender analysis in agriculture. In: Quisumbing, A., Meinzen-Dick, R., Raney, T., Croppenstedt, A., Behrman, J., & Peterman, A. (Eds.). *Gender in Agriculture*. Springer, Netherlands. p. 55-68. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4_3
20. Doss, C.R., & Morris, M.L. (2000). How does gender affect the adoption of agricultural innovations? The case of improved maize technology in Ghana. *Agricultural Economics, 25*(1), 27-39. https://doi.org/10.1111/j.1574-0862.2001.tb00233.x
21. Fan, L., Liu, G., Wang, F., Geissen, V., Ritsema, C.J., & Tong, Y. (2013). Water use patterns and conservation in households of Wei River Basin, China. *Resources, Conservation and Recycling, 74*(C), 45-53. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.02.017
22. FAO. (2011). *The State of Food and Agriculture: Women in Agriculture-Closing the Gender Gap for Development*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
23. FAO. (2015). *Sustainability Assessment of Food and Agriculture Systems: Smallholders App*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
24. FAO. (2020). *The State of Food Security and Nutrition in the World*. Available at: http://www.fao.org/3/ca9692en/online/ca9692en.html# (verified 31 March 2021)
25. FAO., IFAD., UNICEF., WFP., & WHO. (2019). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2019. Safeguarding against Economic Slowdowns and Downturns*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
26. Fattori, T. (2005). Organizing Afghan Women to Generate Income from Poultry. *Rebuilding Agricultural Markets Program (RAMP) in Afghanistan Food and Agriculture organization (FAO)*. Chemonics International Inc, Washington D.C.
27. Foltz, J., Larson, B.A., & Lopez, R. (2000). *Land Tenure, Investment, and Agricultural Production in Nicaragua*. Development discussion paper No. 738. Institute for International Development, Harvard University, Cambridge, MA.
28. Galhena, D.H., Freed, R., & Maredia, K.M. (2013). Home gardens: A promising approach to enhance household food security and wellbeing. *Agriculture & Food Security, 2*(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/2048-7010-2-8
29. Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., & Breeze, T.D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Trends in Ecology and Evolution,*

32(1), 68-80. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001

30. Haile, M., Abay, F., Waters-Bayer, A., & Reij, C. (2001). Joining forces to discover and celebrate local innovation in land husbandry in Tigray, Ethiopia. In: Reij, C., & Waters-Bayer, A. (Eds.). *Farmer Innovation in Africa: A source of Inspiration for Agricultural Development*. Routledge, London. p. 58-73.
31. Hejazi, Y., Mirtorabi, M.S., & Hosseini, S.M. (2011). Factors influencing rural women's participation in post-harvest activities: A case study (Asara, Karaj). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research, 42-2*(1), 117-128. (In Persian with English abstract)
32. Iannotti, L., Cunningham, K., & Ruel, M. (2009). *Improving Diet Quality and Micronutrient Nutrition: Homestead Food Production in Bangladesh.* IFPRI discussion paper. International Food Policy Research Institute, Washington, D.C.
33. Jackson, C. (1993). Doing what comes naturally? Women and environment in development. *World Development, 21*(12), 1947-1963. https://doi.org/10.1016/0305-750X(93)90068-K
34. Karami, E., & Mansoorabadi, A. (2008). Sustainable agricultural attitudes and behaviors: A gender analysis of Iranian farmers. *Environment, Development and Sustainability, 10*(6), 883-898. https://doi.org/10.1007/s10668-007-9090-7
35. Karimi, V., Karami, E., & Keshavarz, M. (2018). Climate change and agriculture: Impacts and adaptive responses in Iran. *Journal of Integrative Agriculture, 17*(1), 1-15. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61794-5
36. Kariuki, J. (2019). Gender and livestock. In: Ferranti, P., Berry, E.M., & Anderson, J.R. (Eds.). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. Elsevier, Netherlands. p. 481–487.
37. Kremen, C., & Miles, A. (2012). Ecosystem services in biologically diversified versus conventional farming systems: Benefits, externalities, and trade-offs. *Ecology and Society, 17*(4), 40. https://doi.org/10.5751/es-05035-170440
38. Kerr, R.B., Snapp, S., Chirwa, M., Shumba, L., & Msachi, R. (2007). Participatory research on legume diversification with Malawian smallholder farmers for improved human nutrition and soil fertility. *Experimental Agriculture, 43*(4), 437-453. https://doi.org/10.1017/S0014479707005339
39. Kumar, B.M., & Nair, P.R. (2004). The enigma of tropical homegardens. *Agroforestry Systems, 61*(1-3), 135-152. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2424-1_10
40. Lawal, J., & Muyiwa, A. (2009). Food security and socioeconomic characteristics of cocoa farming households in Nigeria: Support through agricultural biotechnology. *Journal of Applied Biosciences, 20,* 1166-1171.
41. Lundberg, S.J., Pollak, R.A., & Wales, T.J. (1997). Do husbands and wives pool their resources? Evidence from the United Kingdom child benefit. *Journal of Human Resources, 32*(3), 463-480. https://doi.org/10.2307/146179
42. Meinzen-Dick, R., Behrman, J.A., Pandolfelli, L., Peterman, A., & Quisumbing, A.R. (2014). Gender and social capital for agricultural development. In: Quisumbing, A., Meinzen-Dick, R., Raney, T., Croppenstedt, A., Behrman, J., & Peterman, A. (Eds.). *Gender in Agriculture*. Springer, Netherlands. p. 235-266. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4_10
43. Mitchell, R., & Hanstad, T. (2004). *Small Homegarden Plots and Sustainable Livelihoods for the Poor*. LSP working paper No. 11. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
44. Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., & Keyhani, A. (2008). Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. *Energy Conversion and Management, 49*(12), 3566-3570. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.07.003
45. Neumayer, E., & Plümper, T. (2007). The gendered nature of natural disasters: The impact of catastrophic events on the gender gap in life expectancy, 1981–2002. *Annals of the Association of American Geographers, 97*(3), 551-566. https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.2007.00563.x
46. Njuki, J., Kaaria, S., Chamunorwa, A., & Chiuri, W. (2011). Linking smallholder farmers to markets, gender and intra-household dynamics: Does the choice of commodity matter*? European Journal of Development Research, 23*(3), 426-443. https://doi.org/10.1057/ejdr.2011.8
47. Nouri, M. (2016). An analysis on the extent of change in participation of rural women in agriculture sector: A case study of rural areas of Torbat-e-Jam county of Iran. *Village and Development, 19*(2), 131-153. (In Persian with English abstract)
48. Pionetti, C. (2006). *Seed Diversity in The Drylands: Women and Farming in South India*. International Institute for Environment and Development, London.

49. Pishgar-Komleh, S., Sefeedpari, P., & Rafiee, S. (2011). Energy and economic analysis of rice production under different farm levels in Guilan province of Iran. *Energy*, *36*(10), 5824-5831. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.044
50. Porbar, Z., Moghani, B., Hosseini, S.F., & Ejtemai, B. (2014). Explaining the role of rural women in agricultural activities. *New Attitudes in Human Geography*, *6*(2), 69-86. (In Persian)
51. Quisumbing, A.R., Meinzen-Dick, R., Raney, T.L., Croppenstedt, A., Behrman, J.A., & Peterman, A. (2014). Closing the knowledge gap on gender in agriculture. In: Quisumbing, A., Meinzen-Dick, R., Raney, T., Croppenstedt, A., Behrman, J., & Peterman, A. (Eds.). *Gender in Agriculture*. Springer, Netherlands. p. 3-27. https://doi.org/10.1007/978-94-017-8616-4
52. Rafiee, S., Avval, S.H.M., & Mohammadi, A. (2010). Modeling and sensitivity analysis of energy inputs for apple production in Iran. *Energy*, *35*(8), 3301-3306. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.04.015
53. Ranasinghe, T.T. (2009). *Manual of Low/No-Sspace Agriculture Cum Family Business Gardens*. RUAF Foundation, International Water Management Institute.
54. Ravon, L. (2014). *Resilience in Times of Food Insecurity: Reflecting on the Experiences of Women's Organizations*. Oxfam Canada, Ottawa.
55. Rezaei, M.E., Barmaki, M., & Veisi, H. (2018). Sustainability assessment of potato fields using the DEXi decision support system in Hamadan province, Iran. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(11), 2583-2595. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62107-0
56. Saito, K.A., Mekonnen, H., & Spurling, D. (1994). *Raising the Productivity of Women Farmers in Sub-Saharan Africa*. World Bank discussion paper No. WDP 230. World Bank, Washington, D.C.
57. Smith, P. (2013). Delivering food security without increasing pressure on land. *Global Food Security*, *2*(1), 18-23. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2012.11.008
58. Sonaiya, E., Branckaert, R., & Gueye, E. (1999). Research and development options for family poultry. In: Gueye, E.F. (Ed). *The First INFPD/FAO Electronic Conference on the Scope and Effect of Family Poultry Research and Development.*
59. Thornton, P.K., Kruska, R.L., Henninger, N., Kristjanson, P.M., Reid, R.S., Atieno, F., Odero, A.N., & Ndegwa, T. (2002). *Mapping Poverty and Livestock in the Developing World*. International Livestock Research Institute, Nairobi.
60. Thomas, D. (1997). Incomes, expenditures and health outcomes: Evidence on intrahousehold resource allocation. In: Haddad, L., Hoddinott, J., & Alderman, H. (Eds.). *Intrahousehold Resource Allocation in Developing Countries*. Johns Hopkins University Press, Baltimore. p. 142-165.
61. Torquebiau, E. (1992). Are tropical agroforestry home gardens sustainable? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *41*(2), 189-207. https://doi.org/10.1016/0167-8809(92)90109-O
62. Trinh, L.N., Watson, J.W., Hue, N.N., De, N.N., Minh, N., Chu, P., Sthapit, B.R., & Eyzaguirre, P.B. (2003). Agrobiodiversity conservation and development in Vietnamese home gardens. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *97*(1-3), 317-344. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00228-1
63. UN. (2016). *Official Homepage United Nations (UN): Sustainable Development Goals*. Available at Web site https://sdgs.un.org/goals (verified 31 March 2021).
64. UN Women, UNDP., UNEP., and World Bank. (2015). *The Cost of the Gender Gap in Agricultural Productivity in Malawi, Tanzania, and Uganda*. World Bank, Washington, D.C.
65. Van de Vliert, E., Huang, X., & Parker, P.M. (2004). Do colder and hotter climates make richer societies more, but poorer societies less, happy and altruistic? *Journal of Environmental Psychology*, *24*(1), 17-30. https://doi.org/10.1016/S0272-4944(03)00021-5
66. Veisi, H., Khoshbakht, K., & Sabahi, H. (2013). A participatory assessment of agro-ecosystem sustainability in abesard, iran. *International Journal of Agricultural Sustainability*, *11*(1), 52-68. https://doi.org/10.1080/14735903.2012.676797
67. Wanasundera, L. (2006). Rural women in Sri Lanka's post conflict rural economy. *Rap Publication*, *13*, 7-43.
68. WFP. (2021). *These are the Top 6 Reasons Women are Hungrier than Men Today*. Available at Web site https://www.wfpusa.org/articles/women-in-crisis-top-ways-women-are-hungrier/ (verified 31 March 2021).
69. Wilson, R.T. (1995). *Livestock Production Systems (The Tropical Agriculturalist Macmillan/CTA)*. Macmillan Education, London.

70. World Bank. (2020). *COVID-19 to Add as Many as 150 Million Extreme Poor by 2021*. Available at: https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2020/10/07/covid-19-to-add-as-many-as-150-million-extreme-poor-by-2021 (verified 31 March 2021)
71. World Bank. (2021). Employment in Agriculture, Female (% of female employment) (modeled ILO estimate). Available at: https://data.worldbank.org/indicator/SL.AGR.EMPL.FE.ZS (verified 31 March 2021)
72. World Bank., FAO., & IFAD. (2009). *Gender in Agriculture Sourcebook*. Agriculture and Rural Development. World Bank, Washington, D.C.
73. World Bank and ONE Campaign. (2014). *Levelling the Field: Improving Opportunities for Women Farmers in Africa*. World Bank, Washington, D.C.
74. Yang, Y.E., Passarelli, S., Lovell, R.J., & Ringler, C. (2018). Gendered perspectives of ecosystem services: A systematic review. *Ecosystem Services*, *31*, 58-67. https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.03.015
75. Yisehak, K. (2008). Gender responsibility in smallholder mixed crop–livestock production systems of Jimma zone, South West Ethiopia. *Livestock Research for Rural Development*, *20*(11), 12.
76. Zhang, W., Ricketts, T.H., Kremen, C., Carney, K., & Swinton, S.M. (2007). Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological Economics*, *64*(2), 253-260. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.024

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 247-264

Evaluation of Agricultural Sustainability based on Environmental, Economic and Social Dimensions using the Vikor Model (Semnan Urban Area)

Donya Bayzidnezhad [1], Masood Taghipour [2], Hamed Ghaderzadeh [3*] and Emad Valizadeh [4]

1 and 2- Ph.D. Student and Ph.D. in Agricultural Economics, Department of Agricultural Economics, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Mazandaran, Iran, respectively.
3- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran.
4- MSc. Student of Economic Development and Planning, Department of Economics, Payam Noor University, West Tehran, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: hamedar2002 @uok.ac.ir)

Received: 10-12-2022
Revised: 23-02-2023
Accepted: 18-03-2023
Available Online: 18-03-2023

How to cite this article:
Bayzidnezhad, D., Taghipour, M., Ghaderzade, H., & Valizadeh, E. (2024). Evaluation of agricultural sustainability based on environmental, economic and social dimensions using the Vikor model (Semnan urban area). Journal of Agroecology, 16(2), 247-264. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.79828.1132

Introduction

Population growth and increased human demand for food have increased the requirements for agricultural products. Sustainable agriculture is a farming method that emphasizes long-term sustainability with minimal impact on the environment. Therefore, in order to achieve sustainable agriculture, it is necessary to identify indicators and criteria of sustainability and make a real assessment of the situation in order to measure sustainability or instability based on the criteria of sustainable agriculture. This study has evaluated and compared the sustainability of agriculture and ranked selected cities of Semnan province (Semnan, Sorkheh and Mehdishahr) according to the level of sustainability by using criteria consisting of environmental, social and economic multi-criteria decision-making criteria.

Materials and Methods

This research is descriptive-analytical with an applied nature. The method of collecting survey data is the library. In the analysis process, while using quantitative data from organizations and statistics, experts' opinions have also been used. The selection of questioned people has been done in a stratified and quota manner, and in this method random selection of people should be strictly avoided. There are various methods to evaluate sustainability, but the most efficient ones are based on the explanation of various criteria and indicators. Evaluation of agricultural sustainability in Semnan, Mahdishahr and Sorkheh cities in the form of three social, economic and environmental criteria, and each of them includes several sub-criteria, which is carried out through the Shannon entropy method of weighting them and then through the Vikor Bin method. The agricultural sustainability of these three cities is evaluated.

https://doi.org/10.22067/agry.2023.79828.1132

Results and Discussion

Based on the results obtained from the three criteria considered in the agricultural sustainability evaluation section, the environmental criterion, with a final weight of 0.52 has won the highest score, followed by the economic criterion, with a weight of 0.3 in the second place and the social criterion with a value of 0.17 has the lowest weight of the criterion in the evaluation of agricultural sustainability. According to the obtained results, among the environmental sub-criteria, the chemical fertilizer distribution sub-criteria with a weight of 0.101 and the consumption of poisons with a weight of 0.097 and also the sub-criteria of efficient irrigation systems with a weight of 0.081 are the most important and Soil fertility sub-criterion with a weight of 0.050 has the least importance in agricultural sustainability. In other words, reducing the use of chemical fertilizers and pesticides while simultaneously increasing the efficient use of new irrigation systems enhances agricultural sustainability. This approach is one of the fundamental solutions to address water scarcity by improving irrigation efficiency. Among the economic sub-criteria, the sub-criterion of water economic efficiency, with a weight of 0.076, and the yield of agricultural products, with a weight of 0.062, are the most important. Conversely, the sub-criterion of the income ratio of rural to urban households, with a weight of 0.032, is the least important. Among the sub-criteria of the social index, the sub-criterion of forming sustainability promotion classes (education) with a weight of 0.067 is the most important, and the sub-criterion of population density with a weight of 0.028 has the least role in the sustainability of agriculture. The high importance of farmers' awareness of sustainable farming systems means that increasing this awareness will significantly enhance agricultural sustainability. This can be achieved through the formation of extension classes and necessary training programs, which will have the greatest impact on promoting sustainable agriculture. Sorkheh City, with an area of 9222 square kilometres, is in first place, Semnan with an area of 11017 square kilometres, is in second place, and Mahdishahr City is in third place, with an area of 1943 square kilometres in terms of sustainable agriculture.

Conclusion

In general, the results of this research make it possible to know the importance of different parameters affecting sustainability, to evaluate sustainability and to compare the cities of Semnan province with appropriate accuracy so that an effective step can be taken in applying appropriate policies to improve the sustainability of agriculture.

Keywords: Criteria weighting, Evaluation indicators, Multi-criteria analysis, Shannon entropy, Sustainable Agricultural development

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۶۴-۲۴۷

ارزیابی پایداری کشاورزی بر پایه ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی با استفاده از مدل ویکور (منطقه شهری سمنان)

دنیا بایزیدنژاد[۱]، مسعود تقی‌پور[۲]، حامد قادرزاده[۳]* و عماد ولی‌زاده[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۷

چکیده

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی پایداری کشاورزی در شهرستان‌های سمنان، سرخه و مهدیشهر انجام شده است. شاخص‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی به‌عنوان شاخص‌های تصمیم‌گیری ارزیابی در نظر گرفته شدند. اطلاعات مورد نیاز در این مطالعه با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان سازمان جهاد کشاورزی و سالنامه‌های آماری استان سمنان (سال ۹۵- ۱۳۹۱) جمع‌آوری گردید. تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها از طریق آنتروپی شانون و رتبه‌بندی شهرستان‌های مذکور از لحاظ پایداری کشاورزی با مدل ویکور انجام گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده از روش آنتروپی از سه معیار در نظر گرفته شده در بخش ارزیابی پایداری کشاورزی، معیار زیست‌محیطی با وزن نهایی ۰/۵۲ بالاترین امتیاز را کسب کرده است و بعد از آن معیار اقتصادی با وزن ۰/۳ در رتبه دوم و معیار اجتماعی با مقدار ۰/۱۷ کمترین وزن معیار را به خود اختصاص داده است. همچنین، نتایج مدل ویکور نشان داد که از مجموع سه معیار و ۱۸ زیرمعیار مورد مطالعه، پایداری کشاورزی در سه شهرستان استان سمنان با هم متفاوت است، به‌طوری‌که شهرستان سرخه با مساحت ۹۲۲۲ کیلومترمربع در رتبه اول، سمنان با مساحت ۱۱۰۱۷ کیلومترمربع در رتبه دوم و شهرستان مهدیشهر با مساحت ۱۹۴۳ کیلومترمربع در رتبه سوم از نظر کشاورزی پایدار قرار دارند. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که معیار زیست‌محیطی بیشترین و معیار اجتماعی کمترین تأثیر را در پایداری کشاورزی مناطق منتخب دارد. افزون بر این، نتایج بیانگر آن است که شهرستان سرخه مطلوب‌ترین منطقه در بین سه شهرستان به لحاظ پایداری کشاورزی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آنتروپی شانون، تحلیل چند معیاره، توسعه پایدار کشاورزی، شاخص‌های ارزیابی، وزن‌دهی معیارها

مقدمه

رشد جمعیت و افزایش نیاز انسان به غذا باعث افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی شده است (Spiertz, 2010). بنابراین، کودهای شیمیایی، محصولات هورمونی و غیره وارد بخش کشاورزی گردید و تلاش زیادی برای افزایش تولیدات کشاورزی برای پاسخگویی به تقاضای فزاینده مواد غذایی، انجام شد. امّا این افزایش فعالیت با چالش‌های زیست‌محیطی همراه بوده و پیامدهای زیادی مانند فرسایش خاک، از بین رفتن تنوع زیستی، گرم شدن کره زمین و آلودگی آب، خاک و هوا را به دنبال داشته است (Koocheki et al., 2013).

عوارض زیست‌محیطی ناشی از اجرای برنامه‌های توسعه کشاورزی مبتنی بر فناوری انقلاب سبز منجر به معرفی مفهوم پایداری در بهره‌برداری از منابع کشاورزی شد (Tatlidil et al., 2009; Jamali Moghadam et al., 2017). اقتصاددانان و متخصصان محیطزیست بر مقوله توسعه پایدار در سطح جهانی بسیار

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و دکترای اقتصاد کشاورزی، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران.
۳- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران.
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد توسعه اقتصادی، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام‌نور غرب تهران، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hamedar2002 @uok.ac.ir)

تأکید کرده‌اند. منشأ چنین تفکری از اصل حفظ کمّی و کیفی منابع و سرمایه‌های طبیعت یا توزیع بهینه عوامل و منابع تولید در حوزه تولید محصول (کشاورزی یا غیرکشاورزی) نشأت می‌گیرد. وقتی پایداری هدف نهایی باشد؛ توسعه، مستلزم ایجاد توازن بین سیستم‌های اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی است. در بخش کشاورزی، اهداف پایداری شامل حفظ یا افزایش ذخایر طبیعی محیطزیست، تأمین نیازهای انسان به غذا، دوام اقتصادی و رفاه اجتماعی است (Ghanbari & Barghi, 2009).

مهم‌ترین معیارهای توسعه پایدار کشاورزی از نظر فائو (FAO) عبارتند از: ۱- تامین نیازهای اساسی غذایی نسل حال و آینده از نظر کمّی و کیفی و در عین حال عرضه محصولات کشاورزی ۲- ایجاد اشتغال پایدار، درآمد کافی و شرایط مناسب زندگی و کار برای افرادی که به تولیدات کشاورزی مشغول هستند ۳- حفظ و ارتقای ظرفیت تولیدی منابع طبیعی پایه و منابع تجدید پذیر بدون ایجاد اختلال در عملکرد چرخه‌های اولیه اکولوژیکی و تعادل طبیعی ۴- کاهش آسیب‌پذیری بخش کشاورزی در برابر عوامل طبیعی، تهدیدهای اقتصادی و اجتماعی و غیره و تقویت خوداتکایی منطقه (Munssing & Shearer, 1995).

کشاورزی پایدار نوعی روش کشاورزی است که بر پایداری بلندمدت با حداقل تأثیر بر محیط زیست تأکید دارد. بنابراین، برای دستیابی به کشاورزی پایدار باید شاخص‌ها و معیارهای پایداری را شناسایی کرد و ارزیابی واقعی از وضعیت انجام داد تا پایداری یا ناپایداری را براساس معیارهای کشاورزی پایدار سنجید. معیارهای اندازه‌گیری پایداری کشاورزی باید دارای دو ویژگی مهم باشند، ۱- حرکت به سمت توسعه پایدار را نشان دهند و ۲- در منطقه قابلیت محاسبه داشته باشند (Yaghobi & Sedighi, 2016).

ایران جزء کشورهایی است که دارای تنوع زیستی، شرایط آب و هوایی و اقلیمی متفاوت است. بر همین اساس، شناسایی ویژگی‌های خاص هر منطقه برای رسیدن به توسعه پایدار ضروری به نظر می‌رسد. مطالعات مختلفی به ارزیابی پایداری کشاورزی براساس جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطزیستی در داخل و خارج از ایران پرداخته‌اند از جمله چن (Chen, 2000) به توسعه پایدار کشاورزی در چین را مورد مطالعه قرار داد و تأکید ویژه‌ای بر استانداردهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی داشت. در مطالعه ژن و روتاری (Zhan & Routary, 2003) به دو شاخص مهم آگاهی و آموزش کشاورزان، دسترسی به منابع و امنیت غذایی برای تضمین پایداری کشاورزی پرداخته شده است. قزوینی و همکاران (Ghazvini et al., 2012). به ارزیابی وضعیت پایداری باغ‌های انگور (*Vitis vinifera* L.) شهرستان تاکستان پرداختند و نشان دادند، این باغ‌ها در بعد اقتصادی وضعیت به نسبت پایدار، ولی در بعد حفاظت و استفاده از مواد شیمیایی و استفاده بیش از حد از آب، وضعیت ناپایداری دارند. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) پایداری تولید برنج در ایران را با استفاده از ۱۱ شاخص در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ارزیابی کردند، برای وزن‌دهی شاخص‌ها از تحلیل مؤلفه‌های اصلی و برای اتصال شاخص‌ها از روش ترکیب خطی صعودی استفاده شد. همچنین رضایی و همکاران (Rezaee et al., 2014)، سن، سطح تحصیلات، کشاورزی تلفیقی، اندازه خانوار و اشتغال‌زایی فعالیت کشاورزی را به‌عنوان معیارهای اجتماعی تعیین‌کننده پایداری کشاورزی در نظر گرفتند. اشرفی و همکاران (Ashrafi et al., 2014)، پایداری را با استفاده از شاخص‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی، با تأکید بر رویکردهای اقتصادی برای توسعه پایدار کشاورزی روستایی بررسی می‌کنند. نتایج نشان می‌دهد که شاخص‌های توسعه پایدار روستاها طی سال‌های تحقیق بهبود یافته و روستاها به سمت توسعه پایدار رفته‌اند. دانگ و همکاران (Dong et al., 2015) در مطالعه‌ای که با هدف ارزیابی پایداری مزارع ایالات متحده انجام شد، از تحلیل جامع داده‌ها و تحلیل عاملی استفاده شد. در این پژوهش، از ۱۶ شاخص برای سنجش میزان پایداری استفاده شد. ژانگ و لیو (Zhang & Liu, 2015) روش‌های جدیدی را برای ارزیابی جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی مناطق عمده کشاورزی چین پیشنهاد کردند. در این تحقیق، از دو روش برای سنجش پایداری استفاده شد: ۱- روش عملکرد متوازن که عملکرد متوازن را بین جنبه‌های مختلف اندازه‌گیری می‌کند، ۲- روش دستاورد کلی که همه جنبه‌ها را می‌سنجد. نتایج نشان می‌دهد که دو روش دارای سطوح بسیار متفاوتی از پایداری هستند. حسن-شاهی و همکاران (Hassanshahi et al., 2015) نظام کشاورزی مرودشت در استان فارس را براساس سه شاخص اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی رتبه‌بندی کردند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، منطقه شش به‌عنوان منطقه ناپایدار، منطقه یک و چهار به‌عنوان مناطق پایدار، منطقه پنج، منطقه نسبتاً پایدار و مناطق دو تا سه مناطق ناپایدار هستند. داداشیان و همکاران (Dadashian et al.,

2015) در یک مطالعه، پایداری کشاورزی را در شهرهای منتخب استان آذربایجان شرقی ارزیابی و مقایسه کردند. آن‌ها ۲۴ شاخص را در سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی انتخاب کردند. این شاخص‌ها با استفاده از روش رتبه‌بندی تحلیلی وزن‌دهی می‌شوند و پس از ارزیابی سطح پایداری، شهرها براساس سطح پایداری رتبه-بندی می‌شوند. امیرزاده و همکاران (Amirzadeh et al., 2018)، پایداری کشاورزی با استفاده از شاخص ترکیبی پایداری در پنج بعد اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی، فنی و سیاسی در ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. برای دستیابی به این هدف، سطح کلی پایداری کشاورزی طی دوره ۹۴- ۱۳۸۴ با استفاده از شاخص ترکیبی پایداری و وزن‌دهی پارامتر براساس روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد. نتایج نشان داد که استان‌های فارس، خراسان رضوی و آذربایجان شرقی بهترین وضعیت پایداری و استان‌های سیستان و بلوچستان، خراسان جنوبی و هرمزگان ضعیف‌ترین پایداری کشاورزی را دارند. مدل ویکور مجموعه رتبه‌بندی شده از گزینه‌های موجود را با توجه به شاخص‌های متضاد تعیین می‌کند؛ به‌طوری‌که رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس این هدف صورت می‌گیرد (Yu, 1973). مطالعات مختلفی در خصوص استفاده از این روش جهت رتبه‌بندی گزینه‌های هدف انجام شده است که در بخش کشاورزی می‌توان به مطالعه قادری و همکاران (Ghaderi et al., 2016) اشاره کرد. نتایج این تحقیق که بین دهستان‌های شهرستان پاوه انجام شده بود، نشان داد که از لحاظ توسعه کشاورزی در زیر محورهای مختلف اختلاف و نابرابری‌هایی وجود دارد و از لحاظ نتایج کلی، دهستان هولی در سطح اول، دهستان‌های سیروان، ماکوان و شمشیر در سطح دوم و دهستان شیوه- سر در سطح سوم توسعه کشاورزی قرار دارند.

از آنجایی که رشد مستمر کشاورزی در کشورهای در حال توسعه یک ضرورت کارآمد اقتصادی است، لازم است از منابع و ابزار تولید در این بخش به بهترین نحو استفاده شود تا ضمن کاهش استفاده از این منابع، سودآوری و رفاه را نیز به همراه داشته باشد. بنابراین، این مطالعه با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)[1] ویکور و در ابعاد محیطی، اجتماعی و اقتصادی به ارزیابی و مقایسه پایداری کشاورزی و رتبه‌بندی شهرستان‌های منتخب استان سمنان (سمنان، سرخه و مهدیشهر) بر حسب میزان پایداری شده است.

1- Multi Criteria Decision Making

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان سمنان، با مساحت ۹۷۴۹۱ کیلومترمربع، هفتمین استان پهناور کشور با جمعیتی برابر ۷۰۲۳۶۰ نفر (براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵) می‌باشد و کمتر از یک درصد جمعیت کشور را در خود جای داده است. این استان از نظر وسعت چهار برابر استان تهران می‌باشد و هم‌اکنون شامل هشت شهرستان سمنان، شاهرود، دامغان، گرمسار، مهدیشهر، آرادان، میامی و سرخه می‌باشد. با توجه به مطالعه صورت گرفته توسط مجتهدزاده و همکاران (Mojtahedzadeh et al., 2022)، مرکز عملکردی منطقه شهری سمنان با توجه به شاخص‌های استخراج شده از مبانی نظری تعیین شده است که براساس نتایج به‌دست آمده، شهر سمنان به‌عنوان شهر اصلی و شهرهای مهدیشهر و سرخه به‌عنوان شهرهای پیرامونی انتخاب گردید که مساحت این سه شهرستان به‌ترتیب برابر است با ۱۱۰۱۷، ۱۹۴۳ و ۹۲۲۲ کیلومترمربع می‌باشد. بر این اساس، در این مطالعه وضعیت پایداری کشاورزی سه شهرستان سمنان، مهدیشهر و سرخه مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۱).

روش پژوهش

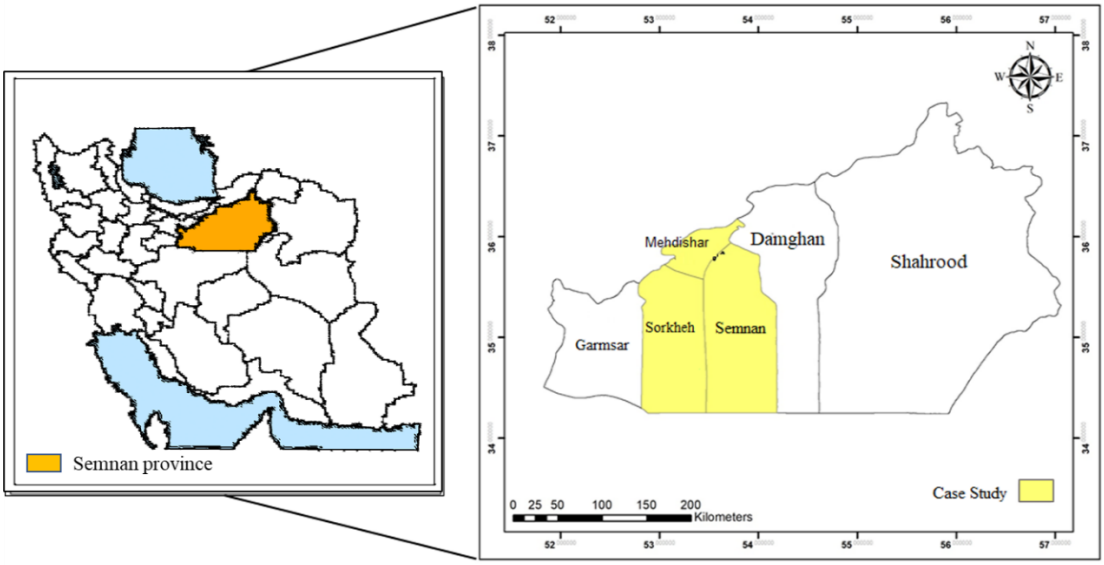
در سند تفصیلی تدبیر و توسعه شهرستان‌های استان سمنان، برآیندی از وضعیت موجود هر شهرستان با استفاده از آمار و اطلاعات سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۵ جمع‌بندی و ارائه شده است. در بخش کشاورزی این سند، آمار و اطلاعات نشان می‌دهد که شاخص‌های کشاورزی در شهرستان‌های منتخب استان، حاکی از متفاوت بودن سطوح پایداری در آن‌ها می‌باشد (جدول ۱). به نظر می‌رسد که وجود تفاوت‌های طبیعی و مصرف نهاده‌های مختلف در استان سمنان باعث شده است تا شهرستان‌های استان در تولید محصولات کشاورزی متفاوت عمل کرده و به لحاظ پایداری کشاورزی متفاوت از هم باشند.

این پژوهش، از نوع توصیفی- تحلیلی با ماهیت کاربردی است. شیوه گردآوری داده‌های پیمایشی کتابخانه‌ای می‌باشد. در فرآیند تحلیل، ضمن استفاده از داده‌های کمّی سازمان‌ها و آمارنامه‌ها، از نظرهای کارشناسان نیز استفاده شده است. انتخاب افراد پرسش‌شونده به‌صورت طبقه‌ای و سهمیه‌ای صورت گرفته است و از انتخاب تصادفی افراد به‌شدت پرهیز شده است.

جدول ۱- شاخص‌های کشاورزی در شهرستان‌های سمنان، مهدیشهر و سرخه

Table 1- Agricultural indicators in the cities of Semnan, Mahdishahr and Sorkheh

عنوان شاخص Indicator	شهرستان City	سال Year					درصد تغییرات سال ۱۳۹۵ به ۱۳۹۱ Changes in 2016 relative to 2012 (%)
		2012	2013	2014	2015	2016	
مساحت کل اراضی آبی Total irrigated lands (ha)	سمنان Semnan	9579	9579	9579	9579	9579	0
	مهدیشهر Medishahr	5016	5316	5316	5316	5316	5.98
	سرخه Sorkheh	5385	5385	5385	5385	5385	0
مساحت اراضی تجهیز و نوسازی شده Equipped and renovated lands (ha)	سمنان Semnan	2	6	11	3	5	150
	مهدیشهر Medishahr	0	2	0	1	0	–
	سرخه Sorkheh	0	5	0	1	0	–
سازماندهی مالکیت و صدور اسناد کشاورزی Organization of ownership and issuance of agricultural documents (hectares)	سمنان Semnan	0	0	15.54	69.3	214.3	1279.02
	مهدیشهر Medishahr	0	0	6.5	23	0	–
	سرخه Sorkheh	0	0	0	21	7.4	–64.76
تولید محصولات زراعی آبی Production of irrigated crops (ton)	سمنان Semnan	53183	64464	79943	74827	65336	22.85
	مهدیشهر Medishahr	4365	16533	12967	12991	8412	92.71
	سرخه Sorkheh	27146	24714	17712	16969	18346	–32.42
مساحت باغات مثمر Fruitful gardens (ha)	سمنان Semnan	2567	2697	2831	2907	2943	14.65
	مهدیشهر Medishahr	3151	3239	3291	3366	3380	7.27
	سرخه Sorkheh	1824	1964	2038	2134	2156	18.2
میزان تولید باغات Garden production (ton)	سمنان Semnan	13401	16709	19362	22395	22685	69.28
	مهدیشهر Medishahr	19987	21058	21945	22975	23415	17.15
	سرخه Sorkheh	5069	6566	8256	9891	10074	98.74
میزان تولید محصولات گلخانه‌ای Greenhouse crops production (ton)	سمنان Semnan	1408	1595	2312	3105	4963	252.49
	مهدیشهر Medishahr	965	965	990	1764	538.6	–44.19
	سرخه Sorkheh	300	300	480	444	259	–13.67
سطح زیر کشت محصولات گلخانه‌ای Greenhouse crops cultivated area (ha)	سمنان Semnan	7.5	8.5	12.5	16	21.1	181.33
	مهدیشهر Medishahr	5.2	5.2	5.5	10	13	150
	سرخه Sorkheh	1.7	1.7	3.2	2.4	1.4	–17.64



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Location of the study area

برای ارزیابی پایداری روش‌های مختلفی وجود دارد، امّا کارآمدترین آنها بر تبیین معیارها و شاخص‌های مختلف استوار است. در جدول ۲ معیارها و زیرمعیارهای در نظر گرفته شده به‌منظور ارزیابی پایداری کشاورزی شهرستان‌های سمنان، مهدیشهر و سرخه آورده شده است که در قالب سه معیار اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی می‌باشد که هرکدام شامل چندین زیرمعیار است. یادآوری این نکته ضروری است که معیارها با بررسی‌های صورت گرفته و مصاحبه با متخصصان کشاورزی به‌دست آمده است. در ادامه بعد از شناسایی معیارها و زیرمعیارها، از طریق روش آنتروپی شانون، وزن‌دهی آن‌ها انجام شد و سپس، از طریق مدل ویکور بین این سه شهرستان، پایداری کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش آنتروپی شانون[1]

ایده اصلی روش آنتروپی شانون بر این پایه استوار است که هر چه پراکندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است (Jaafari et al., 2014). بنابراین، برای محاسبه اوزان شاخص‌ها به‌ترتیب زیر عمل می‌کنیم.

در ابتدا، باید ماتریس تصمیم P_{ij} را با استفاده از معادله ۱ محاسبه می‌کنیم.

معادله (۱)

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}}$$

که در آن، pij: ماتریس تصمیم و aij: مقادیر هر معیار برای هر گزینه است.

سپس، مقدار آنتروپی (Ej) و یا مقدار اطمینان شاخص jام با استفاده از معادله ۲ محاسبه می‌گردد. (m: تعداد گزینه‌ها می‌باشد)

معادله (۲)

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{n} (p_{ij} * Lnp_{ij})$$

$$K = \frac{1}{Ln(m)}$$

پس از محاسبه آنتروپی مقدار عدم اطمینان محاسبه می‌شود که درجه انحراف از اطلاعات به‌دست آمده برای شاخص j را نشان می‌دهد و با نماد d_j شناخته می‌شود.

معادله (۳)

$$d_j = 1 - E_j$$

و در آخر، وزن شاخص‌ها را با استفاده از معادله ۴ محاسبه می‌کنیم.

معادله (۴)

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^{n} d_j} \qquad \sum W_j = 1$$

1- Shannon entropy

جدول ۲- شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی پایداری کشاورزی

Table 2- Indicators used in agricultural sustainability evaluation

معیار Criteria	زیر معیار Sub-criteria	کد Code	شرح Description
زیست‌محیطی Environmental (En)	سهم مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی نسبت به کل مصرف Share of agricultural use of groundwater to total consumption	En_1	میزان مصرف آب‌های زیرزمینی برای کشاورزی نسبت به کل مصرف × ۱۰۰ The amount of groundwater consumption for agriculture relative to the total consumption × 100
	سیستم‌های کارآمد آبیاری Efficient irrigation systems	En_2	نسبت اراضی تحت پوشش آبیاری تحت فشار به کل اراضی The ratio of lands covered by pressurized irrigation to the total lands (%)
	حاصلخیزی زمین زراعی Agricultural land fertility	En_3	نسبت سطح زیرکشت به کل زمین‌های زراعی The ratio of cultivated area to total agricultural land
	میزان توزیع کود شیمیایی The amount of chemical fertilizer distribution	En_4	میزان مصرف کودهای شیمیایی تقسیم بر سطح زیرکشت محصولات The consumption of chemical fertilizers divided by the cultivated area ($kg.ha^{-1}$)
	تنوع زراعی Crop diversity	En_5	فرمول H، درجه – تنوع گیاهان زراعی شاخص هرفیندال (1959) Formula H, degree-diversity of agricultural crops (Herfindahl index (1959))
	میزان مصرف سموم The amount of pesticides	En_6	میزان مصرف سموم تقسیم بر سطح زیرکشت محصولات The consumption of pesticides divided by the cultivated area ($L.ha^{-1}$)
اقتصادی Economic (Ec)	ضریب مکانیزاسیون Mechanization coefficient	Ec_1	نسبت مجموع کل توان کششی موجود به مجموع کل سطح زمین‌های زراعی The ratio of the total available traction power to the total area of agricultural land
	عملکرد محصولات کشاورزی Crop yield	Ec_2	عملکرد گندم آبی Irrigated wheat yield ($kg.ha^{-1}$)
	نسبت درآمد خانوار روستایی به شهری Ratio of rural to urban household income	Ec_3	تقسیم درآمد خانوار روستایی به درآمد خانوار شهری Dividing rural household income to urban household income
	سرانه تولید شاغلین بخش کشاورزی Per capita production of agricultural workers	Ec_4	ارزش افزوده بخش کشاورزی تقسیم بر شاغلین بخش کشاورزی The added value of the agricultural sector divided by the number of employees in the agricultural sector
	بهره‌وری اقتصادی آب Water economic productivity	Ec_5	نسبت محصول تولید شده زراعی به مقدار آب مصرفی The ratio of agricultural production to the amount of consumed water
	سرانه اراضی کشت شده Cultivated land per capita	Ec_6	نسبت سطح زیرکشت کل محصولات کشاورزی به جمعیت کل The ratio of the cultivated area of agricultural products to the total area ($hectares.person^{-1}$)
	سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی از تولید The share of added value of agricultural sector from production	Ec_7	میزان تولید بخش کشاورزی تقسیم بر کل تولید ناخالص داخلی The amount of production of the agricultural sector divided by the total gross domestic product (%)
اجتماعی Social (So)	تشکیل کلاس‌های ترویج پایداری (آموزش) Formation of sustainability promotion classes (education)	So_1	نسبت مروج به جمعیت روستایی Proportion of promoters to rural population
	نرخ اشتغال روستایی Rural employment rate	So_2	نسبت جمعیت شاغل روستایی به جمعیت فعال × ۱۰۰ Ratio of the rural working population to the active population × 100
	تراکم جمعیت Population density	So_3	نسبت جمعیت روستایی به مساحت Ratio of rural population to area
	سطح سواد در مناطق روستایی Literacy level in rural areas	So_4	نرخ باسوادی در مناطق روستایی Literacy rate in rural areas (%)
	سهم شاغلان بخش کشاورزی Share of agricultural workers	So_5	نسبت جمعیت شاغل کشاورزی به کل جمعیت شاغل ×۱۰۰ The ratio of the population working in agriculture to the total working population × 100

مدل ویکور[1]

ویکور مدلی مبتنی بر ماتریس تصمیم برای انتخاب گزینه بهینه براساس تعدادی معیار است که توسط اپریکویک معرفی شد (Chen & Wang, 2009). یک مدل سازشی است و به تصمیم‌گیری پیرامون گزینه‌ها براساس معیارهای مختلف کمک می‌کند. منظور از

1- VIKOR

جواب سازشی نزدیک‌ترین جواب موجه به جواب ایده‌آل است. مدل ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها براساس معیارها، گزینه‌ها را اولویت-بندی یا رتبه‌بندی می‌کند (Ghaderi et al., 2016). در این مدل، معیارها وزن‌دهی نمی‌شوند، بلکه معیارها از طریق روش‌های دیگر ارزیابی می‌شود. سپس گزینه‌ها براساس معیارها و با ترکیب در ارزش معیارها، ارزیابی شده و رتبه‌بندی می‌شوند.

مراحل حل مسئله با استفاده از مدل ویکور:

الف- تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم مدل ویکور شامل یک ماتریس معیار گزینه‌ای است، یعنی معیارها در ستون و گزینه‌های پژوهش (شهرستان‌ها) که قصد رتبه‌بندی آن‌ها را داریم در سطر قرار می‌گیرند.

ب- نرمال‌سازی ماتریس تصمیم: فرض می‌کنیم m گزینه و n معیار داریم. گزینه های مختلف i بعنوان x_i مشخص شده‌اند. برای گزینه x_j رتبه جنبه jام بعنوان x_{ij} مشخص شده است و برای سایر گزینه‌ها نیز همینطور. x_{ij} ارزش و مقدار معیار jآم است. برای فرایند نرمال سازی مقادیر، جایی که x_{ij} ارزش اصلی گزینه iام و بعد jام است (رابطه ۵).

$$f_{ij} = x_{ij} \Big/ \sqrt{\sum_{j=1}^{n} x_{ij}^2}, i=1,2,\ldots,m; \quad j=1,2,\ldots,n \qquad \text{معادله (۵)}$$

ج- تعیین بردار وزن معیارها و تشکیل ماتریس وزن-دار: توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری تعیین می‌شود.

نکته: این سه گام، در روش آنتروپی مشترک است و انجام شده است.

د- تعیین بهترین و بدترین مقدار: بهترین و بدترین هریک از مقادیر در هر معیار را شناسایی می‌کنیم و و به ترتیب f_j^* و f_j^- می نامیم.

$$\begin{aligned} f_j^* &= \quad Max\, f_{ij} \quad , i=1,2,\ldots,m \\ f_j^- &= \quad Min\, f_{ij}, j=1,2,\ldots,n \end{aligned} \qquad \text{معادله (۶)}$$

که در آن، f_j^* بهترین راه حل ایده‌آل مثبت برای معیار jام و f_j^- بدترین راه حل ایده‌آل منفی برای معیار jام.

اگر تمامی f_j^* را به هم پیوند بزنیم یک ترکیب بهینه خواهیم داشت که بیشترین امتیاز را خواهد داد که درمورد f_j^- نیز همینطور است.

ه- تعیین شاخص مطلوبیت و نارضایتی: در این مرحله، فاصله هر گزینه از راه‌حل ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌گردد و سپس، مقادیر شاخص مطلوبیت (Si) و نارضایتی (Ri) براساس معادله‌های ۷ و ۸ به‌دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n} w_i (f_j^* - f_{ij}) / (f^* - f_j^-) \qquad \text{معادله (۷)}$$

$$R_i = Max_j [w_i (f_j^* - f_{ij}) / (f^* - f_j^-)] \qquad \text{معادله (۸)}$$

که در آن، S_i بیانگر نسبت فاصله گزینه iام از راه حل ایده آل مثبت (بهترین ترکیب) و R_i بیانگر نسبت فاصله گزینه iام از راه حل ایده آل منفی (بدترین ترکیب) می باشد. برترین رتبه بر اساس ارزش S_i و بدترین رتبه بر اساس ارزش R_i بدست می آید.

ی- محاسبه مقدار ویکور Q_i: این مقدار برای هریک از iها به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

معادله (۹)

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right] + (1-v)\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$$

که در آن، $S^- = Max_i S_i$ ، $S^* = Min_i S_i$ ، $R^- = Max_i R_i$ و $R^* = Min_i R_i$ و v: وزن استراتژی اکثریت موافق معیار یا حداکثر مطلوبیت گروهی است.

$\left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*}\right]$: بیانگر نسبت فاصله از راه حل ایده‌آل منفی گزینه iام و به عبارت دیگر، موافقت اکثریت برای نسبت iام است.

$\left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*}\right]$: بیانگر نسبت فاصله از راه حل ایده آل گزینه iام و به معنی مخالفت با نسبت گزینه iام است. بنابراین هنگامی که مقدار v بزرگتر از 0.5 باشد شاخص Q_i منجر به اکثریت موافق می‌شود و هنگامی که مقدار آن کمتر از 0.5 می شود شاخص Q_i بیانگر نگرش منفی اکثریت است. بطور کلی وقتی مقدار v برابر 0.5 است بیانگر نگرش توافقی متخصصان ارزیابی است. در انتها بر اساس مقادیر Q_i، گزینه‌ها را رتبه‌بندی می‌نماییم (Yu, 1973). در این پژوهش، سه شهرستان مهدیشهر، سرخه و سمنان به‌ترتیب گزینه اول تا سوم می باشند.

نتایج و بحث

نتایج وزن‌دهی شاخص‌ها از طریق روش آنتروپی

وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده از تحقیق به روش آنتروپی طی مراحل نام برده شده، به‌دست آمده است. ابتدا ماتریس تصمیم معیارها و زیرمعیارهای ارزیابی پایداری کشاورزی در منطقه سه شهرستان مهدیشهر، سرخه و سمنان تشکیل شد (جدول ۳).

در مرحله بعد به‌منظور نرمال‌سازی مقادیر ماتریس، ابتدا همه مقادیر ماتریس به‌توان ۲ رسانده و مجموع هر ستون جمع می‌گردد و سپس، جذر مجموع هر ستون گرفته می‌شود و در نهایت، هر یک مقادیر بر جذر به‌دست آمده تقسیم می‌گردد (جدول ۴).

پس از نرمال‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری، مقدار آنتروپی و یا مقدار اطمینان هر شاخص محاسبه می‌گردد و سپس، مقدار عدم اطمینان محاسبه می‌شود که درجه انحراف از اطلاعات به‌دست آمده برای هر شاخص را نشان می‌دهد و با نماد(d_j)شناخته می‌شود و در آخر، وزن شاخص‌ها محاسبه گردید (جدول ۵).

جدول ۳- ماتریس تصمیم معیارهای ارزیابی پایداری کشاورزی

Table 3- Decision-making matrix of agricultural sustainability assessment criteria

مکان Site	زیست‌محیطی Environmental	اقتصادی Economic	اجتماعی Social
گزینه 1 (مهدیشهر) Option 1 (Mehdishahr)	10.855	13.933	16.117
گزینه 2 (سرخه) Option 2 (Sorkheh)	25.763	26.398	25.628
گزینه 3 (سمنان) Option 3 (Semnan)	17.925	22.891	24.216
جمع ستون Total column	54.543	63.223	65.962

جدول ٤- ماتریس نرمال شده تصمیم معیارهای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی

Table 4- Normalized decision matrix of environmental sustainability evaluation criteria

مکان Site	زیست‌محیطی Environmental	اقتصادی Economic	اجتماعی Social
گزینه 1 (مهدیشهر) Option 1 (Mehdishahr)	0.199	0.220	0.244
گزینه 2 (سرخه) Option 2 (Sorkheh)	0.472	0.417	0.388
گزینه 3 (سمنان) Option 3 (Semnan)	0.328	0.362	0.367

جدول ٥- مقادیر اطمینان (E)، عدم اطمینان (d) و وزن معیارها (w) پس از نرمال‌سازی

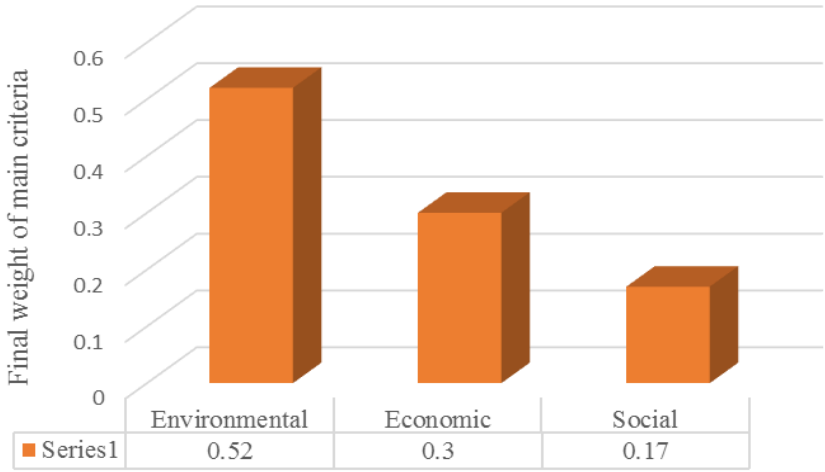
Table 5- Confidence interval (E), uncertainty (d) and criteria weights (w) after normalization

مکان Site	زیست‌محیطی Environmental	اقتصادی Economic	اجتماعی Social
K=1/Ln (m)	-1.041	-1.065	-1.079
Ej	0.947	0.970	0.982
dj	0.052	0.029	0.017
Wj	0.524	0.300	0.174

براساس نتایج به‌دست آمده از جدول ۵ از سه معیار در نظر گرفته شده در بخش ارزیابی پایداری کشاورزی، معیار زیست‌محیطی با وزن

نهایی ۰/۵۲ بالاترین امتیاز را کسب کرده است و بعد از آن، معیار اقتصادی با وزن ۰/۳ در رتبه دوم و معیار اجتماعی با مقدار ۰/۱۷ کمترین وزن معیار را در ارزیابی پایداری کشاورزی به خود اختصاص داده است (شکل ۲). نتایج مشابهی توسط محققان دیگر گزارش شده است که می‌توان به تحقیق داداشیان و همکاران (Dadashian Sarai et al., 2015) اشاره کرد که معیار زیست‌محیطی بیشترین و معیار اجتماعی کمترین تأثیر را در پایداری کشاورزی در شهرستان‌های استان آذربایجان شرقی دارد. نتایج مطالعه داورپناه و همکاران (Davarpanah et al., 2016) نشان داد که معیار زیست‌محیطی با وزن نسبی ۰/۴۴۳ بیشترین و معیار اجتماعی با وزن نسبی ۰/۱۶۹ کمترین تأثیر را پایداری کشاورزی دارد. در این زمینه می‌توان گفت که نتیجه بررسی نظر کارشناسان جهاد کشاورزی نیز مطابق نتایج حاصل از این بخش تحقیق است که دستیابی به کشاورزی پایدار در اولویت اول توجه و رعایت مسائل زیست‌محیطی و کاهش آسیب و زیان‌های زیست‌محیطی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی را می‌طلبد و در مرحله بعد مسائل اجتماعی و اقتصادی منابع موجود مورد توجه قرار بگیرد.

در ادامه وزن هر یک از زیرمعیارها به‌روش آنتروپی نیز محاسبه گردید، به همین منظور ابتدا ماتریس تصمیم و نرمال برای زیر معیارها با در نظر گرفتن سه گزینه مورد نظر تحقیق تشکیل و پس از نرمال‌سازی، وزن‌دهی هر یک از آن‌ها صورت گرفت (جدول ۶).



شکل ۲- وزن نهایی معیارهای مورد نظر در ارزیابی پایداری زیست‌محیطی

Fig. 2- The final weight of the desired criteria in the assessment of environmental sustainability

جدول ٦- ماتریس نرمال تصمیم زیر معیارهای ارزیابی پایداری کشاورزی

Table 6- The normalized decision matrix of agricultural sustainability evaluation sub-criteria

معیار Criteria	En1	En2	En3	En4	En5	En6	Ec1	Ec2	Ec3	Ec4	Ec5	Ec6	Ec7	So1	So2	So3	So4	So5
وزن معیار Criterion weight	0.52						0.30							0.17				
گزینه 1 (مهدیشهر) Option 1 (Mehdishahr)	0.557712	0.349228	0.159776	0.094617	0.052536	0.060064	0.912613	0.985842	0.797051	0.909096	0.020481	0.333773	0.017336	0.019335	0.145313	0.185313	0.165313	0.114944
گزینه 2 (سرخه) Option 2 (Sorkheh)	0.127896	0.133235	0.134354	0.059681	0.176204	0.130426	0.001854	0.000281	3.98E-05	0.001842	0.008245	0.129201	0.017346	0.017345	0.093167	0.143167	0.113167	0.113106
گزینه 3 (سمنان) Option 3 (Semnan)	0.07305	0.0761	0.125846	0.051018	0.141175	0.091664	0.003063	0.000464	6.57E-05	0.003046	0.004709	0.070092	0.237529	0.237517	0.087266	0.097266	0.097266	0.123195

جدول ۷- نتایج وزن نهایی برای هر زیر معیار در ارزیابی پایداری کشاورزی

Table 7- The results of the final weight for each sub-criteria in the assessment of agricultural sustainability

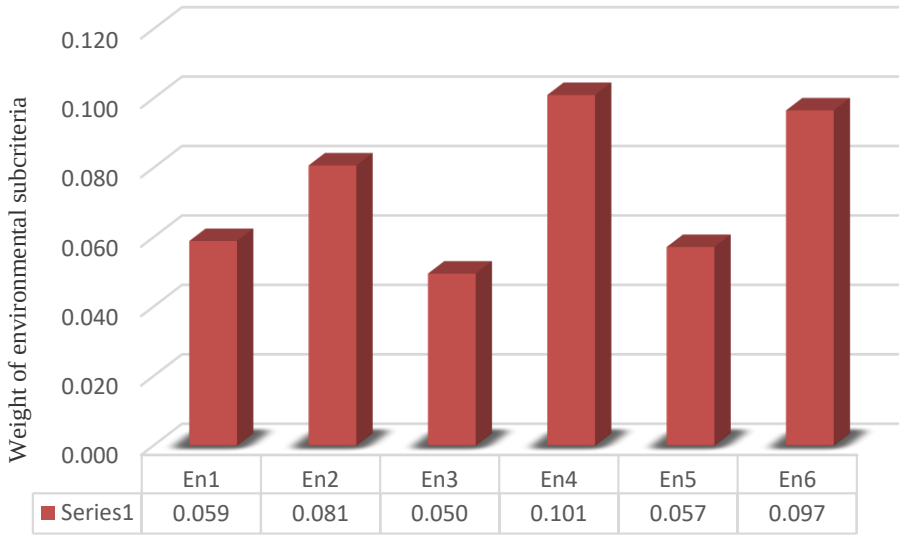
معیار Criteria	کد Code	زیر معیارها Sub-criteria	مقدار آنتروپی Entropy value (E_j)	مقدار عدم اطمینان amount of uncertainty (d_j)	وزن زیرمعیار weight Sub-criteria (w_j)
زیست‌محیطی Environmental	En_1	سهم مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی نسبت به کل مصرف Share of agricultural use of groundwater to total consumption	0.709825	0.290175	0.059
	En_2	سیستم‌های کارآمد آبیاری Efficient irrigation systems	0.757286	0.242714	0.081
	En_3	حاصلخیزی زمین زراعی Agricultural land fertility	0.74963	0.25037	0.050
	En_4	میزان توزیع کود شیمیایی The amount of chemical fertilizer distribution	0.494379	0.505621	0.101
	En_5	تنوع زراعی Crop diversity	0.67092	0.32908	0.057
	En_6	میزان مصرف سموم The amount of pesticides	0.594964	0.405036	0.097
اقتصادی Economic	Ec_1	ضریب مکانیزاسیون Mechanization coefficient	0.102719	0.897281	0.046
	Ec_2	عملکرد محصولات کشاورزی Crop yield	0.018123	0.981877	0.062
	Ec_3	نسبت درآمد خانوار روستایی به شهری Ratio of rural to urban household income	0.165514	0.834486	0.032
	Ec_4	سرانه تولید شاغلین بخش کشاورزی Per capita production of agricultural workers	0.105487	0.894513	0.051
	Ec_5	بهره‌وری اقتصادی آب Water economic productivity	0.131465	0.868535	0.076
	Ec_6	سرانه اراضی کشت شده Cultivated land per capita	0.743613	0.256387	0.038
	Ec_7	سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی از تولید The share of added value of agricultural sector from production	0.438792	0.561208	0.052
اجتماعی Social	So_1	تشکیل کلاس‌های ترویج پایداری (آموزش) Formation of sustainability promotion classes (education)	0.444243	0.555757	0.067
	So_2	نرخ اشتغال روستایی Rural employment rate	0.650122	0.349878	0.040
	So_3	تراکم جمعیت Population density	0.743959	0.256041	0.028
	So_4	سطح سواد در مناطق روستایی Literacy level in rural areas	0.701601	0.298399	0.033
	So_5	سهم شاغلان بخش کشاورزی Share of agricultural workers	0.685533	0.314467	0.035

سپس مقدار آنتروپی (E_j)، عدم اطمینان (d_j) و وزن زیرمعیارها (w_j) محاسبه گردید و نتایج آن در جدول ۷ نمایش داده شده است.

همچنین در نمودار شکل ۳، ۴ و ۵ وزن زیرمعیارها هر گروه نمایش داده شده است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، در بین زیرمعیارهای زیست محیطی، زیرمعیارهای میزان توزیع کود شیمیایی با وزن ۰/۱۰۱ و میزان مصرف سموم با وزن ۰/۹۷ و همچنین زیرمعیار سیستم‌های کارآمد آبیاری با وزن ۰/۰۸۱ بیشترین اهمیت و زیرمعیار حاصلخیزی

خاک با وزن ۰/۰۵۰ کمترین اهمیت را در پایداری کشاورزی دارند (شکل۳). به بیان دیگر با کاهش کاربرد کود و سموم شیمیایی و در کنار آن افزایش استفاده کارآمد از سامانه‌های نوین آبیاری که به لحاظ بالا بردن بازده آبیاری یکی از راهکارهای اساسی برای رویارویی با کم‌آبی می‌باشد، باعث افزایش سطح پایداری کشاورزی می‌شود. زیرمعیارهای رعایت تناوب کشت زراعی، حاصلخیزی خاک و سهم مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی نسبت به کل مصرف با وزن ۰/۰۵۰، ۰/۰۵۷ و ۰/۰۵۹ دارای اهمیت تقریباً یکسان در ارزیابی و حفاظتی و پایداری کشاورزی می‌باشند.



شکل ۳- وزن زیرمعیارهای زیست‌محیطی در ارزیابی پایداری کشاورزی

Fig. 3- The weight of environmental sub-criteria in the assessment of agricultural sustainability

En_1: سهم مصارف کشاورزی از آب زیرزمینی نسبت به کل مصرف، En_2: شاخص سیستم‌های کارآمد آبیاری، En_3: حاصلخیزی زمین زراعی، En_4: میزان توزیع کود شیمیایی، En_5: تنوع کشت زراعی، En_6: میزان مصرف سموم

En_1: Share of agricultural use of groundwater to total consumption, En_2: Efficient irrigation systems, En_3: Agricultural land fertility, En_4: The amount of chemical fertilizer distribution, En_5: Crop diversity, En_6: The amount of pesticides

در بین زیرمعیارهای اقتصادی، زیرمعیار بهره‌وری اقتصادی آب با وزن ۰/۰۷۶ و عملکرد محصولات کشاورزی با وزن ۰/۰۶۲ بیشترین اهمیت و زیرمعیار نسبت درآمد خانوار روستایی به شهری با وزن ۰/۰۳۲ کمترین میزان اهمیت را دارا است. از آنجا که افزایش تولید باعث افزایش درآمد کشاورزان نیز می‌شود، هر راهکاری که ضمن رعایت اصول پایداری و سلامت زیست‌محیطی به افزایش تولید کمک کند، در نهایت پایداری کشاورزی را افزایش خواهد داد. لذا حرکت به سمت کشاورزی پایدار با کاهش هزینه‌های تولید و سوددهی آن همراه خواهد بود. نتایج مشابهی در این بخش در تحقیق داداشیان و همکاران (Dadashian Sarai et al., 2015) به‌دست آمد. بدین نحو که در بین زیرمعیارهای شاخص اقتصادی، زیرمعیار سوددهی مزرعه، بیشترین اهمیت و زیرمعیار ضریب مکانیزاسیون، کمترین اهمیت را در پایداری کشاورزی دارد. مقایسه زیرمعیارهای معیار اقتصادی در راستای کشاورزی پایدار در شکل ۴ نمایش داده شده است. همچنین در مطالعه رضایی و کرامت‌زاده (Rezaee & Keramatzadeh, 2020)، براساس معیار اقتصادی، بازده ناخالص کشاورزی تعیین‌کننده‌ترین عامل در پایداری (۴۵ درصد) اقتصادی است.

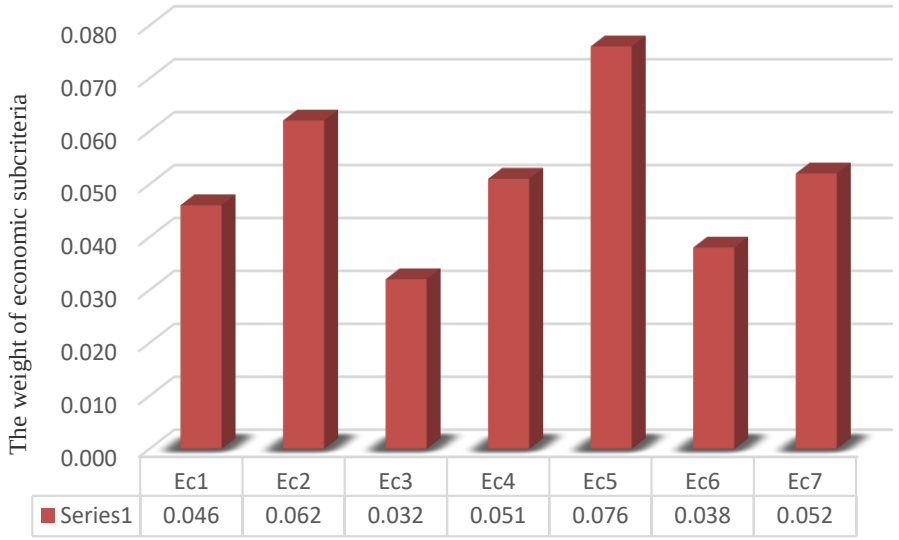
در بین زیرمعیارهای شاخص اجتماعی، زیرمعیار تشکیل کلاس‌های ترویج پایداری (آموزش) با وزن ۰/۰۶۷ بیشترین اهمیت و زیرمعیار تراکم جمعیت با وزن ۰/۰۲۸ کمترین نقش را در پایداری کشاورزی دارد. اهمیت بالای زیر معیار آگاهی کشاورزان از نظام‌های کشاورزی پایدار به این معنی است که هر چه میزان این آگاهی در جهت پایداری بیشتر باشد، با تشکیل کلاس‌های ترویج و آموزش‌های لازم افزایش یافته و بیشترین تأثیر را در پایداری کشاورزی ایفا می-

کند. ضعف منابع انسانی به‌خاطر بی‌توجهی به امر ترویج و آموزش بهره‌برداران، از چالش‌های جدی تلقی شده و توانمندسازی منابع انسانی با ترویج شیوه‌های نوین کشاورزی، از ضرورت‌های توسعه کشاورزی به‌شمار می‌آید و آموزش مستمر کشاورزان نقش شایان توجهی را در بهبود پایداری کشاورزی ایفا می‌کند. مقایسه زیرمعیارهای بعد اجتماعی در راستای کشاورزی پایدار در شکل ۵ نمایش داده شده است. براساس مطالعه رضایی و کرامت‌زاده (Rezaee & Keramatzadeh, 2020) از بعد اجتماعی، سطح تحصیلات کشاورز تأثیرگذارترین عامل در تعیین پایداری است.

براساس مقایسه وزن نسبی نهایی زیرمعیارها، زیر معیارهای مصرف کود شیمیایی و سموم در واحد سطح بیشترین و تراکم جمعیت به‌ترتیب با وزن نهایی ۰/۱۰۱ و ۰/۰۲۸ بیشترین و کمترین نقش را در ارزیابی پایداری کشاورزی دارند.

نتایج رتبه‌بندی گزینه‌ها (شهرستان‌ها) از طریق مدل ویکور

در ادامه با توجه به وزن‌های به‌دست آمده از قسمت پیشین و داده‌های مربوط به هر معیار، رتبه‌بندی شهرستان‌های مورد نظر با مدل ویکور انجام گرفت. همان‌طور که در بخش‌های قبل عنوان گردید، گزینه‌های مد نظر در این تحقیق سه شهرستان سمنان، مهدیشهر و سرخه می‌باشد که از لحاظ پایداری کشاورزی این شهرستان‌ها رتبه‌بندی می‌گردند. در مرحله نخست ماتریس تصمیم و ماتریس نرمال تشکیل می‌شود که در بخش محاسبه وزن از طریق روش آنتروپی شانون تشکیل گردید. سپس نقطه ایده‌آل مثبت و منفی برای هر معیار و زیرمعیار در ماتریس را در میان همه گزینه‌ها تعیین کرده و به‌ترتیب F+ و F- می‌نامیم که بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد هر ستون تعیین می‌باشد. در ادامه شاخص مطلوبیت و نارضایتی معیارها محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۸ و ۹ نمایش داده شده است.

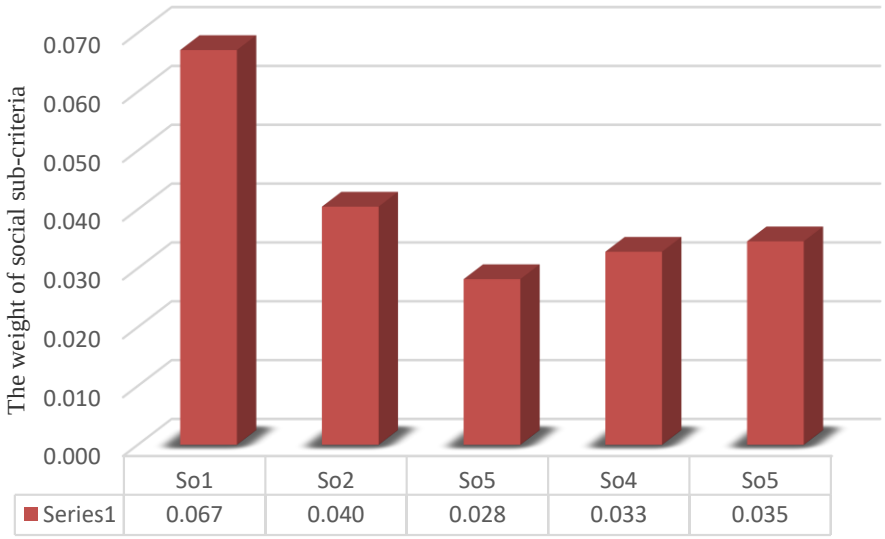


شکل ٤- وزن زیرمعیارهای اقتصادی در ارزیابی پایداری کشاورزی

Fig. 4- The weight of economic sub-criteria in the assessment of agricultural sustainability

Ec_1: ضریب مکانیزاسیون، Ec_2: عملکرد محصولات کشاورزی، Ec_3: نسبت درآمد خانوار روستایی به شهری، Ec_4: سرانه تولید شاغلین بخش کشاورزی، Ec_5: بهره‌وری اقتصادی آب، Ec_6: سرانه اراضی کشت شده، Ec_7: سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی از تولید

Ec_1: Mechanization coefficient, Ec_2: Crop yield, Ec_3: Ratio of rural to urban household income, Ec_4: Per capita production of agricultural workers, Ec_5: Water economic productivity, Ec_6: Cultivated land per capita, Ec_7: The share of added value of agricultural sector from production



شکل ۵- وزن زیرمعیارهای اجتماعی در ارزیابی پایداری کشاورزی

Fig. 5- The weight of social sub-criteria in the evaluation of agricultural sustainability

So_1: تشکیل کلاس‌های ترویج پایداری (آموزش)، So_2: نرخ اشتغال روستایی، So3: تراکم جمعیت، So_4: سطح سواد در مناطق روستایی، So_5: سهم شاغلان بخش کشاورزی

So_1 Formation of sustainability promotion classes (education), So_2: Rural employment rate, So3 Population density, So_4: Literacy level in rural areas, So_5: Share of agricultural workers

جدول ۸- محاسبه شاخص مطلوبیت و نارضایتی معیارها

Table 8- Calculation of the desirability and dissatisfaction index of the criteria

معیار Criteria	زیست‌محیطی Environmental (0.52)						اقتصادی Economic (0.30)							اجتماعی Social (0.17)					مطلوبیت Desirability	نارضایتی dissatisfaction
زیرمعیار Sub-criteria	En_1	En_2	En_3	En_4	En_5	En_6	Ec_1	Ec_2	Ec_3	Ec_4	Ec_5	Ec_6	Ec_7	So_1	So_2	So_3	So_4	So_5	S	R
گزینه 1 (مهدیشهر) Option 1 (Mehdishahr)	0.52	0.52	0.52	0.52	0.52	0	0.034	0.003	0	0.3	0.3	0.3	0.221	0.125	0	0	0	0	3.885	0.52
گزینه 2 (سرخه) Option 2 (Sorkheh)	0.0014	0.00143	0	0	0	0.313	0	0.3	0.3	0.000815	0.000826	0.000815	0.3	0.17	0.17	0.17	0.17	0.132	2.030	0.3133
گزینه 3 (سمنان) Option 3 (Semnan)	0	0	0.468	0.468	0.468	0.52	0.3	0	0.194	0	0	0	0	0	0.153	0.153	0.1532	0.17	3.0507	0.52

جدول ۹- محاسبه فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت و منفی (R-+ و S+-)

Table 9- Calculation of the distance from the positive and negative ideal solution (R-+ and S+-)

فاصله از راه حل ایده‌آل مثبت Distance from the positive ideal solution		فاصله از راه حل ایده‌آل منفی The distance from the ideal solution is negative	
S+	3.885	R+	0.52
S-	2.030	R-	0.313
S+-S-	1.854	R+-R-	0.206

جدول ۱۰- مقدار Q و رتبه‌بندی نهایی مناطق مورد مطالعه

Table 10- Q value and final rank of the study areas

مکان Site	شاخص مطلوبیت Desirability S	شاخص نارضایتی dissatisfaction R	مقدار ویکور VIKOR Value Q	رتبه نهایی Final rank
گزینه 1 (مهدیشهر) Option 1 (Mehdishahr)	3.885	0.52	1	3
گزینه 2 (سرخه) Option 2 (Sorkheh)	2.030	0.31	0	1
گزینه 3 (سمنان) Option 3 (Semnan)	3.050	0.52	0.775	2

در انتها، شاخص ویکور و رتبه‌بندی گزینه‌ها که همان امتیاز نهایی هر گزینه محاسبه گردید. ذکر این موضوع ضروری است که در مدل ویکور کمتر بودن مقدار Q به‌منزله مطلوبیت بالای آن است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰ بیانگر رتبه نهایی هر شهرستان در پایداری کشاورزی با توجه به شاخص‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که از مجموع سه معیار و ۱۸ زیرمعیار مورد مطالعه که پایداری کشاورزی در سه شهرستان استان سمنان با هم متفاوت است، به‌طوری‌که شهرستان سرخه با مساحت ۹۲۲۲ کیلومترمربع در رتبه اول، سمنان با مساحت ۱۱۰۱۷ کیلومترمربع در رتبه دوم و شهرستان مهدیشهر با مساحت ۱۹۴۳ کیلومترمربع در رتبه سوم از نظر کشاورزی پایدار قرار دارند. با بررسی تک به تک زیرمعیارهای پایداری شهرستان سرخه می‌توان نشان داد که از مهم‌ترین دلایل وضعیت مطلوب پایداری کشاورزی در این شهرستان نسبت به دو شهرستان دیگر، دارا بودن بیشترین میزان سیستم‌های کارآمد کشاورزی و پایین بودن معیارهای کاربرد کود و با سموم شیمیایی اشاره کرد. همچنین از مهم‌ترین علت قرارگرفتن شهرستان مهدیشهر در رتبه سوم می‌توان در جنبه‌های مختلف مدیریت تولید و مصرف محصولات کشاورزی دانست. از جمله برداشت بی رویه از آب‌های زیرزمینی و عدم نظارت، عدم مصرف بهینه کود و سموم شیمیایی، کاهش حاصلخیزی و باروری اراضی، پایین بودن شاخص تنوع زراعی، پایین بودن درآمد روستایی نسبت به شهری و عدم اطلاع رسانی در زمینه کشاورزی پایدار به کشاورزان می‌باشد.

این نتایج گویای اهمیت توجه بیشتر به شاخص‌های زیست‌محیطی در کنار معیارهای اقتصادی مانند دستیابی به سود بیشتر در تولید محصولات زراعی است و نشان می‌دهد که بنابر اصول توسعه پایدار کشاورزی، تنها با بالا بردن میزان عملکرد و درآمد حاصل از تولید محصولات رسیدن به توسعه پایدار کشاورزی امکان پذیر نمی‌باشد، بلکه بایستی در جهت بهبود وضعیت شاخص‌های زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق با پایداری کمتر به کاهش کاربرد مواد شیمیایی مانند کودها و سموم و استفاده بیشتر از روش‌های آبیاری کارآمد و نیز عملیات خاک‌ورزی حفاظتی بیشتر توجه شود.

همچنین با توجه به نتایج این پژوهش، پرورش و جذب نیروی انسانی کارآمد برای تشکیل کلاس‌های ترویجی و آموزشی برای کشاورزان در راستای انجام عملیات کشاورزی پایدار و استفاده از روش‌های نوین کشاورزی مبتنی بر اصول توسعه پایدار بسیار اهمیت دارد و باید در اولویت کاری مدیریت جهاد کشاورزی هر منطقه قرار بگیرد.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که شهرستان سرخه بهترین و شهرستان مهدیشهر از ضعیف‌ترین منطقه از نظر پایداری

کشاورزی بودند. همچنین، نتایج تحقیق نشان داد که معیار زیست‌محیطی بیشترین و معیار اجتماعی کمترین تأثیر را در پایداری کشاورزی مناطق منتخب داشت. با توجه به نتایج این پژوهش، پرورش و جذب نیروی انسانی کارآمد برای تشکیل کلاس‌های ترویجی و آموزشی برای کشاورزان در راستای انجام عملیات کشاورزی پایدار و استفاده از روش‌های نوین کشاورزی مبتنی بر اصول توسعه پایدار بسیار اهمیت دارد و باید در اولویت‌کاری مدیریت جهاد کشاورزی هر منطقه قرار گیرد.

References

1. Amirzadeh Moradabadi, S., Ziaei, S., Mehrabi Basharabadi, H., & Kikha, A. (2018). Assessing agricultural sustainability in Iran using the combined sustainability index. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *2*(49), 661-674. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijaedr.2018.252301.668565
2. Ashrafi, M., Hooshmand, M., & Keramatzadeh, A. (2014). A study of sustainable agricultural development in rural areas with emphasis on economic approach (Case study: Villages of Kashmar county). *Quarterly Journal of Rural Development Strategies*, *1*(2), 51-68. https://doi.org/10.22059/jhgr.2018.253223.1007653
3. Chen, S. K. (2000). The establishment of evaluation and indices system for Chinese sustainable development. *World Environment*, *1*, 1–9. https://doi.org/10.3390/su11082270.
4. Chen, L.Y., & Wang, T.C. (2009). Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects: The strategic decision of fuzzy VIKOR. *International Journal of Production Economics*, *120*(1), 233-242. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2008.07.022
5. Dadashian Sarai, M., Dashti, Q., Hayati, B., & Ghahramanzadeh, M. (2015). Combined application of hierarchical analysis and TOPSIS technique in determining the weight value of criteria and assessing agricultural sustainability (Case study: Selected cities of East Azerbaijan province). *Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*(1), 145-157. (In Persian with English abstract)
6. Davarpanah, S., Bonab, S.H., & Khodaverdizadeh, M. (2016). Assessment and comparison of sustainable agriculture approach using a combination of AHP and TOPSIS. *International Academic Journal of Economics*, *3*(9), 7-18.
7. Dong, F., Mitchell, P.D., & Colquhoun, J. (2015). Measuring farm sustainability using data envelope analysis with principal components: The case of Wisconsin cranberry. *Journal of Environmental Management*, *147*, 175-183. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.025.
8. Ghaderi, N., Shams, A., Ahadnejad Reveshty, M., & Hooshmandan Moghaddam Fard, Z. (2016). Measuring and analyzing agricultural development of sub districts in Paveh township using Vikor method. *Agricultural Economics and Development*, *24*(1), 81-109. (In Persian with English abstract) (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.30490/aead.2016.59023 .
9. Ghanbari, Y., & Barghi, H. (2009). Challenges in sustainable Iranian agriculture development. *Strategic Journal*, *219*, 18-23. https://doi.org/18.252301.66856520ijaedr./10.22059
10. Ghazvini, M., Veisi, H., Mahdavi Damghani, A.M., Khoshbakht, K., & Ali Nejatian, M. (2012). Study of sustainability status in vineyards of Takestan county by using Framework for Evaluation Sustainable Land Management (FESLM). *Journal of Agroecology*, *2*(1), 104-115. (In Persian with English abstract)
11. Hassanshahi, H., Iravani, H., Daneshvar Ameri, Z., & Kalantari, K. (2015). Measure and comparison of economic, social and ecological sustainability of farming systems in the Marvdasht Plain. *Journal of Desert*, *20*(2), 231-239. https://doi.org/10.22059/jdesert.2015.56485 .
12. Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *11*, 909-926. https://doi.org/10.1007/s13762-013-0464-0
13. Jamali Moghadam, E., Yazdani, S., Salami, H., & Peykani, G. (2017). Measuring sustainability of farmers plains of Kamin Fars province: Comparison of methods PCA and AHP. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *48*(2), 23-33. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2017.62006
14. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Mansouri, H. (2013). Zoning status of sustainable agricultural development in Iran and providing strategies for sustainability. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *23*, 181-197. (In Persian with English abstract)

15. Liu, F., & Zhang, H. (2015). Novel methods to assess environmental, economic, and social sustainability of main agricultural regions in China. *Journal of Agronomy for Sustainable Development*, *33*(3), 621–633. https://doi.org/10.1007/s13593-012-0131-8.
16. Mohammadi Yeganeh, B., Valai, M., & Cheraghi, M. (2013). The effects of water level decrease in Urmia Lake on the agricultural economy of the surrounding villages (Case study: Merhamatabad North, Miandoab city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *2*(5), 56-71(In Persian with English abstract)
17. Mojtahedzadeh, A., Karkehabadi, Z., & Kamyabi, S. (2022). Determining the spatial boundaries of urban-region for Semnan and its surrounding area using the method of measurement of Inductive flows. *Journal of Geographical Researches*, *37*(2), 163-170. (In Persian with English abstract) . http://georesearch.ir/article-1-1320-en.html
18. Munssing, M., & Shearer, W. (1995). Defining and measuring sustainability. The United Nations University, The Word Bank.
19. Rezaee, A., & Keramatzadeh, A. (2020). Evaluation of environmental, economic and social Sustainability of crops (case study: Gorgan County). *Journal of Natural Environment*, *73*(3), 515-528. https://doi.org/10.22059/jne.2020.297011.1905
20. Rezaee, A., Mortazavi, S., Peykani, G., & Khalilian, S. (2014). Evaluation and comparison of the sustainability level of agronomy crops under drought condition by using MCDA in the East of Zayandeh-Rud river basin. *Journal of Environmental Studies*, *40*(2), 529-540. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jes.2014.51217.
21. Spiertz, J.H.J. (2010). Nitrogen, sustainable agriculture and food security: A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *30*, 43-55. https://doi.org/10.1051/agro:2008064.
22. Tatlidil, F., Boz, I., & Tatlidil, H. (2009). Farmers' perception of sustainable agriculture and its determinants: A case study in Kahramanmaras province of Turkey. *Journal of Environment, Development and Sustainability*, *11*, 1091–1106. https://doi.org/10.1007/s10668-008-9168-x.
23. Yaghobi, N., & Sedighi, H. (2016). Investigating the factors affecting acceptance of sustainable agricultural techniques from wheat men's perspective (Case study: Villages of Ayaz Chay village in Tabriz city). *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, *47*(2), 13-21. https://doi.org/10.22059/ijaedr.2016.58830
24. Yu, P. (1973). A class of solutions for group decision problems. *Journal of Management Science*, *19*, 936-946. http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936.
25. Zhen, L., & Routray, J. K. (2003). Operational indicators for measuring agricultural sustainability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, *32*(1), 34–46. https://doi.org/10.1007/s00267-003-2881-1

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 265-286

Investigation of Biochar Application Effect on Photosynthetic Pigments, Enzymes Activity and Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Water Stress

Marzieh Ghaedi[1], Ehsan Bijanzadeh[2*], Mahdi Najafi Ghiri[4], Ali Behpouri[3] and Vahid Barati[3]

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor and Assistant Professor, Agroecology Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran.
(*- Corresponding author's Email: bijanzd@shirazu.ac.ir)

Received: 23-12-2022
Revised: 26-02-2023
Accepted: 18-04-2023
Available Online: 18-04-2023

How to cite this article:
Ghaedi, M., Bijanzadeh, E., Najafi Ghiri, M., Behpouri, A., & Barati, V. (2024). Investigation of biochar application effect on photosynthetic pigments, enzymes activity and yield of safflower under water stress. *Journal of Agroecology*, *16*(2), 265-286. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.79904.1134

Introduction

Water stress is one of the main factors in crop growth in arid and semi-arid regions of the world, which limits the grain yield of the safflower (*Carthamus tinctorius* L.). To increase the soil fertility and yield of crops, it is necessary to pay sufficient attention to the use of biomass of organic matter, especially crop residues, and its conversion to biochar. This research aims to evaluate the biochar application produced from cotton and wheat residues under late-season water stress in the south of Fars province (Darab) on photosynthetic pigments, enzyme activity, yield components, and yield of safflower.

Materials and Methods

In order to investigate the biochar application and water stress on the amount of photosynthetic pigments, enzyme activity, and yield of safflower, a field experiment was laid out as split plots in the form of randomized complete block design with 3 replications in the 2019-2020 growing season. The experimental factors include the irrigation regime as the main factor in two levels (optimal irrigation and cutting off irrigation after the flowering stage), and the secondary factors were fertilizer treatment as subplot including control (without fertilizer), consumption of 3 tons of biochar from wheat residues per hectare, consumption of 3 tons of biochar from cotton residues per hectare, consumption of 150 kg of urea per hectare + 50 kg of triple superphosphate per hectare, consumption of 112.5 kg of urea per hectare + 37.5 kg of triple superphosphate per hectare, consumption of 112.5 kg of urea + 37.5 kg of triple superphosphate + 3 tons wheat biomass per hectare, and 112.5 kg of urea + 37.5 kg of triple superphosphate + 3 tons of cotton biomass per hectare. In this research, chlorophyll a and b, total chlorophyll, catalase, and peroxidase activities, yield components, and yield of safflower were calculated.

https://doi.org/10.22067/agry.2023.79904.1134

Results and Discussion

The results of the experiment showed that the measured traits were significantly affected by the irrigation regime and fertilizer treatment. Under cutting-off irrigation after the flowering stage, the fertilizer treatment of 112.5 urea + 37.5 phosphate + 3 tons of wheat biochar per hectare increased 55 and 40% chlorophyll a and total chlorophyll compared to the control, respectively. Water stress increased the carotenoid content, catalase, and peroxidase enzymes. The highest amount of catalase and peroxidase enzyme activity was obtained in the control under cutting-off irrigation after the flowering stage, which increased by 48 and 38%, respectively, compared to the control under optimal irrigation. The number of seeds per capitule and the number of fertile capitules per plant in the treatment of 112.5 urea + 37.5 phosphate + 3 tons of cotton biochar under water stress conditions increased by 8.8 and 19.51%, respectively. Also, under water stress, the application of 112.5 urea + 37.5 phosphates + 3 tons of cotton biochar improved and increased the relative content of leaf water, biological capitules yield, and grain yield compared to the control by %53, %22, and %34, compared to control, respectively.

Conclusion

Results showed that in both of the irrigation regimes, application of 3 tons of cotton or wheat biochar alone can increase the biomass and grain yield compared to control. Overall, the application of 112.5 urea + 37.5 phosphate + 3 tons of cotton biochar under water stress conditions improved the relative water content of the leaves, the number of seeds per capitule, the number of fertile capitule per plant, and finally, biomass and yield of safflower. With respect to water shortage under late season in southern parts of Fars province, and in order to decrease the detrimental effects of water stress, farmers can use the biochar of cotton combined with reduced dosage of urea and triple superphosphate fertilizers.

Keywords: Catalase, Chlorophyll, Cutting off irrigation, Number of seed per capitule, Peroxidase

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۲۸۶-۲۶۵

بررسی اثر مصرف زغال زیستی روی رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی و عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط تنش آبی

مرضیه قائدی[۱]، احسان بیژن‌زاده[۲*]، مهدی نجفی قیری[۴]، علی بهپوری[۳] و وحید براتی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

چکیده

به‌منظور بررسی مصرف زغال زیستی و تنش آبی بر ویژگی‌های بیوشیمیایی و عملکرد گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) پژوهشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دانشگاه شیراز در فصل رشد ۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل رژیم آبیاری (آبیاری مطلوب و قطع آبیاری پس از گل‌دهی) و تیمار کودی شامل شاهد بدون کود، مصرف سه تن زغال زیستی گندم و یا پنبه در هکتار، ۱۵۰ کیلوگرم اوره + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار و ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل + سه تن زغال‌زیستی گندم و یا پنبه در هکتار بودند. در شرایط قطع آبیاری مصرف ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل + سه تن زغال زیستی گندم در هکتار به‌ترتیب میزان کلروفیل a و کل را ۵۵ و ۴۰ درصد، نسبت به شاهد افزایش دادند. بالاترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در تیمار قطع آبیاری در گل‌دهی به‌دست آمد. همچنین، در شرایط تنش آبی کاربرد ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل + سه تن زغال زیستی پنبه، سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد زیست‌توده و دانه به‌ترتیب به‌میزان ۵۳/۰۳، ۲۲/۰۵ و ۳۴/۷ درصد گردید. به‌طور کلی، کاربرد ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار، در شرایط تنش آبی باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ، تعداد دانه در طبق، تعداد طبق بارور در بوته و در نهایت، عملکرد دانه گلرنگ شد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، تعداد دانه در طبق، قطع آبیاری، کاتالاز، کلروفیل

مقدمه

علی‌رغم مشکلات موجود در صنعت روغن‌های نباتی در داخل کشور و اینکه بیش از ۹۳ درصد از نیاز مصرفی به روغن به شکل روغن خام و دانه‌های روغنی توسط واردات تأمین می‌گردد، ضروری است تلاش‌های فراوانی جهت افزایش عملکرد دانه‌های روغنی به‌ویژه در شرایط تنش آبی صورت گیرد (Asghari et al., 2016). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که با هدف تولید روغن کشت می‌شود و به‌دلیل داشتن سیستم ریشه‌ای متراکم و عمیق و خاصیت خشکی‌پسندی، کارایی بالایی در استفاده از رطوبت خاک دارد(Das et al., 2017). علاوه‌بر تولید دانه با هدف استخراج روغن خوراکی، در برخی کشورها از جمله هند و چین این گیاه به‌خاطر گل‌های آن در طعم و رنگ دادن به غذاها و تهیه رنگ پارچه کاربرد دارد و همچنین، به‌دلیل کاربردهای دارویی مختلف کشت می‌گردد(Asqarpanh et al., 201).

تنش آبی در بین تنش‌های غیرزنده، از لحاظ طول دوره، شدت،

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار واستادیار، بخش اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران.
۴- دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران.
(*- نویسنده مسئول:
(Email: bijanzd@shirazu.ac.ir
https://doi.org/10.22067/agry.2023.79904.1134

وقوع و زمان آن غیرقابل پیش‌بینی است و با محدود کردن تولید محصول در ۲۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جهان، شایع ترین تنش غیرزیستی در گیاه بوده و عامل اصلی کاهش عملکرد در گیاهان زراعی می‌باشد (Chang et al., 2013). مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد، گیاه گلرنگ در مراحل مختلف رشد مانند مرحله جوانه‌زنی، رویشی، گل‌دهی و پر شدن دانه به تنش آبی حساس است و تنش آبی بر خصوصیات مورفولوژیک و فیزیولوژیک گلرنگ تأثیر منفی گذاشته و عملکرد روغن و دانه را به‌طور معنی‌داری کاهش می‌دهد (Hussain et al ., 2016). تنش آبی موجب کاهش معنی‌داری در تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق، ارتفاع بوته، وزن هزار دانه، درصد روغن و عملکرد دانه خواهد شد (Kafi et al., 2007) و با توجه به اینکه عملکرد دانه نیز تحت تأثیر این اجزا می‌باشد، در نتیجه کاهش در اجزای عملکرد موجب پایین آمدن عملکرد دانه و به دنبال آن کاهش عملکرد در واحد سطح می‌شود (Noroozi et al., 2012).

تکنولوژی کربونیزاسیون در سال‌های گذشته به‌عنوان یک روش کارآمد برای کاهش گازهای گلخانه‌ای و ترسیب کربن اتمسفر به‌شمار می‌رود. کربونیزاسیون زیست‌توده براساس میزان و مدت زمان حرارت‌دهی شامل مراحل متفاوتی می‌باشد که روش گرماکافت آهسته، معمول‌ترین روشی است که در دنیا در حال گسترش می‌باشد (Manya, 2012; Berek et al., 2011). در طی روش گرماکافت، مواد آلی در شرایط اکسیژن محدود و یا بدون اکسیژن، در دمای بیش از ۴۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده شده و به ماده جامد سیاه رنگ غنی از کربن به‌نام زغال زیستی (بیوچار) تبدیل می‌شود. به‌طور تقریبی کلیه ترکیب‌ها و پس‌ماندهای آلی از جمله شاخ و برگ درختان، بقایای گیاهان زراعی (کاه و کلش، بقایای بادام زمینی (*Arachis hypogaea*)، پوشال برنج (*Oryza sativa*) وغیره، مواد چوبی، انواع کودهای آلی (مرغی، دامی و غیره)، اجساد و لاشه حیوانات، لجن فاضلاب و پس‌ماندهای آلی صنعتی و شهری قابلیت تبدیل شدن به زغال زیستی را دارند (Sohi et al., 2010; Lehmann et al., 2011). تبدیل زیست‌توده به زغال‌زیستی و افزودن آن به خاک‌های کشاورزی می‌تواند از طریق تثبیت کربن باروری خاک را بهبود دهد. گزارش شده است که با مصرف زغال-زیستی به علت افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، افزایش درصد اشباع بازی خاک، و افزایش آب قابل دسترس گیاه، عملکرد ذرت از ۱۷ به ۲۱ تن در هکتار افزایش یافت (Cornelissen et al., 2013). کاربرد همزمان زغال زیستی و کودهای شیمیایی می‌تواند کارایی مصرف آن ها را افزایش دهد (Sohi et al., 2010). در پژوهشی پنگ و همکاران (Peng et al., 2021) نشان دادند که کاربرد همزمان کودهای نیتروژن، فسفر و پتاسیم با زغال زیستی با مقادیر ۱/۵، ۳ و ۶ تن در هکتار کارایی مصرف نیتروژن و عملکرد ذرت را افزایش و هدرروی نیتروژن را کاهش داد.

به‌دلیل مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی آسیب‌های مستقیم و غیرمستقیمی به گیاهان، حیوانات و ریزجانداران وارد شده است. همچنین، با توجه به اینکه ایران جزو مناطق خشک و نیمه خشک جهان بوده و شهرستان داراب دارای آب‌وهوای نیمه گرمسیری (با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال) می‌باشد، بنابراین جهت افزایش میزان بهره‌برداری از امکانات محیطی به‌منظور بالابردن میزان عملکرد محصولات زراعی، توجه به استفاده بهینه از زیست‌توده مواد آلی به‌ویژه بقایا و پس‌ماندهای کشاورزی و تبدیل آن به زغال-زیستی و افزودن آن به خاک، ضروری می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی و مصرف زغال‌زیستی تولید شده از بقایای پنبه و گندم در مناطق گرم و نیمه‌خشک جنوب استان فارس (داراب) با توجه به کمبود آب آخر فصل رشد و تأثیر این دو عامل بر رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی، اجزای عملکرد و عملکرد گلرنگ در شرایط تنش آبی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی تأثیر تنش آبی و مصرف زغال زیستی بر میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی، فعالیت آنزیمی، اجزای عملکرد و عملکرد گلرنگ، آزمایشی به‌صورت اسپلیت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، واقع در هفت کیلومتری شهرستان داراب با طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه و ارتفاع ۱۱۰۹ متر از سطح دریا و در سال زراعی۹۹- ۱۳۹۸ اجرا شد. در شروع پژوهش و پیش از کاشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از خاک محل آزمایش در دو عمق ۰ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری صورت گرفت (جدول ۱).

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table l- Physical and chemical properties of the experimental soil

عمق Depth (cm)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	قابلیت هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	فسفر P (mg kg^{-1})
0-15	38.96	19.4	41.64	0.336	22
15-30	40.96	17.4	41.64	0.739	26
عمق Depth (cm)	**پتاسیم K (mg.kg^{-1})**	**آهن Fe (mg kg^{-1})**	**مس Cu (mg.kg^{-1})**	**روی Zn (mg.kg^{-1})**	**منگنز Mn (mg.kg^{-1})**
0–15	165.04	0.67	3.05	1.01	7.48
15–30	156.69	1.23	0.46	0.53	0.64

نمونه خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک شد و پس از عبور از الک دو میلی‌متری، ویژگی‌های مختلف خاک شامل قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (EC) (Rhoades, 1996)، فسفر به‌روش بی‌کربنات سدیم (Olsen, 1954)، پتاسیم با عصاره‌گیر استات آمونیوم یک میلی‌مولار خنثی (Helmke et al., 1996)، منگنز، آهن، روی و مس قابل استفاده با عصاره‌گیری خاک به‌وسیله دی تی پی ای (Lindsay & Norvell, 1978)، و درصد رس، سیلت و شن (بافت خاک) به‌روش هیدرومتر (Gee & Or, 2002) اندازه‌گیری شدند. پس از عملیات تهیه بستر کاشت، اقدام به کرت بندی در ابعاد (۳ × ۲ مترمربع) شد. فاکتورهای مطالعاتی شامل رژیم آبیاری به‌عنوان فاکتور اصلی در دو سطح آبیاری مطلوب و قطع آبیاری پس از مرحله گل‌دهی (مرحله ۶۵ مطابق با کدبندی فلمر) (Flemmer et al., 2015) و فاکتور فرعی تیمار کودی شامل شاهد بدون کود، مصرف سه تن زغال‌زیستی بقایای گندم در هکتار، مصرف سه تن زغال‌زیستی بقایای پنبه در هکتار، مصرف ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، مصرف ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، مصرف ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال‌زیستی گندم در هکتار، مصرف ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال‌زیستی پنبه در هکتار بودند. در این آزمایش، بذر گلرنگ رقم گلدشت پاکوتاه، زودرس، بدون خار، رنگ گل قرمز، مقاوم به خوابیدگی و ریزش، قابل کشت در مناطق گرم، معتدل و سرد (Bahadori et al., 2019) در ابتدای آذرماه کشت شد. بذرها در ردیف‌هایی به‌فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف پنج سانتی‌متر با عمق دو سانتی‌متر کشت گردید. فاصله بین تکرارها ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌ها یک متر در نظر گرفته شد. برای کنترل علف‌های هرز در طول فصل رشد، عملیات وجین دستی انجام گرفت. کاشت به روش خشکه‌کاری و با دست انجام گرفت. لازم به ذکر است که مصرف سه تن زغال‌زیستی گندم یا پنبه در هکتار برای هر کرت شش مترمربعی، ۱/۸ کیلوگرم بوده و میزان مصرف اوره برای تیمار ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار برای هر کرت شش مترمربعی،۹۰ گرم در هر کرت (در سه مرحله شش برگی، هشت برگی و غنچه‌دهی) بود که در هر مرحله ۳۰ گرم استفاده شد و ۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار معادل ۷۵ کیلوگرم نیتروژن در نظر گرفته شد. در ضمن، میزان مصرف اوره برای ۱۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار برای کرت شش مترمربعی،۶۷ گرم در هر کرت (در سه مرحله شش برگی، هشت برگی و غنچه‌دهی) و در هر مرحله ۲۲/۳ گرم بوده که ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره معادل ۵۶ کیلوگرم نیتروژن می‌باشد. هم‌چنین در تیمار مصرف ۵۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار برای هر کرت شش مترمربعی، ۳۰ گرم در هر کرت (قبل از کاشت) در نظر گرفته شد. مصرف ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار برای کرت شش مترمربعی، ۲۲/۵ گرم در هر کرت (قبل از کاشت) می‌باشد. محاسبه میزان آب مورد نیاز برای هر کرت براساس ظرفیت زراعی خاک مزرعه (۲۴/۵ درصد وزنی) در نظر گرفته شد. در این روش، ابتدا قطعه زمینی به مساحت دو مترمربع مشخص و به‌شکل حوضچه درآمد و روی آن با پلاستیک پوشانده شد و سپس، به‌طور سنگین آبیاری گردید. بعد از قطع آبیاری و فروکش کردن آب، هر ۱۲ ساعت یک بار از عمق صفر تا یک متری توسعه ریشه نمونه‌برداری انجام شد و میزان رطوبت آن به‌روش وزنی اندازه‌گیری گردید. این کار تا زمانی ادامه داده شد، تا سرانجام میزان رطوبت در دو اندازه‌گیری پشت سر هم تقریباً با هم برابر شدند که براساس معادله زیر این میزان رطوبت برابر با رطوبت ظرفیت زراعی

می‌باشد (Daneshmand et al., 2006).

معادله (۱)

۱۰۰×[وزن خاک خشک / (وزن خاک خشک – وزن خاک تر)]= مقدار رطوبت

نیاز آبی گلرنگ به‌صورت روزانه با استفاده از میانگین روزانه داده‌های هواشناسی ایستگاه هواشناسی حسن آباد داراب (جدول ۲) محاسبه شد. در مجموع، مقدار آب مصرفی برای تیمار آبیاری مطلوب با ۱۰ دور آبیاری معادل ۴۹۹۳ مترمکعب در هکتار و برای تیمار قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی با هفت دور آبیاری معادل ۳۴۹۵ متر مکعب در هکتار بود. برای رسیدن به ۴۰ بوته در مترمربع در مرحله چهار برگی، بوته‌های اضافی حذف شدند. در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، برای اندازه‌گیری عملکرد دانه پس از حذف اثر حاشیه، یک مترمربع از بوته‌ها در هر کرت آزمایشی، از نزدیکی سطح خاک بریده شد و در آون در دمای ۷۲ درجه به‌مدت ۴۸ ساعت قرار گرفت. سپس عملکرد و اجزای عملکرد (تعداد طبق در بوته، تعداد دانه در طبق و وزن هزار دانه) محاسبه گردید. زغال زیستی مورد استفاده حاصل دو نوع بقایای گیاهی مختلف شامل بقایای گندم و پنبه بود که از طریق روش گرماکافت آهسته در شرایط اکسیژن محدود تهیه شد (Mendez et al., 2012). روش کار به این صورت بود که بقایای گندم و پنبه به صورت جداگانه در کوره در شرایط اکسیژن محدود در دمای ۴۰۰ درجه سلسیوس حرارت داده و نمونه‌ها به‌مدت سه ساعت در این دما نگهداری شدند. پس از آن، زغال‌های زیستی تولیدی به‌تدریج سرد شدند (Melo et al., 2013). و سپس آسیاب و از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های شیمیایی زغال‌های زیستی در جدول ۳ آورده شده است. جهت تعیین غلظت کل عناصر فسفر، پتاسیم، مس، روی، آهن و منگنز، مقدار یک گرم از زغال زیستی پودر شده در کوره در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس خاکستر گردید و سپس، در اسید کلریدریک دو نرمال حل گردید و غلظت عناصر مورد نظر در عصاره به‌دست آمده اندازه‌گیری گردید (Ding et al., 2015). در عصاره حاصل، غلظت فسفر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۷۰ نانومتر، غلظت پتاسیم توسط روش شعله‌سنجی توسط دستگاه فلیم فتومتر (Corning 510 ،UK) و غلظت عناصر کم مصرف توسط دستگاه جذب اتمی (AAS :PG Instruments. UK ،990) تعیین گردید. پهاش توسط روش سان و همکاران (Sun et al., 2014) با استفاده از سوسپانسیون ۲۰:۱ کودآلی به آب مقطر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره ۱۰:۱ کودآلی به آب مقطر (Yang et al., 2016) اندازه‌گیری شد.

جدول ۲- داده‌های هواشناسی شهرستان داراب در سال زراعی ۱۳۹۸- ۱۳۹۹

Table2. Metrological data in Darab city in cropping year 2019-2020

شاخص اقلیمی / Climatic index	ماه Month	مهر September	آبان October	آذر November	دی December	بهمن January	اسفند February	فروردین March	اردیبهشت April	خرداد May
میانگین کمینه دما Average minimum temperature		18.4	10.8	6.3	3.9	3.8	7.9	10.8	15.8	21.3
میانگین بیشینه دما Average maximum temperature		35.4	26.2	19.8	17.6	18.3	23.1	23.6	31.9	40.5
متوسط دما Average temperature		26.9	18.5	13	10.7	11	15.5	17.2	23.9	30.9
بارندگی Rainfall		0.2	26.1	117.3	122.8	24.6	9.4	158.7	0.0	2.6

سنجش رنگیزه‌های فتوسنتزی: برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، ۱۰ روز پس از تنش در مرحله گل‌دهی از پنج برگ جوان نزدیک به بالاترین غنچه در هر تیمار نمونه‌گیری انجام شد. استخراج و اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a وb و کاروتنوئید طبق روش آرنون (Arnon, (1967 انجام شد. که در این روش، ۰/۵ گرم از نمونه تر برگ و ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد که به‌تدریج اضافه

می‌شد، در داخل یک هاون چینی به‌خوبی ساییده شدند. پس از آن عصاره به‌مدت ۱۵ دقیقه با دور ۶۰۰۰ در دقیقه در سانترفیوژ رسوب داده شد. بعد از آن، سه میلی‌لیتر از محلول شفاف رویی را با هفت میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده و در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت کشور ژاپن شرکت شیمادزو مدل (UV-160A)، میزان جذب عصاره استخراج شده قرائت گردید.

در پایان، جهت محاسبه میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی از معادله‌های زیر استفاده شد.

معادله (۲)

$$\text{Chlorophyll a}= (19.3 \times A\ 663 - 0.86 \times A\ 645)V/\ 100W$$

معادله (۳)

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3 \times A\ 645 - 3.6 \times A663)\ V/\ 100W$$

معادله (۴)

$$\text{Carotenoid}= (100 \times A470) - (3.27 \times \text{mg chl. a}) - (104 \times \text{mg chl. b})\ /\ 227$$

که در این معادله‌ها، A: جذب نور در هر طول موج، W: وزن‌تر نمونه برحسب گرم و V: حجم محلول صاف شده می‌باشد.

جدول ۳- برخی از ویژگی‌های شیمیایی زغال زیستی بقایای پنبه و گندم

Table 3- Some chemical characteristics of cotton and wheat residues biochar

خصوصیت Property	زغال زیستی پنبه Cotton biochar	زغال زیستی گندم Wheat biochar
قابلیت هدایت الکتریکی Ec ($dS.m^{-1}$)	3.52	7.64
پ‌هاش pH	10.10	10.58
فسفر کل Total P (%)	0.18	0.07
پتاسیم کل Total K (%)	0.74	0.63
روی کل Total Zn ($mg.kg^{-1}$)	27.1	18.12
مس کل Total Cu ($mg.kg^{-1}$)	10.3	5.35
منگنز کل Total Mn ($mg.kg^{-1}$)	241	49.5
آهن کل Total Fe ($mg.kg^{-1}$)	361	183

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز: برای سنجش آنزیم‌های آنتی اکسیدانی ۱۰ روز پس از تنش در مرحله گل‌دهی از پنج برگ جوان نزدیک به بالاترین غنچه در هر تیمار نمونه‌گیری انجام شد که با استفاده از روش ایبی (Aebi, 1984) فعالیت آنزیم کاتالاز تعیین گردید. در این روش، در یک کیووت کوارتز سه میلی‌لیتری مخلوط سه محلول (۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار با pH= ۷، با ۰/۲ میکرولیتر عصاره آنزیمی و ۰/۳ میلی‌لیتر آب اکسیژنه) ریخته شد و با دستگاه اسپکتروفتومتر مدل (UV-160A) در طول موج ۲۴۰ نانومتر فعالیت آنزیم کاتالاز در مدت زمان واکنش ۳۰ ثانیه بر حسب واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر قرائت گردید و میزان آن از معادله زیر به‌دست آمد.

معادله (۵)

$$\text{Catalase activity}= (\Delta \times v)\ /\ (€ \times vs \times FW)$$

که در آن، FW: وزن تر نمونه برگ برداشت شده بر حسب (گرم)، Δ: تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و پس از ۳۰ ثانیه جذب دوم خوانده می‌شود)، €: ضریب خاموشی ($€=39.4\ mM^{-1}.cm^{-1}$)، vs: حجم نمونه برداشت شده برحسب (میلی‌لیتر) و v: حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر) می‌باشد.

اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز: برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز، مخلوط واکنشی از (دو میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم با pH=۷ و ۰/۲ میلی‌لیتر گایاکول ۱۰ میلی‌مولار همراه با ۰/۳

میلی‌لیتر آب اکسیژنه پنج میلی‌مولار) استفاده گردید. در این روش، در یک کیووت شیشه‌ای سه میلی‌لیتری به مخلوط واکنش فوق ۰/۲ میکرولیتر از عصاره آنزیمی اضافه شد و در طول موج ۴۷۰ نانومتر و قرار دادن در دستگاه اسپکتروفتومتر در مدت زمان واکنش ۶۰ ثانیه فعالیت آنزیم پراکسیداز اندازه‌گیری و ثبت شد (Aebi, 1984). در پایان، از معادله زیر میزان آن محاسبه گردید.

معادله (۵)

$$\text{Peroxidase activity}= (\Delta\times v) / (€\times vs\times FW)$$

که در آن، Δ: نشان‌دهنده تفاوت دو جذب در دقیقه (ابتدا جذب اول و پس از ۶۰ ثانیه جذب دوم را خوانده می‌شود)، vs: حجم نمونه برداشت شده (میلی‌لیتر)، v: حجم کل عصاره برگ (میلی‌لیتر)، FW: وزن تر نمونه برگ برداشت شده (گرم) و €: ضریب خاموشی ($€=26.6\ mM^{-1}\ cm^{-1}$) می‌باشد.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC): جهت اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ ۱۰ روز پس از تنش در مرحله گل‌دهی از پنج برگ جوان نزدیک به بالاترین غنچه در هر تیمار به صورت تصادفی نمونه‌گیری انجام شد و برگ‌ها در کیسه پلاستیکی قرار داده شدند و بلافاصله جهت تعیین رطوبت به آزمایشگاه انتقال یافت. در آنجا، وزن تازه برگ‌ها مشخص شد و پس از آن، در درجه حرارت اتاق (۱۸– ۲۰ درجه سانتی‌گراد) و در تاریکی به‌مدت ۱۸– ۱۶ ساعت در آب مقطر غوطه‌ور شدند و به دنبال آن، وزن آماس پس از حذف رطوبت سطح نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در بین کاغذ خشک کن، تعیین گردید. وزن خشک نیز پس از قرار گرفتن نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد تعیین و در نهایت، محتوای نسبی آب از معادله زیر محاسبه شد (Barrsu et al., 2015).

معادله (۷) $$RWC= (FW – DW) / (TW – DW) \times 100$$

که در آن، RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تازه، TW:وزن آماس و DW: وزن خشک می‌باشد.

تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده پس از جمع‌آوری داده‌ها، با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) انجام شد و میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال یک درصد مورد مقایسه قرار گرفته و از نرم‌افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۳) نیز برای ترسیم شکل‌ها استفاده گردید.

نتایج و بحث

محتوای کلروفیل a و b و کل

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی رژیم آبیاری و تیمار کودی بر محتوای کلروفیل a و کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، ولی بر محتوای کلروفیل b معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر رژیم آبیاری بر کلروفیل نشان داد که در شرایط قطع آبیاری، کلروفیل a و همچنین کلروفیل کل کاهش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان کلروفیل a مربوط به تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار همراه با سه تن زغال زیستی گندم یا پنبه در هکتار به‌ترتیب با میانگین ۱/۵۵ و ۱/۵۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آمد (جدول ۵). این چنین روندی در مورد کلروفیل کل نیز مشاهده شد و تیمارهای تلفیقی دارای بیشترین میزان کلروفیل کل بودند. در نهایت، کمترین مقدار کلروفیل a و کل در شاهد بدون کود (عدم مصرف زغال زیستی) به‌ترتیب به‌میزان ۱/۰۵ و ۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر به‌دست آمد. براساس پژوهشی، کاربرد زغال زیستی باعث بالارفتن میزان کلروفیل می‌گردد که این امر موجب بهبود مواد هیدروکربنی، فتوسنتز و تولید زیست‌توده بیشتر و در نهایت، موجب افزایش ارتفاع و سطح برگ می‌گردد (Song et al., 2012). براساس گزارش محققان، با کاربرد دو نوع زغال زیستی به‌دست آمده از بقایای سبوس برنج و آفتابگردان تهیه شده در دماهای مختلف و در سه سطح (۱، ۵ و ۱۰ تن در هکتار) در یک آزمایش مزرعه‌ای در کشت ذرت (*Zea mays* L.)، کاربرد هر دو نوع زغال زیستی باعث افزایش معنی‌دار کلروفیل برگ ذرت نسبت به تیمار عدم کاربرد زغال زیستی شد (Adejumo et al., 2016). در برخی پژوهش‌ها، جهت ارزیابی میزان فتوسنتز گیاه، محتوای کلروفیل برگ اندازه‌گیری می‌شود که یکی از عوامل بسیار مهم در تولید ماده خشک گیاه به‌شمار می‌رود. بنابراین، کاهش آن در شرایط رژیم آبیاری به‌عنوان یک عامل محدودکننده غیرروزنه ای در فتوسنتز محسوب می‌شود (Amiri et al., 2016 ; Ghosh et al., 2004). زمانی که گیاهان با تنش آبی مواجه می‌شوند، با بستن روزنه‌ها و کاهش تعرق، آب برگ را حفظ می‌کنند و میزان دی اکسیدکربن در بافت مزوفیلی گیاه را کاهش داده و این شرایط، واکنش‌های تاریکی فتوسنتز شده را مختل می‌کنند، در نتیجه محصولات حاصل از واکنش‌های روشنایی مصرف نمی‌شوند و مولکول اکسیژن به‌عنوان پذیرنده جانشین الکترون در مسیر زنجیره انتقال الکترون عمل می‌کند و باعث شکل‌گیری رادیکال‌های آزاد

اکسیژن می‌شود که در نتیجه، با کاهش بیوسنتز و افزایش تجزیه کلروفیل، مقدار کلروفیل کاهش می‌یابد (Santosa, 2004). همچنین، کاهش مقدار کلروفیل‌ها در شرایط تنش آبی در گندم گزارش شده است (Abdalla et al., 2007). در گیاه گلرنگ و گیاه لوبیا با افزایش شدت تنش آبی میزان کلروفیل به‌ترتیب ۶۹ و ۵۵ درصد کاهش یافت (Flexas et al., 2008). براساس مطالعه حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadeh et al., 2016)، در شرایط تنش آبی، محتوای آب برگ‌ها وانتقال مواد معدنی در اثر تنش اکسیداتیو در سلول‌های برگی، کاهش یافته و رنگدانه‌ها تجزیه شدند که با نتایج پژوهش حاضر به‌ویژه در شاهد بدون کود مطابقت دارد. با توجه به پژهش‌های بررسی شده، به نظر می‌رسد که کاربرد زغال زیستی با حفظ رطوبت خاک و بهبود وضعیت آب و تغذیه‌ای گیاه نقش مهمی در افزایش رنگدانه‌های گلرنگ دارد.

محتوای کاروتنوئید

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر رژیم آبیاری بر محتوای کاروتنوئید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). به‌طور کلی، تنش آبی باعث افزایش محتوای کارتنوئید گردید، به‌گونه‌ای که بیشترین میزان کاروتنوئید از تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط تنش آبی حاصل شد که نسبت به شاهد بدون کود، ۶۴/۷ درصد افزایش داشت. در شرایط آبیاری مطلوب نیز بیشترین محتوای کاوتنوئید در تیمار تلفیقی پنبه مشاهده شد که ۵۳/۸ درصد نسبت به شاهد بدون کود بیشتر بود (جدول ۶). بالا رفتن محتوای کاروتنوئید بر اثر رژیم آبیاری، ناشی از اثر دفاعی این رنگیزه‌ها می‌باشد. کاروتنوئیدها در سیستم دفاع آنتی‌اکسیدانی برای محافظت از رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل، نقش بسیار مهمی بر عهده دارند و افزایش میزان آن‌ها در شرایط تنش آبی قابل پیش بینی است. افزایش مقدار کاروتنوئیدها در شرایط قطع آبیاری در گل‌دهی و افزایش آن در مرحله پر شدن دانه، نشان‌دهنده نقش مهم آن در تعدیل میزان رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌باشد (Navabpour et al., 2015). در واقع، افزایش کارتنوئیدها با افزایش شدت تنش آبی بیانگر نقش کلیدی و حفاظتی آن‌ها در شرایط تنش می‌باشد و با پیشرفت تنش آبی به دلایلی مانند پیری زودرس و تخریب آن‌ها توسط عوامل مخرب (از جمله اکسیژن فعال) باعث می‌شود که سرعت افزایش آن‌ها کاهش یابد (Chalker-Scott, 2002). مطابق با پژوهش حاضر، افزایش محتوای کاروتنوئید جهت مقابله با تنش آبی درگیاه گلرنگ توسط آزاد بخت و همکاران (Azad akht et al., 2017) و در گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) توسط عبدالله و همکاران (Abdollah et al., 2007) گزارش شده است که نشان‌دهنده فعال شدن مکانیسم دفاعی گیاه گلرنگ در مواجهه با تنش آبی می‌باشد.

محتوای نسبی آب برگ (RWC)

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به محتوای نسبی آب برگ نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر متقابل رژیم آبیاری در تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد بود. (جدول ۴). بیشترین محتوای نسبی آب برگ مربوط به کاربرد تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۶۴/۱۷ درصد بود که نسبت به شاهد بدون کود در آبیاری مطلوب با میانگین ۳۹/۹۵، به میزان ۲۴/۲۲ درصد افزایش نشان داد (شکل ۱). همچنین، بیشترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط قطع آبیاری در گل‌دهی مربوط به تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار با میانگین ۵۶/۷۰ درصد می‌باشد که نسبت به شاهد بدون کود در همین شرایط با میانگین ۳۷/۰۵، ۱۹/۶۵ درصد افزایش نشان می‌دهد (شکل ۱). در واقع، زغال زیستی به‌کار رفته در این تیمار توانسته است، محتوای نسبی آب برگ را با حفظ رطوبت خاک افزایش دهد. زغال زیستی از روش‌های مختلفی مانند نگهداری آب و مواد غذایی، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی (Glaser et al., 2002)، بهبود ویژگی‌های کیفی خاک (Sohi, 2012)، کاهش تصعید گازهای گلخانه‌ای و افزایش میزان ترسیب کربن در خاک (Chan et al., 2008)، تحریک فعالیت ریزجانداران خاک (Lehmann et al., 2011) و بهبود کارآیی مصرف عناصر غذایی، سبب افزایش رشد و عملکرد گیاهان می‌شود (Ippolito et al., 2012). کاهش محتوای نسبی آب فعالیت‌های حیاتی گیاه را مختل کرده و مانع تقسیم سلولی، فتوسنتز خالص و سنتز پروتئین، کاهش رشد اندام‌های گیاهی و تغییر در تعادل هورمونی بافت‌های اساسی گیاه می‌گردد (Lin et al., 2006). محققان در کلزا (*Brassica napus*) در شرایط تنش آبی کاهش

محتوای نسبی آب برگ را گزارش کردند (Arvin et al., 2017). در واقع، با افزایش شدت تنش آبی، پتانسیل آب برگ، رطوبت خاک، محتوای نسبی آب برگ پایین آمده و به دنبال آن هدایت روزنه‌ای و در نتیجه، ورود دی اکسید کربن به داخل برگ کاهش می‌یابد. کاهش هدایت روزنه‌ای ناشی از تغییر محتوای نسبی آب نشان‌دهنده این است که احتمالاً علائم ارسالی از ریشه در شرایط تنش آبی باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز می‌شود (Zhou et al., 2017). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که استفاده از زغال زیستی به‌کار رفته در تیمار تلفیقی کود شیمیایی با زغال زیستی پنبه، موجب بهبود و افزایش محتوای نسبی آب برگ به‌دلیل حفظ رطوبت خاک شده است.

فعالیت آنزیم کاتالاز

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم کاتالاز نشان‌دهنده معنی‌دار بودن اثر متقابل رژیم آبیاری در تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت آنزیم کاتالاز با میانگین ۲/۸۸ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر مربوط به تیمار قطع آبیاری در گل‌دهی در شاهد بدون کود بود که نسبت به شاهد بدون کود در آبیاری مطلوب ۴۸/۴۵ درصد افزایش داشت (جدول ۶). در واقع، در شرایط تنش آبی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز افزایش می‌یابد که باعث بالا رفتن پتانسیل دفاعی گیاه در مقابل با کمبود آب می‌شود و میزان تحمل گیاه را به تنش آبی بهبود می‌بخشد. رادیکال‌های آزاد اکسیژن پس از قطع آبیاری افزایش یافته و موجب تخریب سیستم فتوسنتزی، غشای سلولی و اکسیداسیون بسیاری از ترکیبات حیاتی گیاهان می‌شوند (Borislev et al., 2016; Rahbarian et al., 2012). آنزیم‌هایی مانند سوپراکسیددیسموتاز، کاتالاز و پراکسیداز اولین سد دفاعی در مقابله با افزایش رادیکال‌های آزاد اکسیژن در سلول‌های گیاهان می‌باشند. در نتیجه، افزایش فعالیت این آنزیم‌ها در جهت کاهش اثر منفی رادیکال‌های آزاد اکسیژن تحت تنش آبی در گیاه ضروری به نظر می‌رسد (Gunes et al., 2006). روزنه‌ها در شرایط قطع آبیاری بسته می‌شوند و باعث افزایش دمای برگ‌ها شده و به تبع آن، رادیکال‌های آزاد اکسیژن تشکیل و موجب پراکسیداسیون پروتئین‌ها و لیپیدها می‌شود. آنزیم‌هایی نظیر کاتالاز و پراکسیداز در این شرایط، به‌عنوان آنزیم‌های اکسیداتیو فعال‌تر می‌شوند (Sirous Mehr et al., 2014). محققان در مطالعه‌ای روی گلرنگ نشان دادند که میزان کاتالاز در تنش آبی ملایم و شدید نسبت به شرایط آبیاری مطلوب بین ۴۴ تا ۶۳ درصد افزایش یافتند (Rahbarian et al., 2012; Taheri et al., 2017). در واقع، در پژوهش حاضر در زمان تنش در مرحله گل‌دهی، میزان آنزیم کاتالاز افزایش یافته تا از گیاه در مقابل اثرات مخرب تنش آبی محافظت کند و بین تیمارهای به‌کار رفته، در شاهد بدون کود، به‌دلیل عدم مصرف زغال‌های زیستی یا کودهای شیمیایی تنش کمبود مواد غذایی نیز بر گیاه وارد شده که بیشترین افزایش میزان آنزیم کاتالاز را شاهد بودیم.

فعالیت آنزیم پراکسیداز

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به فعالیت آنزیم پراکسیداز در جدول ۴ نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری در تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. با قطع آبیاری در گل‌دهی فعالیت آنزیم پراکسیداز افزایش یافت. بیشترین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار قطع آبیاری در گل‌دهی در شاهد بدون کود با میانگین ۲/۷۵ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر بود که نسبت به همین تیمار با میانگین ۱/۹۸ واحد بر دقیقه بر گرم وزن تر در شرایط آبیاری مطلوب ۳۸/۸۸ درصد افزایش داشت (جدول ۶). در شرایط تنش آبی، ظرفیت انتقال الکترون فتوسنتزی کاهش یافته و روزنه‌ها بسته و باعث تجمع الکترون‌ها و افزایش گونه‌های فعال اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن شده که منجر به تخریب سیستم فتوسنتزی، غشای سلول و اکسیداسیون بسیاری از ترکیبات حیاتی گیاهان می‌شود (Taheri et al., 2017). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان نظیر پراکسیداز، اولین سد دفاعی در مقابله با افزایش گونه‌های واکنش‌دهنده اکسیژن در سلول‌های گیاهان می‌باشد (Gunes et al., 2006). براساس مطالعه طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017)، تنش آبی ملایم و شدید میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز را نسبت به شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب ۱۰/۳۲ و ۳۳/۵ درصد افزایش داد، افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز در اثر تنش آبی در گلرنگ (Hassanpour Lescokelaye et al., 2013) نیز گزارش شده است. در پژوهش حاضر نیز آنزیم پراکسیداز نیز همچون آنزیم کاتالاز، در مواجهه با تنش آبی افزایش یافت و در شاهد بدون کود، به دلیل استفاده نکردن از تیمارهای کودی، میزان پراکسیداز کاهش یافت.

عملکرد زیست‌توده

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌های مربوط به عملکرد زیست-توده نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری در تیمار کودی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). عملکرد زیست‌توده در شرایط آبیاری مطلوب در تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار با میانگین ۷۴۳۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین میزان را نشان داد که نسبت به شاهد بدون کود در همین شرایط، ۲۷/۵ درصد افزایش داشت (شکل ۲). همچنین، بیشترین عملکرد زیست‌توده در شرایط تنش آبی در مرحله گل‌دهی مربوط به همین تیمار با میانگین ۶۵۴۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به شاهد بدون کود در همین شرایط، با میانگین ۵۳۶۰ کیلوگرم در هکتار، ۲۲/۰۵درصد افزایش عملکرد مشاهده شد. عملکرد زیست‌توده نشان‌دهنده ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است، بنابراین، کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز خالص و همچنین، مقدار کلروفیل کم‌تر در شرایط تنش آبی می‌تواند باعث کاهش عملکرد زیست‌توده شود (Liu et al., 2004). گزارش‌های مختلف، بیانگر بهبود عملکرد یا افزایش زیست‌توده گیاهی در نتیجه کاربرد زغال زیستی در مناطق حاره با خاک‌های اسیدی می‌باشد. در خاک‌های هوادیده مناطق حاره، کاهش اسیدیته خاک، دلیل اصلی تأثیر مثبت زغال زیستی بر گیاه است (Rajkovich et al., 2012). مطالعاتی در مورد اثرات زغال زیستی بر گیاه در مناطق غیرحاره مانند مناطق خشک و نیمه خشک با خاک غیراسیدی انجام شده است. به‌عنوان مثال، در اثر کاربرد ۱۰ تن در هکتار زغال زیستی در یک خاک آهکی، باعث افزایش تولید زیست‌توده سویا و کاهش تولید زیست‌توده گندم شد (Van Zwieten et al., 2010). محققان گزارش کردند که با استفاده از دو نوع زغال زیستی حاصل از شبدر سفید و کود مرغی در یک خاک لومی، عملکرد زیست‌توده دو گیاه ذرت و گندم و همچنین، وزن خشک ریشه در دو گیاه به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار عدم کاربرد زغال زیستی افزایش یافت (Abbasi et al., 2015). در پژوهش حاضر به نظر می‌رسد که استفاده از تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ، فتوسنتز خالص، کلروفیل بیشتر و در نهایت، عملکرد زیست‌توده بالاتر می‌گردد.

تعداد دانه در طبق

نتایج جدول تجزیه واریانس تعداد دانه در طبق در جدول ۴ نشان داد که اثر رژیم آبیاری در سطح یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشد. در این مطالعه تیمار ۱۱۲/۵ اوره + ۳۷/۵ فسفات + سه تن زغال زیستی پنبه با میانگین ۱۵/۸۰ دانه با تیمار آبیاری مطلوب، بیشترین و شاهد بدون کود با میانگین۱۲/۵۰ دانه در تیمار تنش آبیاری در مرحله گل‌دهی کمترین میزان دانه در طبق را به خود اختصاص دادند (جدول ۶). در این مطالعه، استفاده از تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب و تنش آبی، به‌ترتیب موجب افزایش ۱۲/۸۵و ۸/۸ درصدی تعداد دانه در طبق نسبت به شاهد بدون کود شده است. براساس گزارش محققان، بیشترین تعداد دانه در طبق از مصرف پنج تن در هکتار زغال زیستی به‌دست آمد (Sajedi et al., 2018). در پژوهش حاضر، افزایش تعداد دانه در طبق با مصرف تیمار تلفیقی کودشیمیایی با زغال زیستی پنبه به‌دلیل این است که در این تیمار زغال زیستی می‌تواند ضمن تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه به‌خصوص پتاسیم، از هدررفت و آبشویی عناصر غذایی نیز جلوگیری کرده و ویژگی‌های فیزیکی خاک جهت بهبود رشد ریشه را نیز بهبود بخشد (Najafi-Ghiri et al., 2022b).

تعداد طبق بارور در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار تیمار کودی در سطح احتمال پنج درصد بر تعداد طبق بارور در بوته می‌باشد (جدول ۴). بیشترین تعداد طبق تولید شده در گیاه مربوط به تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب به‌میزان ۱۰/۳۰ عدد ۱۹/۷۶ درصد افزایش نسبت به شاهد بدون کود در شرایط آبیاری مطلوب بود (جدول ۶).

جدول ٤- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات اندازه‌گیری شده گلرنگ در شرایط رژیم آبیاری و تیمار کودی

Table 4- Analysis of variance (mean square) of the measured traits of safflower under the irrigation regime and fertilizer treatment

درجه آزادی df	محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content	محتوای کلروفیل b Chlorophyll b content	کلروفیل کل Total chlorophyll	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content	کاتالاز Catalase	پراکسیداز Peroxidase	محتوای نسبی آب Relative water content	تعداد طبق بارور در بوته No.of fertile capitule per plant	تعداد دانه در طبق No.of seed in capitule	عملکرد زیست‌توده Biological yield	عملکرد دانه Seed yield
2	0.24^{ns}	0.08*	0.65**	0.06**	0.02^{ns}	0.09**	65.61**	1.31^{ns}	5.47**	1096.92^{ns}	5.21^{ns}
1	0.37*	0.06^{ns}	0.59*	0.06**	2.50**	4.83**	1034.060**	3.09*	43.20**	8502300.21**	844050.38**
2	0.26	0.019	0.38	0.02	0.001	0.007	0.66	1.44	0.41	3911.35	7.45
6	0.21*	0.02^{ns}	0.31*	0.005^{ns}	1.02**	0.39**	283.61**	3.32**	1.26*	691210.85**	106790.48**
6	0.03^{ns}	0.002^{ns}	0.03^{ns}	0.001*	0.34**	0.11**	34.71 **	0.44^{ns}	2.79*	206343.71**	13644.99**
24	0.07	0.017	0.09	0.008	0.008	0.005	9.38	0.69	0.89	3158.81	283.91
	21.20	23.49	16.28	15.55	4.99	3.66	6.40	8.91	6.78	0.87	1.09

منابع تغییرات S.O.V	تکرار Replication(r)	رژیم آبیاری Irrigation regime (A)	خطای کرت اصلی Main plot error (Rep.×A)	تیمار کودی (B)	A×B	خطای کرت فرعی Subplot error (Rep.×B)	ضریب تغییرات CV(%)

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات ساده رژیم آبیاری و تیمار کودی روی کلروفیل a و کل گلرنگ

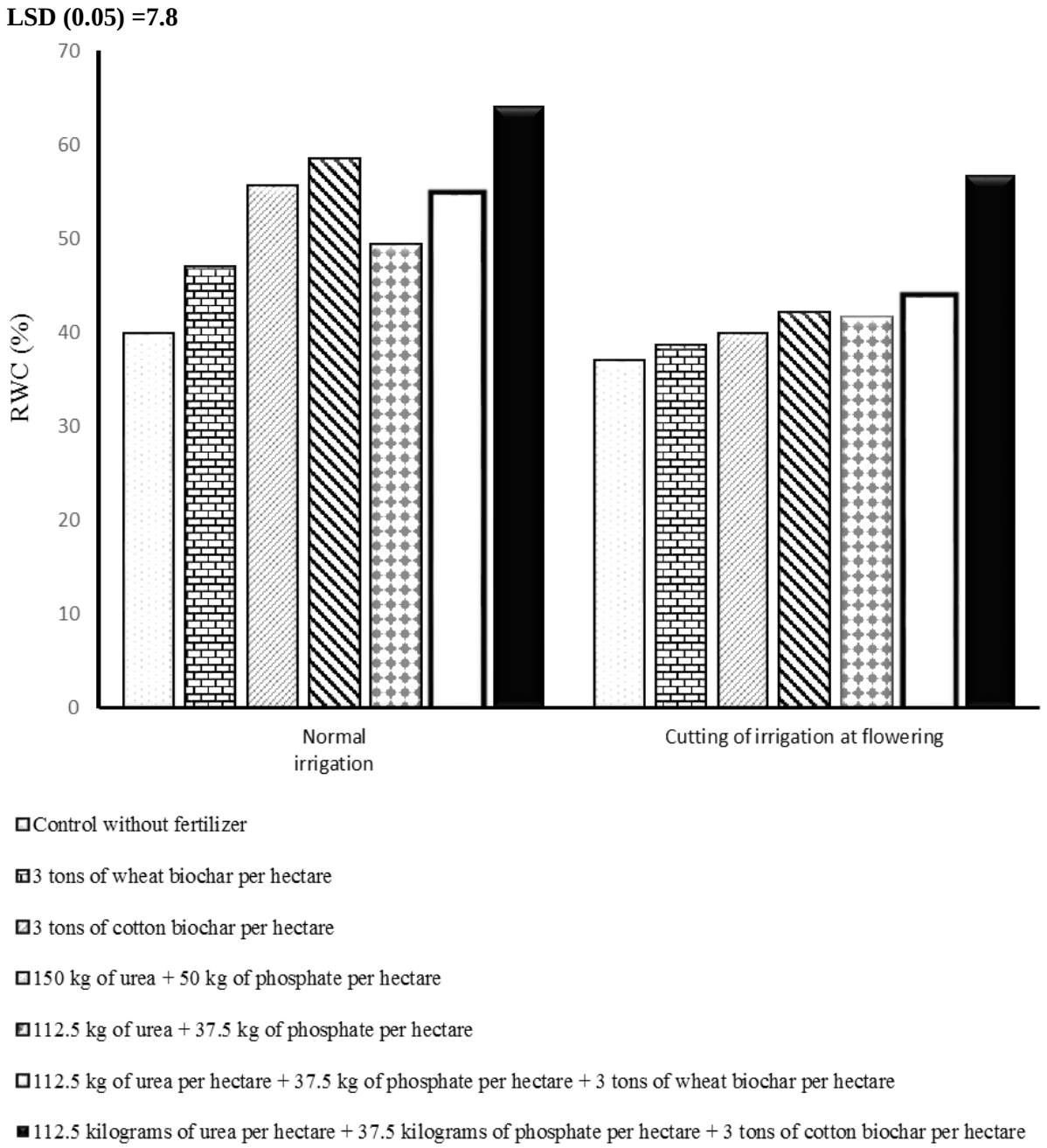
Table 5- The main effects of irrigation regime and fertilizer treatment on chlorophyll a and total of safflower

اثرات اصلی Main effects		محتوای کلروفیل a Chlorophyll a content (mg.g^{-1} Fw)	محتوای کلروفیل کل Total chlorophyll content (mg.g^{-1} Fw)
رژیم آبیاری Irrigation regime	آبیاری مطلوب Normal irrigation	1.38	1.97
	قطع آبیاری در گل‌دهی Cutting of irrigation at flowering	1.19	1.73
	LSD (0.05)	0.13	0.22
تیمار کودی Fertilizer treatment	سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 3 tons of wheat biochar per hectare	1.23	1.83
	سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار 3 tons of cotton biochar per hectare	1.30	1.80
	۱۵۰ کیلوگرم اوره در هکتار + ۵۰کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار 150 kg of urea + 50 kg of phosphate per hectare	1.27	1.78
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار 112.5 kg of urea + 37.5 kg of phosphate per hectare	1.11	1.68
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 112.5 kg of urea per hectare + 37.5 kg of phosphate per hectare + 3 tons of wheat biochar per hectare	1.55	2.26
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار kilograms of urea per hectare + 37.5 kilograms of phosphate per hectare + 3 tons of cotton biochar per hectare	1.52	2.05
	LSD (0.05)	0.14	0.21

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات گیاهی گلرنگ در شرایط رژیم آبیاری و تیمار کودی

Table 6- Comparison of average plant traits of safflower under irrigation regime and fertilizer treatment

رژیم آبیاری Irrigation regime	تیمار کودی Fertilizer treatment	محتوای کاروتنوئید Carotenoid content ($mg.g^{-1}Fw$)	کاتالاز Catalase ($U.min^{-1}.g^{-1}Fw$)	پراکسیداز Peroxidase ($U.min^{-1}.g^{-1}Fw$)	تعداد طبق بارور در بوته No. of capitule per plant	تعداد دانه در طبق No. of seed in capitule
آبیاری مطلوب Normal irrigation	شاهد بدون کود Control without fertilizer	0.13	1.94	1.98	8.60	14.0
	سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 3 tons of wheat biochar per hectare	0.14	1.87	1.78	9.20	14.40
	سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار 3 tons of cotton biochar per hectare	0.20	1.92	1.89	9.30	15.0
	۱۵۰ کیلوگرم اوره + ۵۰ کیلوگرم فسفات در هکتار 150 kg of urea + 50 kg of phosphate per hectare	0.14	1.14	1.40	9.40	15.50
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار 112.5 kg of urea + 37.5 kg of phosphate per hectare	0.15	1.26	1.48	9.23	14.60
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار + سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 112.5 kg of urea per hectare + 37.5 kg of phosphate per hectare + 3 tons of wheat biochar per hectare	0.15	1.48	1.59	9.30	14.90
	۵/ ۱۱۲ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار 112.5 kilograms of urea per hectare + 37.5 kilograms of phosphate per hectare + 3 tons of cotton biochar per hectare	0.16	1.69	1.67	10.30	15.80
قطع آبیاری در گل‌دهی Cutting of irrigation at flowering	شاهد بدون کود Control without fertilizer	0.17	2.88	2.75	8.20	12.50
	سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 3 tons of wheat biochar per hectare	0.24	2.65[b]	2.71	8.60	12.60
	سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار 3 tons of cotton biochar per hectare	0.28	2.41	2.57	9.0	12.80
	۱۵۰ کیلوگرم اوره + ۵۰ کیلوگرم فسفات در هکتار 150 kg of urea + 50 kg of phosphate per hectare	0.24	1.88	2.22	9.50	12.76
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار 112.5 kg of urea + 37.5 kg of phosphate per hectare	0.17	2.10	2.44	9.20	12.60
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار + سه تن زغال زیستی گندم در هکتار 112.5 kg of urea per hectare + 37.5 kg of phosphate per hectare + 3 tons of wheat biochar per hectare	0.24	1.22	1.80	9.50	13.40
	۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم فسفات در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار 112.5 kilograms of urea per hectare + 37.5 kilograms of phosphate per hectare + 3 tons of cotton biochar per hectare	0.29	1.58	2.05	9.80	13.60
	LSD (0.05)	0.10	0.20	0.17	0.93	1.20

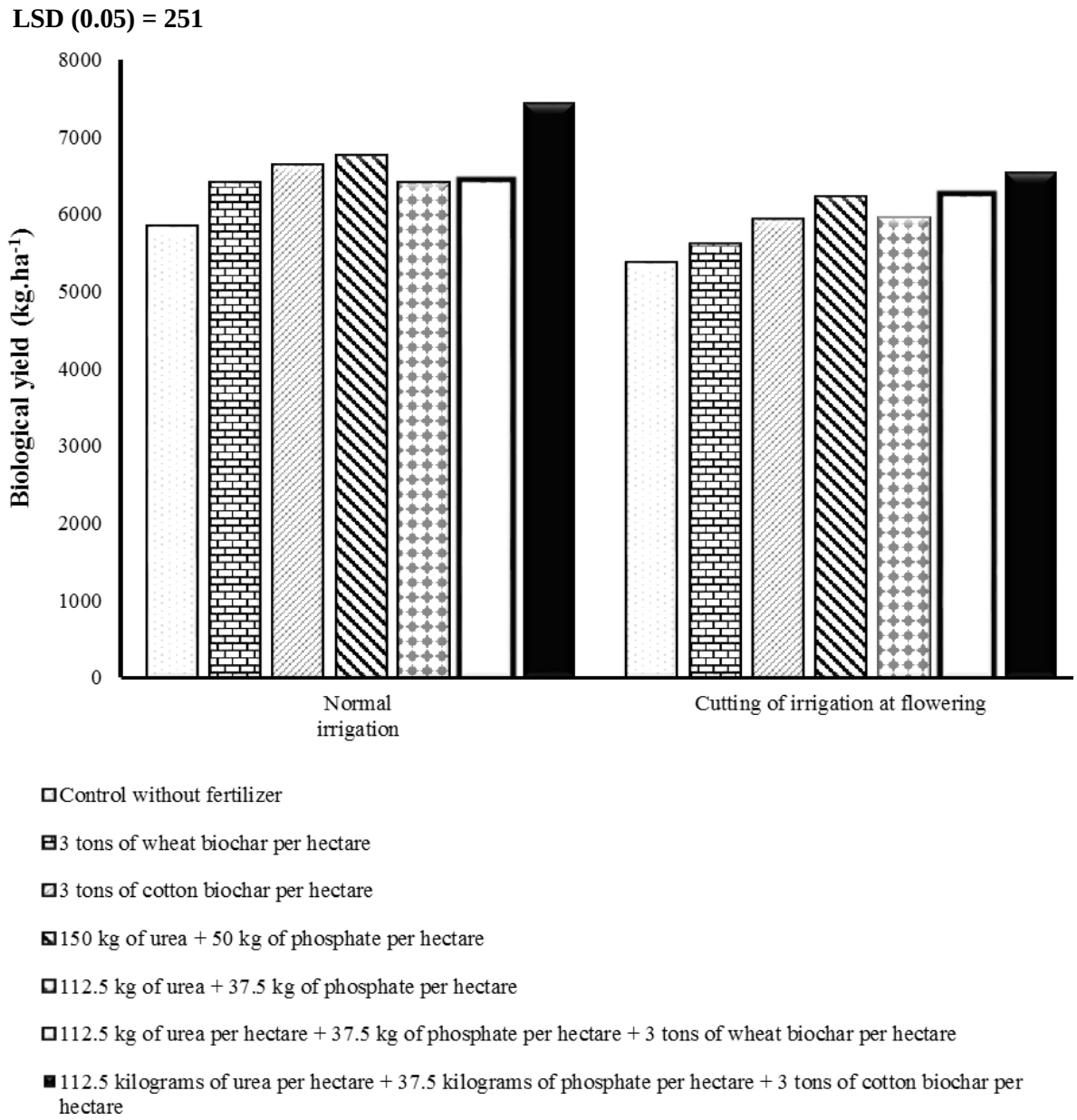


شکل ۱- اثر متقابل رژیم آبیاری و تیمار کودی بر محتوای نسبی آب برگ (RWC) گلرنگ

Fig. 1- The interaction effect of irrigation regime and fertilizer treatment on relative leaf water content (RWC) of safflower

همچنین، با کاربرد این تیمار در شرایط قطع آبیاری در گل‌دهی افزایش ۱۹/۵۱درصدی تعداد طبق بارور در بوته نسبت به شاهد بدون کود مشاهده شد (جدول ۶). تنش آبی، طول دوره رشد گیاه را کاهش داده و باعث تسریع در ورود به فاز زایشی شده و این امر موجب کاهش تعداد طبق در بوته می‌گردد، تنش آبی همچنین از رشد جوانه‌های جانبی و شاخه‌های فرعی بیشتر جلوگیری کرده و در نهایت، تعداد طبق در بوته را کاهش می‌یابد (Hayashi et al., 1985). برخی محققان نیز در پژوهشی گزارش کردند که تنش آبی باعث کاهش در تعداد طبق در بوته گلرنگ می‌شود (Shiresmaeili et al., 2017). در پژوهش حاضر، علت افزایش تعداد طبق بارور در بوته نیز همچون تعداد دانه در طبق، به‌دلیل مصرف تیمار تلفیقی با زغال زیستی پنبه می‌باشد. این تیمار باعث بهبود محتوای نسبی آب

برگ و همچنین موجب بالابردن آب قابل دسترس گیاه شده و در نتیجه، باعث افزایش اجزای عملکرد و عملکرد دانه شد.



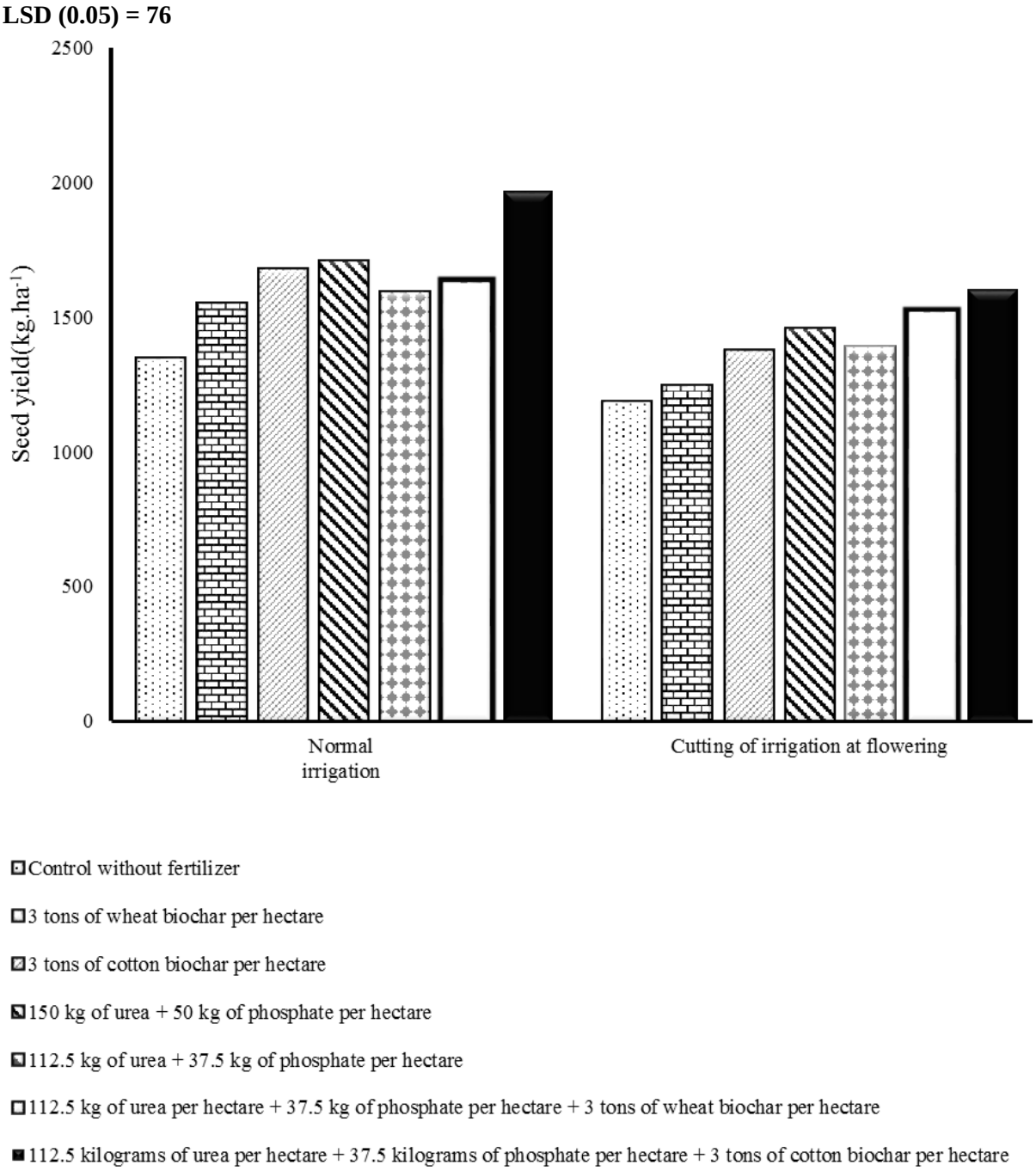
شکل ۲- اثر متقابل رژیم آبیاری و تیمار کودی بر عملکرد زیست‌توده گلرنگ

Fig. 2- The interaction effect of irrigation regime and fertilizer treatment on safflower biological yield.

عملکرد دانه

نتایج جدول تجزیه واریانس عملکرد دانه در جدول ۴ نشان داد که اثر متقابل رژیم آبیاری در تیمارکودی در سطح یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری می‌باشد. بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط آبیاری مطلوب با میانگین ۱۹۷۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد که نسبت به شاهد بدون کود در شرایط مشابه با میانگین ۱۳۵۲ کیلوگرم در هکتار،۴۵/۷ افزایش عملکرد نشان داد (شکل ۳). در تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار در شرایط تنش آبی در مرحله گل‌دهی با میانگین ۱۶۰۳ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد حاصل

شد که نسبت به شاهد بدون کود در همین شرایط، با میـانگین ۱۱۹۰ کیلوگرم در هکتار، ۳۴/۷ درصد افزایش عملکرد مشاهده شـد (جـدول ۶).



شکل ۳- اثر متقابل رژیم آبیاری و تیمار کودی بر عملکرد دانه گلرنگ

Fig. 3- The interaction effect of irrigation regime and fertilizer treatment on safflower seed yield

کاربرد زغال زیستی گندم با کود اوره و فسفات به‌صورت تلفیقی و همچنین، استفاده از زغال زیستی پنبه به‌صورت جداگانه در شرایط تنش آبی، عملکرد را به‌ترتیب نسبت به شاهد ۲۷/۸۱ و ۱۶/۰۵ درصد افزایش دادند. گزارش شده است که با مصرف زغال‌زیستی به‌دلیل افزایش درصد اشباع بازی خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی و افزایش آب قابل دسترس گیاه، عملکرد ذرت از ۱۷ به ۲۱ تن در هکتار افزایش یافت (Cornelissen et al., 2013). براساس مطالعه پژوهشگران، افزودن زغال‌زیستی ذرت موجب کاهش جرم مخصوص ظاهری، افزایش پایداری خاکدانه و در نهایت، افزایش نگه‌داشت آب در خاک می‌شود (Herath et al., 2013). افزایش عملکرد با کاربرد زغال-زیستی در محیط‌های کنترل شده و مزرعه نیز توسط محققین گزارش شده است (Blackwell et al., 2009). با کاربرد ۲/۵، ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار زغال‌زیستی حاصل از کاه گندم، در منطقه نیمه گرمسیری با میانگین بارندگی سالانه ۱۵۴۹ میلی‌متر، عملکرد کلزا به‌ترتیب نسبت به شاهد ۱۶/۲، ۲۱/۱، ۲۷/۹، ۲۴/۶، ۳۳/۲، ۳۶ درصد افزایش یافت (Liu et al., 2014). در پژوهش حاضر، مصرف تیمار ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار + ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار + سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار به‌دلیل بهبود ویژگی‌های مختلف خاک و تأمین بخشی از عناصر مورد نیاز گیاه (Najafi-Ghiri et al., 2022a) باعث افزایش عملکرد دانه شده است.

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر رژیم آبیاری و تیمار کودی قرار گرفت. براساس نتایج به‌دست آمده، تنش آبی باعث کاهش محتوای کلروفیل a و کل، محتوای نسبی آب برگ و عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه گلرنگ شد و منجر به افزایش محتوای کاروتنوئید، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز گردید. از سوی دیگر، کاربرد سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار همراه با ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار و ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار سبب بهبود و افزایش محتوای نسبی آب برگ، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در شرایط رژیم آبیاری نسبت به شاهد بدون کود به‌ترتیب به‌میزان ۵۳/۰۳، ۲۲/۰۵ و ۳۴/۷ درصد گردید. بنابراین، نتایج کلی این تحقیق نشان داد که استفاده از تیمار سه تن زغال زیستی پنبه در هکتار همراه با ۱۱۲/۵ کیلوگرم اوره در هکتار و ۳۷/۵ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل در هکتار، در شرایط تنش آبی باعث بهبود محتوای نسبی آب برگ، صفات زراعی از جمله تعداد دانه در طبق، تعداد طبق بارور در بوته، عملکرد زیست‌توده (بیولوژیکی) و عملکرد دانه گلرنگ شد. با توجه به اینکه گیاهان زراعی در جنوب استان فارس با تنش آبی انتهای فصل روبه‌رو هستند، می‌توان تا حدودی با بهره‌گیری از زغال زیستی بقایای پنبه و گندم به تنهایی و یا توأم با کود اوره و سوپرفسفات تریپل، از اثرات تنش آبی کم کرد. در پایان، انجام پژوهش‌های بیشتر در ارتباط با تهیه و کاربرد زغال زیستی برای رشد سایر گیاهان زراعی و استفاده در بخش کشاورزی جهت افزایش تولید و کاهش مصرف نهاده‌ها پیشنهاد می‌شود.

References

1. Abbasi, M.K., & Anwar, A.A. (2015). Ameliorating effects of biochar derived from poultry manure and white clover residues on soil nutrient status and plant growth promotion-greenhouse experiments. *Plos One*, *10*(6), 1-18. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131592
2. Abdalla, M.M., & El-Khoshiban, N.H. (2007). The influence of water stress on growth, relative water content, photosynthetic pigments, some metabolic and hormonal contents of two *Triticum aestivum* cultivars. *Journal of Applied Sciences Research*, *3*, 2062-2074.
3. Adejumo, S.A., Owolabi, M.O., & Odesola, I.F. (2016). Agro-physiologic effects of compost and biochar produced at different temperatures on growth, photosynthetic pigment and micronutrients uptake of maize crop. *African Journal of Agricultural Research*, *11*, 661-673. http://dx.doi.org/10.5897/AJAR2015.9895
4. Aebi, H. (1984). Catalase *in vitro*. *In Methods in Enzymology*, *105*, 121-126. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(84)05016-3
5. Amiri, A., Sirousmehr, A.R., Yadollahi, P., Asgharipour, A.R., & Esmaeilzadeh Bahbadi S. (2016). Effect of drought stress and spraying of salicylic acid and chitosan on photosynthetic pigments and antioxidant enzymes in safflower. *Journal of Crops Improvement*, *18*, 2.453-466. (In Persian with English abstract)
6. Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, *23*, 112-121.

7. Arvin, P., Vafabakhsh, J., & Mazaheri, D. (2017). Study of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and drought on physiological traits and ultimate yield of cultivars of oilseed rape (*Brassica* spp. L.). *Journal of Agroecology, 4*, 1208-1226. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jag.v9i4.61808
8. Asghari, B., & Gharibi Asl, S. (2016). The oil and protein content of Isfahan's safflower in different periods of irrigation, levels of humic acid and superabsorbent. *International Journal of Life Science and Pharma Research, 1*, 56-63.
9. Asqarpanh, J., & Kazemivash, N. (2013). Pharmacology and medicinal properties of (*Carthamus tinctorius* L). *Chines Journal of Integrative Medicine, 19(2)*, 53-59. https://doi.org/10.1007/s11655-013-1354-5
10. Azad Bakht, F., Ahmadi, K., & Omidi, H. (2017). Effect of late season drought stress on seed germination indices and photosynthetic pigments of native root genotypes (*Carthamus tinctrorius* L.) safflower. *Crop Physiology, 3*, 75-90. (In Persian with English abstract)
11. Barrsu, H. D., & Weatherley, P.E. (1962). Are-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences, 15*, 413-4280. https://doi.org/10.1071/BI9620413
12. Bahadori, F., Bijanzadeh, E., & Behpuri, A. (2019). Investigating delayed cultivation on the re-transfer of cultured materials, yield components and yield of two safflower cultivars in the condition of interruption of irrigation. *Journal of Plant Production Research, 28*(4), 85-104. https://doi.org/0.22069/JOPP.2021.17472.2612
13. Berek, A.K., Hue, N., & Ahmad, A. (2011). Beneficial use of biochar to correct soil acidity. *The Food Provider, 9*, 1-3.
14. Blackwell, P., Riethmuller, G., & Collins, M. (2009). Biochar application for soil. P 207-222, In: J. Lehman and S. Joseph (Eds.), Biochar for Environmental Management, Science and Technology. Eds Earthscan, London, Sterling, VA.
15. Borislev, M., Borislev, I., Zupunski, M., Arsenvo, D., Pajevic, S., Curcic, Z., Vasin, J., & Djordjevic, A. (2016). Drought impact is alleviated in sugar beets (*Beta vulgaris* L.) by foliar application of fullerenol nanoparticles. *Plos One, 10*, 1-20. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0166248
16. Chalker-Scott, L. (2002). Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues? *Advances in Botanical Research, 37*, 103-106. https://doi.org/10.1016/S0065-2296(02)37046-0
17. Chang, C.C., Lee, H.L., & Hsu, S.H. (2013). Food security: Global trends and regional perspective with reference to East Asia. *The Pacific Review, 26*, 589-613. https://doi.org/10.1080/09512748.2013.842315
18. Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Soil Research, 46*(5), 437-444. https://doi.org/10.1071/SR08036
19. Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G.D., Rutherford, D.W., & Mulder, J. (2013). Biochar effect on maize yield and soil characteristics in five conservation farming sites in Zambia. *Agronomy, 3*(2), 256-274. https://doi.org/10.3390/agronomy3020256
20. Daneshmand, A.R., Shirani Rad, A.H., & Ardakani, M.R. (2006). Evaluation of water deficit stress on tolerance of spring rapeseed (*Brassica napus* L.) genotypes. *Agronomy Research, 1*, 48-60. (In Persian with English abstract)
21. Das, R.C., Somanagouda, G., & Singh, B. (2017). Effect of Integrated Nutrient Management (INM) practices on growth, yield and oil yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Internatiol Journal of Current Microbiolgy and Applied Sciences, 6*, 511-516.
22. Ding, Z., Hu, X., Wan, Y., Wang, S., & Gao, B. (2015). Removal of lead, copper, cadmium, zinc and nickel from aqueous solutions by alkali-modified biochar: Batch and column tests. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 15*, 300-307. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.10.007
23. Flemmer, A.C., Franchini, M.C., & Lindstrom, L.I. (2015). Description of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) phonological growth stages according to the extended BBCH scale. *Annals of Applied Biology, 27*, 331-339. https://doi.org/10.1111/aab.12186
24. Flexas, J., Bota, J., Gales, J., Medrano, H., & Ribas- Carbo, M. (2008). Keeping a positive carbon balance under adverse conditions responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum, 12*, 343-352. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2006.00621.x
25. Gee, G.W., & Or, D. (2002). Particle size analysis. In: Methods of soil analysis Part 4 physical methods. Wisc. USA: Madison 255–293.
26. Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G., Mandal, A.K., & Hati, K.M. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer NPK on three cropping system in

vertisoils of semi-arid tropics. Dry matter yield, nodulation, chlorophyll content and enzyme activity. *Bioresource Technology, 95*, 85-93. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.011

27. Glaser, B., Lehmann, J., & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal–A review. *Biology and Fertility of Soils, 35*(4), 219-230. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0466-4
28. Gunes, A., Cicek, N., Inal, A., Alpaslan, M., Eraslan, F., Guneri, E., & Guzelordu, T. (2006). Genotypic response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars to drought stress implemented at pre-and post-anthesis stages and its relations with nutrient uptake and efficiency. *Plant Soil and Environment, 52*, 868- 876. https://doi.org/10.17221/3454-PSE
29. Hayashi, H., & Hanada, K. (1985). Effects of soil water deficit on seed yield and yield components of safflower. *Japanese Journal of Crop Science, 54*, 346-352. https://doi.org/10.1626/jcs.54.346
30. Helmke, P., Sparks, D., Page, A., Loeppert, R., Soltanpour, P., Tabatabai, M., Johnston, C., & Sumner, M. (1996). Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of soil analysis Part 3 chemical methods 551–574.
31. Herath, H.M.S.K., Camps-Arbestain, M., & Hedley, M. (2013). Effect of biochar on soil physical properties in two contrasting soils: An Alfisol and an Andisol. *Geoderma, 209*, 188-197. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.06.016
32. Hassanpour Lescokelaye, K., Ahmadi, J., Daneshyan, J., & Hatami, S. (2013). Changes in chlorophyll, protein and antioxidant enzymes on durum wheat under drought stress. *Journal of Crop Breeding, 1*, 76-87. (In Persian with English abstract)
33. Hosseinzadeh, S.R., Amiri, H., & Ismaili, A. (2016). Effect of vermicompost fertilizer on photosynthetic characteristics of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under drought stress. *Photosynthetic, 54*, 87-92.
34. Hussain, M.I., Lyra, D.A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and drought stresses in safflower: A review. *Agronomy for Sustainable Development, 36*(1), 4-18. http://dx.doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8
35. Ippolito, J.A., Laird, D.A., & Busscher, W.J. (2012). Environmental benefits of biochar. *Journal of Environmental Quality, 41*(4), 967-972. https://doi.org/10.2134/jeq2012.0151
36. Kafi, M., & Rostami, M. (2007). Yield characteristics and oil content of three safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research. 5*(1), 121-132. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v5i1.903
37. Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota–A review. *Soil Biology and Biochemistry, 43*(9), 1812-1836. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022
38. Lin, C.C., & Kao, C.H. (2006). Abscisic acid induced changes in cell wall peroxidase activity and hydrogen peroxide level in roots of rice seedlings. *Plant Science, 2*, 323-329. https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00396-4
39. Lindsay, W.L., & Norvell, W.A. (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal, 42*, 421–428. https://doi.org/10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
40. Liu, F., Andersen, M.N., & Jensen, C.R. (2004). Root signal controls pod growth in drought stressed soybean during the critical, abortion sensitive phase of pod development. *Fields Crop Research, 85*, 159-166. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00164-3
41. Liu, Z., Chen, X., Jing, Y., Li, Q., Zhang, J., & Huang, Q. (2014). Effects of biochar amendment on rapeseed and sweet potato yields and water stable aggregate in upland red soil. *Catena, 123*, 45-51. https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.07.005
42. Manya, J.J. (2012). Pyrolysis for biochar purposes: A review to establish current knowledge gaps and research needs. *Environmental Science and Technology, 46*, 15. 7939-7954. https://doi.org/10.1021/es301029g
43. Melo, C.A., Coscionc, A.R., Aberu, C.A., Puga, A.P., & Camargo, O.A. (2013). Influence of pyrolysis temperature on cadmium and zinc sorption capacity of sugar cane straw derived biochar. *Bioresources, 8*(4), 4992-5004.
44. Mendez, A., Gomez, A., Paz-Ferreeiro, J., & Gasco, G. (2012). Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere, 89*, 1354-1359. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.092
45. Najafi-Ghiri, M., Bijanzadeh E., & Bahadori, F. (2022a). Effect of wheat-derived biochar on soil nutrients

availability and nutrients uptake by two safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars under water stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 53*, 1592-1606. https://doi.org/10.1080/00103624.2022.2060251

46. Najafi-Ghiri, M., Bijanzadeh, E., & Ghaedi, M. (2022b). Soil potassium relations in an arid soil treated with biochar and chemical fertilizers after cultivation with safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under water stress. *Arid Land Research and Management, 36*, 1-20. https://doi.org/10.1080/15324982.2022.2158960
47. Navabpour, S., Ramezanpour, S.S., & Mazandarani, A. (2015). Evaluation of enzymatic and non-enzymatic defense mechanism in response to drought stress during growth stage in soybean. *Technologies Crops Production, 2*(15), 39-52.
48. Noroozi, M., & Kazemini, S.A.R. (2012). Effect of water stress and plant density on growth and seed yield of safflower. *Iranian Journal Field Crops Research. 10*, 781-788. (In Persian with English abstract)
49. Olsen S.R., (1954). Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. United States Department of Agriculture. Washington.
50. Peng, J., Han, X., Li, N., Chen, K., Yang, J., Zhan, X., Peyiu, L., & Liu, N. (2021). Combined application of biochar with fertilizer promotes nitrogen uptake in maize by increasing nitrogen retention in soil. *Biochar, 3*, 367-379. https://doi.org/10.1007/s42773-021-00090-6
51. Rahbarian, R., Khavari-Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A., Najafi, F., & Roshanfekr, M. (2012). Use of biochemical indices and antioxidant enzymes as a screening technique for drought tolerance in chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). *African Journal of Agricultural Research, 7*, 5372-5380. https://doi.org/10.5897/AJAR11.846
52. Rajkovich, S., Enders, A., Hanley, K., Hyland, C., Zimmerman, A.R., & Lehmann, J. (2012). Corn growth and nitrogen nutrition after addition of biochars with varying properties to a temperate soil. *Biology and Fertility of Soils, 48*, 271-284. http://dx.doi.org/10.1007/s00374-011-0624-7
53. Rhoades, J.D. (1996). Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. In: Methods of soil analysis Part 3 chemical methods. Wisc. USA: Madison. 417–435.
54. Sajedi, A., & Sajedi, N.A. (2018). Effect of application biochar and priming and foliar application with water and salicylic acid on physiological traits of dry land safflower. *Iranian Journal of Field Crops Research, 17*, 305-316. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2019.1823.1426
55. Santosa, C. (2004). Regulation of chlorophyll biosynthesis and degradation by salt stress in sunflower leaves. *Scientia Horticultura, 10*, 93. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2004.04.009
56. Shiresmaeili, G., Maghsoudi mood, A.A., Khajoueinezhad, G., & Abdolshahi, R. (2017). Effect of irrigation cut treatment on yield and yield components of ten safflower cultivars in spring and summer crops. *Applied Research in Field Crops, 30*(3), 1-17. (In Persian with English abstract)
57. Sirous Mehr, A., Bardel, J., & Mohammadi, S. (2014). Changes of germination properties, photosynthetic pigments and antioxidant enzymes activity of safflower as affected by drought and salinity stresses. *Journal of Crop Ecophysiology, 4*, 517-534. (In Persian with English abstract)
58. Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy, 105*, 47-82. https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9
59. Sohi, S.P. (2012). Carbon storage with benefits. *Science, 338*(6110), 1034-1035. https://doi: 10.1126/science.1225987
60. Song, W., & Guo, M.X. (2012). Quality variations of poultry litter biochar generated at different pyrolysis temperatures. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 94*, 138-145. https://doi.org/10.1016/j.jaap.2011.11.018
61. Sun, Y., Gao, B., Yao, Y., Fang, J., Zhang, M., Zhao, Y., Chen, H., & Yang, L. (2014). Effect of feedstock type, production method and pyrolysis temperature on biochar and hydrobiochar properties. *Chemical Engineering Journal, 240*, 574-578. https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.10.081
62. Taheri, S., Gholami, A., Abbasdokht, H., & Makarian, H. (2017). Alleviation of water deficit stress effects on safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars by seed priming. *Journal of Crops Improvement, 2*, 478-502. (In Persian with English abstract) . https://doi.org/10.22059/jci.2018.244528.1858
63. Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K.Y., Downie, A., Joseph, S., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil, 327*(1), 235-246. http://dx.doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x
64. Yang, X., Liu, J., McGrouther, K., Hung, H., Lu, K., Gao, X., He, L., Lin, X., Che, L., Ye, Z., & Wang, H. (2016).

Effect of biochar on the extractability of heavy metals (Cd, Cu, Pb and Zn) and enzyme activity in soil. *Environmental Science and Pollution Research*, *22*, 3183-3190. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4233-0

65. Zhou, R., Yu, X., Ottosen, C.O., Rosenqvist, E., Zhao, L., Wang, Y., & Wu, Z. (2017). Drought stress had a predominant effect over heat stress on three tomato cultivars subjected to combined stress. *BMC Plant Biology*, *17*, 24-33. https://doi.org/10.1186/s12870-017-0974-x

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 287-315

Evaluation of Local Methods Employed to Increase Biodiversity in the Agroecosystems: A Case Study in Western Khorasan Province

Maryam Javadi[1], Mohsen Jahan[2]* and Mehdi Nassiri-Mahallati[2]

1 and 2- Ph.D. Student and Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), Mashhad, Iran.
(*- Corresponding author Email: jahan@um.ac.ir)

Received: 22-01-2023
Revised: 01-04-2023
Accepted: 08-04-2023
Available Online: 08-04-2023

How to cite this article:
Javadi, M., Jahan, M., & Nassiri Mahallati, M. (2024). Evaluation of local methods employed to increase biodiversity in the agroecosystems: A case study in western Khorasan Province. *Journal of Agroecology*, *16*(2), 287-315. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80749.1140

Introduction

Among the approaches that have received attention in recent years to sustain agroecosystems is the identification and employment of traditional/indigenous/local knowledge and strategies of smallholder farmers around the world to solve the basic challenges of these ecosystems regarding food production. In this regard, the role and function of biodiversity as the main component of indigenous knowledge is of particular importance. At the same time, with the expansion of new agricultural solutions, the use of these farmers' approaches has decreased over time and, in some cases, has completely disappeared. Therefore, this study was conducted with the aim of identifying the indigenous methods used in the agricultural ecosystems of the Sabzevar region and their role in increasing biodiversity. Biodiversity loss has been a major concern to humans, especially during the last quarter of the previous century. Nowadays, various efforts to protect agricultural biodiversity are emerging that seem not enough. Biodiversity in agricultural ecosystems causes effective control of weeds, pests and diseases and greater resistance to changing environmental conditions and leads to better management of agricultural systems and increased food security. Additionally, biodiversity is carefully managed and nurtured to interface with hydrological and nutrient cycling to provide for ecosystem resilience, food security and diversity, and risk minimization. Although potentially less important in the short term, biodiversity, encompassing variation from within species to across landscapes, may be crucial for the longer-term resilience of ecosystem functions and the services that they underpin. Accordingly, in this research, the methods employed by local farmers to increase biodiversity were investigated.

Materials and Methods

In order to evaluate the usefulness of indigenous knowledge for assessing trends in biodiversity, a case study was undertaken in two counties, Sheshtamad and Sabzevar, in Razavi Khorasan province. This involved the use of participatory rural appraisal (PRA) techniques, including semi-structured interviews and transect walks. To study local methods employed by farmers, 453 farmers were interviewed and questions were asked to the farmers about the number of crop species and the amount of use of methods to increase biodiversity such as rotation, fallow, mixed cropping, etc.

https://doi.org/10.22067/agry.2023.80749.1140

Results and Discussion

The results showed that agricultural systems in these areas have shifted from livelihood systems to market-based systems. Local farmers in these areas used a variety of methods such as using different crops from different families, intercropping, rotation, fallow, seed exchange, integration of livestock with cropping and horticulture to increase diversity in their farms. The main common products in these two cities were plants such as wheat, barley, cotton, alfalfa and pistachios. Most of the plants used in the cultivation pattern of farmers in these cities were related to plant families such as Poaceae, Fabaceae, Malvaceae, Asteraceae, Cucurbitaceae, Amaranthaceae and Rosaceae, which had a different contribution in the cultivation pattern of the studied villages. There was a significant difference between the villages, districts and two counties in terms of the plant species and plant families used. In all the studied villages, farmers employed more than one method to increase the diversity of their farms. The fosterage of livestock and horticulture plus to cropping in these agroecosystems led to greater economic security for farmers, in particular in adverse weather conditions. In general, the results showed that rural development has led to a reduction in the use of traditional knowledge/local methods only in limited cases, and the employing of local methods in some cases has increased the net income of farmers from wheat farming systems.

Conclusion

The results approved that the farmers in these areas used different crops from different families and groups and also used methods such as intercropping, rotation, integration of livestock with cropping, fallow and seed exchange to increase the biodiversity in the three levels of species, function and ecosystem in the agroecosystems of these regions. Increasing biodiversity in agroecosystems is very important and significant issue, especially in arid and semiarid areas, because improved biodiversity in these areas can increase food and economic security to some extent. Diversification could become an essential tool for sustaining production and ecosystem services in croplands, rangelands and production forests.

Keywords: Food security, Livelihood systems, Market-based systems, Participatory Rural Appraisal (PRA), Resilience

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۱۵-۲۸۷

ارزیابی روش‌های بومی مورد استفاده جهت افزایش تنوع زیستی: مطالعه موردی در بوم‌نظام‌های زراعی غرب استان خراسان رضوی

مریم جوادی[۱]، محسن جهان[۲*] و مهدی نصیری محلاتی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۲
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

چکیده

یکی از بزرگ‌ترین مشکلات بوم‌نظام‌های رایج کشاورزی از بین رفتن تنوع زیستی می‌باشد. در همین راستا، نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که کاربرد دانش بومی در این بوم‌نظام‌ها، موجب حفاظت و مدیریت تنوع زیستی می‌شود. در همین راستا، جهت بررسی روش‌های سنتی مورد استفاده برای افزایش تنوع زیستی کشاورزی در بوم‌نظام‌های زراعی، پژوهشی بر پایه روش ارزیابی مشارکت روستایی اجرا شد. اطلاعات مورد نیاز از پرسش‌نامه‌های تکمیل شده از طریق مصاحبه حضوری با ۴۵۳ کشاورز از ۱۸ روستا در دو شهرستان ششتمد و سبزوار واقع در غرب خراسان رضوی به‌دست آمد. نتایج نشان داد که اگر چه بوم‌نظام‌های کشاورزی در این مناطق از سیستم‌های معیشتی فاصله گرفته و به سمت سیستم‌های بازاربنیان سوق یافته است، امّا کشاورزان بومی در این مناطق از انواع روش‌ها مانند کشت مخلوط، کاشت گیاهان در حاشیه مزارع، تناوب، آیش، تعویض بذور، تلفیق دام در کنار زراعت و باغداری، برای افزایش تنوع در مزارع خود بهره می‌برند. از نظر نوع گیاهان و خانواده‌های گیاهی مورد استفاده، بین روستاها، بخش‌ها و دو شهرستان مورد نظر تفاوت معنی‌داری وجود داشت. در بین روستاهای مورد مطالعه، روستاهایی با آب‌وهوای مساعدتر و منابع آبی بیشتر، قادر به ارائه سیستم‌هایی با تنوع زیستی بیشتر بودند. در تمامی روستاهای مورد مطالعه، کشاورزان از بیشتر از یک روش، برای افزایش تنوع مزارع خود استفاده می‌کردند. نکته قابل توجه در مورد این سیستم‌ها، اقدام به دامپروری و باغداری در کنار زراعت بود که این مسئله موجب تاب‌آوری اقتصادی بیشتر کشاورزان به‌خصوص در شرایط نامناسب آب‌وهوایی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی مشارکتی روستایی، امنیت غذایی، تاب‌آوری، سیستم‌های بازاربنیان، سیستم‌های معیشتی

مقدمه

علی‌رغم پیشرفت‌های اخیر جهانی در بهبود امنیت غذایی (Abbasi et al., 2016)، تغییرات آب‌وهوایی، تهدیدی جدی در جهت تشدید چالش‌هایی چون قحطی و گرسنگی در سراسر جهان و به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه محسوب می‌شود (Hanjra & Qureshi, 2010). تغییرات اقلیمی مشکلات بسیاری را در مسیر تولید محصولات کشاورزی و سیستم‌های معیشتی روستایی به‌وجود می‌آورد و بدین ترتیب، افراد بسیاری که به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم از این سیستم‌ها امرار معاش می‌کنند را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Coumou & Rahmstrof, 2012). از جمله مشکلات مهم دیگری که در حال حاضر سیستم‌های رایج کشاورزی با آن دست به گریبان می‌باشند، استفاده بیش از حد از نهاده‌های کشاورزی بوده که خود این مسئله نیز به افزایش اثرات تغییر اقلیم و تشدید پیامدهای آن به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه دامن زده است (Ghanian et al., 2020). این در حالی است که مدل‌های شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی، شرایط خشک‌تری را نیز برای آینده پیش‌بینی می‌کنند

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80749.1140

(Collins et al., 2013).

تغییرات اقلیمی منجر به زوال تنوع زیستی، کاهش عملکرد و از بین رفتن محصول، تشدید کمبود آب و ایجاد محدودیت در دسترسی به آن و افزایش بیماری‌های گیاهی و فشار آفات می‌شود (Altieri et al., 2015; Howden et al., 2007; Turral et al., 2011). از سوی دیگر، فشرده‌سازی در ابعاد مکانی و زمانی که در اثر استفاده بی‌رویه از نهاده‌های برون مزرعه‌ای اتفاق افتاده است نیز موجب ایجاد بوم‌نظام‌هایی با تنوع کمتر و ریسک‌پذیری بالاتر شده است (Zhang et al., 2017). این در حالی است که کارکرد بوم‌نظام‌های طبیعی و کشاورزی بر تنوع زیستی استوار بوده و بدون شک، از دست دادن هر یک از گونه‌های جانداران، بقاء و ادامه حیات بر روی سیاره زمین را دشوار می‌سازد، چرا که امنیت غذایی بشر به این منابع وابسته است (Sanders, 2010). در حال حاضر، سرعت نابودی گونه‌های گیاهی و جانوری در اثر فعالیت‌های بشر، به‌ویژه کشاورزی صنعتی بالا بوده و این موضوع کارکرد نظام‌های اکولوژیک که با پایداری همراه می‌باشد را به مخاطره انداخته است (Ghanian et al., 2020) بنابراین، برای کاهش اثرات نامطلوب تغییرات اقلیمی و آب‌وهوایی بر کشاورزی، باید از روش‌هایی جهت سازگاری این بوم‌نظام‌ها با تغیرات ایجاد شده استفاده نمود (Garibaldi et al., 2017). که یکی از راهکارهای کلیدی در این مورد، بازگرداندن تنوع به محیط‌های کشاورزی و مدیریت مؤثر آن می‌باشد (Koocheki et al., 2004).

از آنجا که نقش اکولوژیک تنوع در بوم‌نظام‌های زراعی فراتر از تولید مواد غذایی است و اثرات مثبتی از جمله حفظ چرخه عناصر غذایی، کنترل مؤثر علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها و مقاومت بیشتر در برابر شرایط متغیر محیطی را نیز دربرمی‌گیرد، تلاش برای حفظ و افزایش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند توازنی میان تولید محصولات غذایی و دیگر خدمات این بوم‌نظام‌ها ایجاد کند (Jackson et al., 2007). در همین راستا، دانش بومی نقش مهمی در پایدارسازی سیستم‌های کشاورزی به‌ویژه برای کشاورزی‌های کوچک مقیاس و نیمه معیشتی دارد. زیرا کشاورزان در این سیستم‌ها با عملیات زراعی و فناوری‌های بومی به‌خوبی آشنا هستند (Azizi Damirchiloo, 2012). این سیستم‌های کشاورزی سنتی که بر پایه قرن‌ها دانش و تجربه بومی بنا شده‌اند، معمولاً درجه بالایی از تنوع گیاهی را در قالب الگوهای چند کشتی، جنگل زراعی، کشت مخلوط، تناوب زراعی، گیاهان پوششی، تلفیق زراعت و دامپروری و تغییر نوع کشت به نمایش می‌گذارند (Giri et al., 2020; Hamadani et al., 2021). این نوع از تنوع زیستی به‌طور قابل توجهی در بوم‌نظام‌های کشاورزی منجر به بهبود امنیت غذایی شده و به این بوم‌نظام‌ها در احیای نقش اکولوژیکی خود کمک می‌کند (Pandey et al., 2022) بنابراین، به‌منظور سازگاری با تغییرات آب‌وهوایی و تضمین امنیت غذایی برای کاهش خطرات اقلیمی و انعطاف‌پذیرتر کردن سیستم‌های کشاورزی حیاتی می‌باشند (Renard & Tilman, 2019; Pilling et al., 2020).

اکثر محققان معتقدند که رابطه معنی‌داری بین دانش بومی جوامع محلی و ظرفیت سازگاری آن‌ها در مواجه با تغییرات اقلیمی وجود دارد. از طرفی، تجربه روشن ساخته است که دانش بومی و بسیاری از ابتکارات محلی در جامعه سنتی، به‌دلیل سازگاری و انطباق با زیست‌بوم، همان روش‌هایی هستند که رسیدن به مدیریت پایدار منابع را میسر می‌سازند (Chambers & Conway, 1992). آگاهی از دانش بومی در زمینه کشاورزی، از یک سو می‌تواند تضمین‌کننده این اصل باشد که عملیات و نهاده‌های کشاورزی منجر به فرسایش ژنتیکی و محیطی نمی‌شوند و از سوی دیگر، افزایش توجه و تحقیقات به‌منظور دستیابی به پایداری و امنیت غذایی، تنوع زیستی جانوری و گیاهی، حفظ خاک و سایر جنبه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دخیل در امر حفاظت از محیط زیست را سبب می‌شود (Tikai & Kama, 2010). سیستم‌های کشاورزی سنتی معمولاً درجه بالایی از تنوع گیاهی را در قالب الگوهای چند کشتی و جنگل زراعی (اگروفارستری[1]) پشتیبانی می‌کنند (Ainsworth et al., 2020). راهبرد (استراتژی) به حداقل رساندن خطر، از طریق کشت چندین گونه گیاهی، عملکرد را در درازمدت تثبیت می‌کند، تنوع رژیم غذایی را ارتقاء می‌دهد و حتی در سطوح پایین فناوری و منابع محدود، می‌تواند بازده را به حداکثر نزدیک سازد. اکثر سیستم‌های دهقانی با وجود استفاده اندک از نهاده‌های شیمیایی، مولد هستند و عموماً نیروی کار کشاورزی بازده بالایی به‌ازای هر واحد ورودی (نهاده) دارد. بنابراین، بقاء و دوام میلیون‌ها هکتار زمین تحت کشاورزی سنتی به‌صورت مزراع، تراس‌ها، چند کشتی‌ها، سیستم‌های جنگل زراعی و غیره، سندی دال بر راهبرد موفقیت‌آمیز سازگاری کشاورزی بومی به محیط‌های خشن و نوعی ادای احترام به "خلاقیت" کشاورزان و دهقانان بومی در سراسر کشورهای در حال

1- Agroforestry

توسعه محسوب می‌شود (Altieri, 1999).

مطالعات متعدد نیز نشان‌دهنده نقش پررنگ تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های سنتی کشاورزی می‌باشند. به‌عنوان مثال، بررسی تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی در منطقه ارومیا در کشور اتیوپی نشان داد که کشاورزان خرده‌پا، با به‌کار بردن کشت مخلوطی از گیاهان مورد کاشت، تنوع زیستی را در مزارع کوچک خود افزایش می‌دهند. عمده محصولات مورد کاشت در این مزارع گیاهانی مانند سورگوم (*Sorghum bicolor* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، پیاز (*Allium cepa* L.)، انواع لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، گندم (*Triticum aestivum* L.)، باقلا (*Vicia faba* L.)، بادام زمینی (*Arachis hypogaea* L.)، ارزن انگشتی (*Eleusine coracana* L.)، نخود (*Cicer arietinum* L.)، فلفل (*Capsicum annuum* L.)، سیب‌زمینی شیرین (*Lopmoea batatas*) و نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) بوده که در بعضی موارد به‌صورت مخلوط با یکدیگر کاشته می‌شوند. بدین ترتیب، عمده کشت مخلوط مورد استفاده در این منطقه کشت مخلوط ذرت- لوبیا، سورگوم- لوبیا و کاشت انواع محصولات در بین درختان قهوه بود. اگر چه الگوهای مخلوط مورد استفاده در این منطقه به‌دلیل کمبود آب، کوتاه‌مدت بوده، امّا به نظر می‌رسد که کشاورزان با اتخاذ چنین الگوهایی از کشت مخلوط، علاوه‌بر افزایش کارایی استفاده از منابع به مدیریت مخاطرات طبیعی نیز می‌پردازند و زیان‌های اقتصادی احتمالی را طی این شرایط به حداقل می‌رسانند (Degaga & Angasu, 2017)؛ زیرا معرفی سیستم‌های کشت مخلوط حبوبات و غلات و به‌طور کلی، سیستم‌های کشاورزی مختلط، باعث افزایش درآمد مزرعه و کاهش فشار بر منابع می‌شود (Kassie, 2011). تجزیه و تحلیل‌های مربوط به تنوع زیستی در کشور غنا شامل اکوسیستم، مدیریت آب و خاک، کشاورزی، ماهیگیری، روش‌های شکار و جمع‌آوری غذا و داروهای گیاهی نشان داد که دانش بومی در این مناطق، پتانسیل حفاظت از تنوع زیستی، در سه سطح ژن، گونه و اکوسیستم را دارا می‌باشد (Hens, 2006). کشاورزان بومی در کشور هند نیز از روش‌های مختلفی به‌منظور حفظ محیط زیست، فرهنگ بومی و منابع ژنتیکی استفاده می‌کنند که از جمله این روش‌ها، کشت مخلوط بوده و به عقیده این کشاورزان این روش منجر به کنترل آفات، حشرات و پاتوژن‌های بیماری‌زا می‌شود و همچنین، نقش مهمی در بهبود شرایط خاک خواهد داشت (Patel et al., 2020; Bisht et al., 2021).

برخی محققان، نظام چند کشتی را به‌عنوان راهکاری مناسب جهت مدیریت کشت در روستاهای منطقه مورد مطالعه معرفی و از جمله محاسن آن را کاهش خطر در برابر حوادث طبیعی، همزیستی با شرایط خشکی و خشکسالی، مقابله با خسارت بادهای گرم و خشک، مقابله با نور شدید و آفتاب‌سوختگی معرفی کرده‌اند. ساکنان بومی سواحل شمال غربی اقیانوس آرام در گذشته و به‌طور سنتی از حدود ۳۰۰ گونه گیاهی برای تولید غذا، دارو، پوشاک و اهداف دیگر استفاده می‌کردند که کشت برخی از این گونه‌های گیاهی امروزه نیز ادامه دارد (Deur & Turner, 2005). بررسی تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی در شمال کشور اتیوپی نشان داد که کشاورزان بومی در این منطقه با به‌کارگیری روش‌های سنتی به حفاظت و بهبود تنوع زیستی مزارع خود در سطح گونه و چشم‌انداز می‌پردازند، به‌طوری‌که آن‌ها با کاشت درختان مختلف به‌صورت پراکنده و در مساحت گسترده نه‌تنها موجب بهبود تولید محصولات کشاورزی در این مناطق می‌شوند، بلکه با این روش از منابع آب و خاک محافظت نموده و همچنین، نقش مهمی در حفظ و نگهداری گونه‌های چوبی ایفا می‌کنند. به‌کار بردن این سیستم‌های جنگل زراعی در این منطقه، از طرفی موجب حفظ گونه‌های گیاهی و جانوری بسیاری شده و از دیگر سو، به تنوع درآمد بومیان منجر خواهد شد و بنابراین، نقش مهمی در پایداری و تاب آوری این بوم‌نظام‌ها خواهد داشت (Gebrewahid & Abrehe, 2019). سیستم‌های جنگل زراعی از جمله مهم‌ترین ارائه‌دهندگان خدمات اکوسیستمی بوده که دارای کارکردها متفاوت می‌باشند. تلفیق درختان و گیاهان زراعی و یا حیوانات در یک سیستم جنگل زراعی موجب افزایش حاصلخیزی خاک، کاهش فرسایش، بهبود کیفیت آب، کنترل آفات، افزایش تنوع زیستی، جنبه‌های زیبایی‌شناختی و جذب کربن می‌شود (Ainsworth et al., 2020).

از جمله راهکارهای دیگر مورد استفاده توسط کشاورزان در جوامع بومی، کاربرد تناوب زراعی می‌باشد که به نوبه خود منجر به افزایش تنوع بوم‌نظام‌های زراعی در بعد زمان می‌شود. کشاورزان با استفاده از این روش به حفظ ظرفیت تولیدی خاک کمک کرده و خسارت آفات و بیماری‌ها را نیز به حداقل می‌رسانند و با مدیریت بهتر نیاز غذایی محصولات، استفاده از مواد شیمیایی را کاهش و عملکرد را افزایش می‌دهند. همچنین، تناوب زراعی منجر به بهبود ساختمان خاک و افزایش توانایی ذخیره کربن در خاک خواهد شد (Kumar, 2020). در

همین راستا، نتایج تحقیق گیزاو (Gizaw et al., 2018) نشان داد که در ناحیه شرقی شیوا در کشور اتیوپی، ۹۶ درصد کشاورزان بومی مورد مصاحبه، تناوب زراعی را در حاصلخیزی خاک و افزایش عملکرد محصولات مفید دانسته و از آن به‌منظور افزایش بهره‌وری در مزارع خود استفاده می‌کنند. این کشاورزان همچنین از لگوم‌ها به‌عنوان مهم‌ترین عامل در افزایش حاصلخیزی مزارع بهره می‌برند.

تحقیق انجام شده در بین بومیان قبیله ماسایی در تانزانیا نشان داد که کشاورزان در این منطقه در کنار کشاورزی به دامپروری نیز می‌پردازند و بدین ترتیب، تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی خود را بهبود می‌بخشند. این بومیان که در مجاورت مناطق حفاظت شده زندگی می‌کنند، دارای فرهنگ سنتی و تجربه بسیار طولانی در حفاظت از محیط زیست می‌باشند و این مسئله باعث شده است که مردم بومی ماسایی تنوع زیستی مناظر اطراف خود را بدون آسیب رساندن به اکوسیستم‌های طبیعی حفظ کنند (Nelson, 2012). کشاورزان سنتی همچنین تنوع زیستی را یکی از شاخصه‌های مهم کیفیت خاک می‌دانند (Barrios, 2007) و برای تشخیص قابلیت زمین برای کشت، از شاخص‌های زیستی بهره می‌برند (Mairura et al., 2007). به‌عنوان نمونه در کنیا، کشاورزان حضور کرم خاکی و لارو سوسک را معیاری برای یک مزرعه خوب و مولد می‌دانند (Muragea et al., 2000).

با استناد بر منابع علمی و با توجه به مطالب بیان شده، تردیدی وجود ندارد که دانش بومی منبع ارزشمندی برای مدیریت مناطق خشک و سایر اکوسیستم‌ها بوده که با بهبود تنوع زیستی در سه سطح ژن، گونه و اکوسیستم منجر به افزایش کارایی منابع موجود در بوم‌نظام‌ها و در نتیجه، افزایش تاب‌آوری و برگشت‌پذیری این سیستم‌ها در برابر تغییرات شدید آب‌وهوایی و اقلیمی می‌شوند. بااین‌حال، در بسیاری از نقاط جهان از جمله ایران، این استراتژی‌های مدیریت محلی به‌دلیل تغییرات سریع در محیط‌های بیوفیزیکی و اجتماعی- اقتصادی در حال فرسایش یا از بین رفتن هستند، زیرا در دهه‌های اخیر تمرکز بر تولید کشاورزی، اختصاصی‌سازی و تأمین نیاز بازارهای جهانی منجر به کاهش حمایت از تحقیق و توسعه برای سیستم‌های متنوع و مبتکرانه شده است. نتیجه این امر از بین رفتن تنوع زیستی، تخریب اکوسیستم، از بین رفتن معیشت مردم و گسترش فقر بوده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که قبل از اینکه این میراث اکولوژیک در عصر جدید برای همیشه از دست برود، باید راهبردهای تحقیقاتی جدید تعریف شده و به‌سرعت اجرایی شوند. در واقع، پاسخگویی به این چالش اساسی، می‌تواند یکی از مهم‌ترین وظایف اکولوژیست‌ها در قرن ۲۱ باشد (Boerma & Koohafkan, 2004; Altieri & Nicholls, 2005). به همین دلیل، تحقیق حاضر با هدف شناسایی روش‌های بومی مورد استفاده توسط کشاورزان به منظور افزایش تنوع زیستی و میزان استفاده از این روش‌ها، در روستاهای شهرستان‌های ششتمد و سبزوار انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق طی سال‌های ۹۷- ۱۳۹۶ در دو شهرستان سبزوار و ششتمد واقع در غرب استان خراسان رضوی انجام شد.

شهرستان سبزوار، یکی از قدیمی‌ترین مناطق ایران می‌باشد که بین ″۷ ′۹ °۳۶ تا ″۳۰ ′۲۲ °۳۶ عرض شمالی و ″۳۰ ′۳۷ °۵۷ تا ″۱۰ ′۴۶ °۵۷ طول شرقی با مساحت ۲۰۵۰۲ کیلومترمربع و در ارتفاع ۹۷۰ متری از سطح دریا واقع شده است (Ki Khosravi & Yarmoradi, 2013). این شهرستان در دهه‌های گذشته به‌دلیل فرآیند صنعتی شدن و تنگناهای محیطی همچون بروز خشکسالی‌ها و به دنبال آن مهاجرت جمعیت از روستا به شهر، رشد بسیار سریعی داشته و بر محیط پیرامون خود تأثیرات شدیدی بر جای گذاشته است (Akbari et al., 2013). جمعیت این شهرستان حدود ۲۴۳۷۰۰ نفر است و دارای دو بخش (مرکزی و روداب) با۳۴۰ روستا بوده که تنها ۱۲۹ روستای آن دارای سکنه می‌باشد (Statistical Center of Iran, 2022).

شهرستان ششتمد تا سال ۱۳۹۹ به‌عنوان یکی از بخش‌های شهرستان سبزوار محسوب می‌شد و بعد از آن، با توجه به تقسیمات سیاسی صورت گرفته از شهرستان سبزوار جدا و به‌عنوان شهرستانی مستقل در نظر گرفته شد. جمعیت این شهرستان حدود ۲۴۲۶۱ نفر است و دو بخش (شامکان و مرکزی) با ۵۳ روستای مسکونی دارد (Statistical Center of Iran, 2022).

میانگین بارش سالانه در این دو شهرستان ۱/ ۲۰۵ میلی‌متر بوده که این میزان بارندگی، هم از نظر میزان و پراکنش در طول سال و هم از نظر توزیع مکانی، ناموزون می‌باشد؛ به‌طوری‌که ۵۰/۸ درصد بارندگی در این دو شهرستان در فصل زمستان، ۲۸/۶ درصد در فصل بهار، ۱۹/۳ درصد در فصل پائیز و ۱/۳ درصد نیز در فصل تابستان

اتفاق می‌افتد (Ki Khosravi & Yarmoradi, 2013). بنابراین، ویژگی‌های محیطی این دو شهرستان از یک سو و فعالیت غالب کشاورزی منطقه و غلبه‌ی محدودیت‌های زیست- محیطی از سویی دیگر، کشاورزان را به به‌کارگیری شیوه‌های بومی مناسب برای مدیریت منابع موجود رهنمون ساخته و موجب سازگاری این کشاورزان با محیط اطراف خود شده است.

جامعه‌ی آماری و نمونه‌گیری

برای مشخص نمودن حجم نمونه، ابتدا از روش نمونه‌گیری خوشه‌ای و در مرحله بعد از نمونه‌گیری تصادفی استفاده شد، به‌طوری‌که در ابتدا هرکدام از شهرستان‌های سبزوار و ششتمد و در مرحله بعد هرکدام از بخش‌های این شهرستان‌ها (بخش‌های مرکزی و روداب مربوط به شهرستان سبزوار و بخش‌های مرکزی و شامکان مربوط به شهرستان ششتمد) به‌عنوان یک خوشه در نظر گرفته شدند و سپس، با توجه به تعداد روستای موجود در هر بخش، ۲۰ درصد روستاها به‌طور تصادفی انتخاب و از هر روستا نیز ۱۰ درصد از جمعیت کشاورزان به‌طور تصادفی مورد مصاحبه قرار گرفتند. لازم به ذکر است که در ابتدا برای مشخص شدن حجم کلی نمونه از فرمول کوکران (با دقت ۹۵ درصد) استفاده شد و واریانس براساس نتایج مصاحبه با ۳۰ کشاورز به‌دست آمد و براساس معادله کوکران حجم نمونه مورد نظر ۳۷۳ نفر برآورد گردید. البته جهت اطمینان از شناسایی دقیق‌تر روش‌های بومی مورد استفاده در منطقه حجم نمونه ۲۵ درصد بیشتر انتخاب شد و در نهایت، با ۴۵۳ کشاورز در ۱۸ روستا مصاحبه شد.

شهرستان سبزوار و ششتمد هر یک دارای دو بخش بوده (شکل ۱)، و در مجموع، این دو شهرستان دارای ۱۸۲ آبادی مسکونی می‌باشند که با توجه به محدود بودن جمعیت و سطح زمین‌های کشاورزی در بعضی روستاها، در این تحقیق، تنها روستاهایی که جمعیت بالای ۲۰۰ نفر داشتند (۸۹ روستا در مجموع دو شهرستان)، جزء جامعه آماری برای نمونه‌گیری قرار گرفتند. بنابراین نمونه‌گیری و مصاحبه با کشاورزان در ۱۸ روستا صورت گرفت. بدین ترتیب، در بخش مرکزی شهرستان سبزوار و در روستاهای رباط سرپوش، افچنگ، باغان، ایزی، ابارش، حسین‌آباد گنجی و قره قلی و در بخش روداب این شهرستان، در روستاهای شمس‌آباد، برآباد، ملوند و درقدم با کشاورزان مصاحبه شد. در بخش مرکزی شهرستان ششتمد در روستاهای بجدن، مج و تندک و در بخش شامکان آن، روستاهای شامکان، حسین‌آباد، یحیی‌آباد و بیروت به‌عنوان نمونه‌ای از جامعه آماری انتخاب شدند و مصاحبه با کشاورزان در این روستاها صورت گرفت.

روش پژوهش

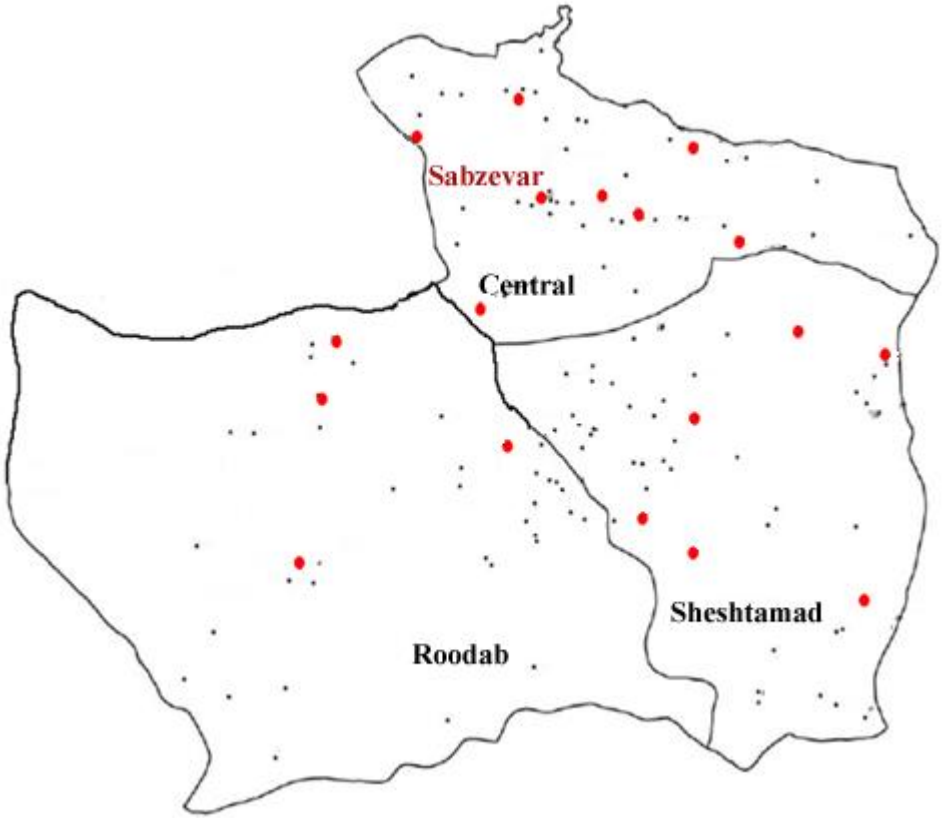
تحقیق مورد نظر از نوع کیفی و روش آن بر پایه تحقیقات پیمایشی بود، بنابراین به‌منظور دست‌یابی به اهداف پژوهش، از روش ارزیابی مشارکتی روستایی (PRA[1]) استفاده شد. روش ارزیابی مشارکتی روستایی به‌عنوان روش تحقیقی کیفی به‌وسیله گرنداستف و همکاران، در سال ۱۹۸۷ ارائه شده است (Rafifar, 2012). انجام این روش درصورت نزدیکی به منبع امکان‌پذیر بوده و برداشت و درک موقعیت منابع و مشکلات از جانب کشاورز، در یادگیری و درک این روش مهم می‌باشند (Rajasekaran, 1993). معمولاً جهت انجام بهتر و رفع محدودیت‌های روش ارزیابی مشارکتی روستایی، تکنیک‌ها و ابزارهایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بسیاری از این روش، تکنیک و ابزارها، براساس توانایی کشاورزان برای استخراج، ارزیابی، درک و اجتناب از سوء تفاهم‌ها در مورد دانش بومی انتخاب می‌شوند (Ahmadrash & Danesh Mehr, 2013). بدین منظور و به جهت انجام هرچه بهتر این پژوهش، از فنون پژوهشی مرتبط با دانش بومی نظیر مشاهده مستقیم و مصاحبه به‌صورت فردی و گروهی استفاده شد. جامعه آماری پژوهش نیز، شامل کشاورزان شهرستان‌های سبزوار و ششتمد بود. بنابراین، بیشتر اطلاعات مورد نیاز از طریق ارتباط مستقیم محقق با پاسخگو گردآوری شد.

ابزار پژوهش

هدف کلی از انجام تحقیق حاضر، مطالعه و استخراج دانش بومی در زمینه راهکارهای افزایش تنوع زیستی موجود در مزارع و همچنین شناسایی میزان استفاده از این روش‌ها در دو شهرستان سبزوار و ششتمد بود. بنابراین، در راستای رسیدن به این اهداف، پرسش‌نامه‌ای شامل سؤال‌های باز و بسته طراحی و مورد استفاده قرار گرفت. بدین ترتیب که در ابتدا سؤال‌های مربوط به ویژگی‌های جمعیت‌شناسی مانند سن، سطح تحصیلات، میزان تجربه کاری، اهداف کشاورزی و منابع اطلاعات تکنولوژیکی از کشاورزان پرسیده شد. بخش بعدی

1- Participatory Rural Appraisal

پرسش‌نامه شامل دانش بومی کشاورزان در زمینه حفظ تنوع زیستی بود که در این بخش از پرسش‌نامه به بررسی محصولات متنوع مورد کاشت کشاورزان، روش‌های مورد استفاده برای افزایش تنوع زیستی در مزارع کشاورزان (از جمله کشت مخلوط، کشت ارقام مختلف، تناوب زراعی، تلفیق دام و زراعت و غیره) پرداخته شد (Toledo, 2013).



شکل ۱- نقشه بخش‌های شهرستان‌های ششتمد و سبزوار به همراه روستاهای هر بخش
Fig. 1- Map of Sheshtamad and Sabzevar counties including their villages
روستاهای بررسی شده با دوایر قرمز رنگ مشخص شده‌اند
The surveyed villages are shown with red circles

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای آگاهی از همخوانی محتوای پرسش‌نامه با اهداف تحقیق، قابلیت اعتماد یا روایی آن سنجیده شد. بدین منظور، از نظرات و توصیه‌های افراد متخصص بهره‌گیری و اشکالات موجود در پرسش‌نامه مورد نظر اصلاح گردید. برای تعیین پایایی علمی یا اعتبار ابزار تحقیق (که نشان‌دهنده همبستگی درونی سؤالات است) نیز از آزمون آلفای کرونباخ با کمک نرم‌افزار SPSS Ver. 25 استفاده شد، بدین ترتیب که در ابتدای تحقیق تعداد ۳۰ پرسش‌نامه در بین کشاورزان تکمیل و ضریب آلفای کرونباخ آن محاسبه شد که ضریب به‌دست آمده معادل ۰/۸۴ و در دامنه میزان اعتبار قابل قبول و مطلوبی قرار گرفت. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ها، ابتدا تمام روش‌های به‌کار برده شده توسط کشاورزان، خلاصه، کدگزاری و در نرم‌افزار Excel وارد گردید و در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها بر مبنای تعیین فراوانی و فراوانی درصدی تعداد پاسخ‌های هر سؤال با استفاده از آزمون کای اسکوئر و نرم‌افزار Minitab Ver. 17 انجام شد.

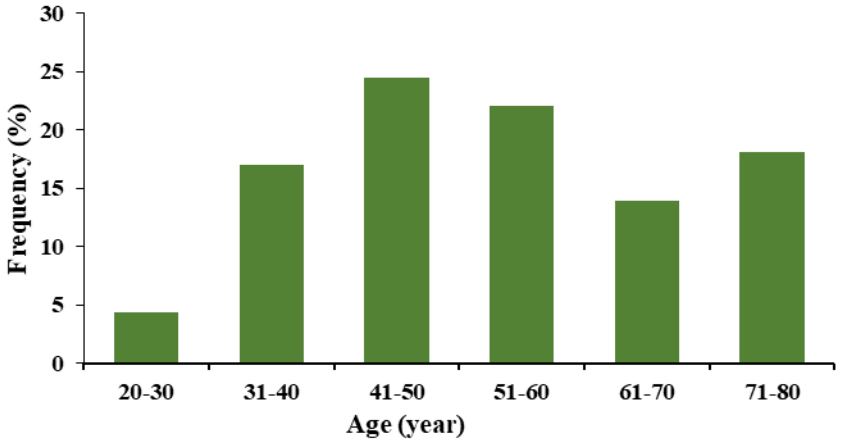
نتایج و بحث

ویژگی‌های جمعیت‌شناسی کشاورزان مشارکت‌کننده

گروه‌های سنی: از کل کشاورزان مشارکت‌کننده در این

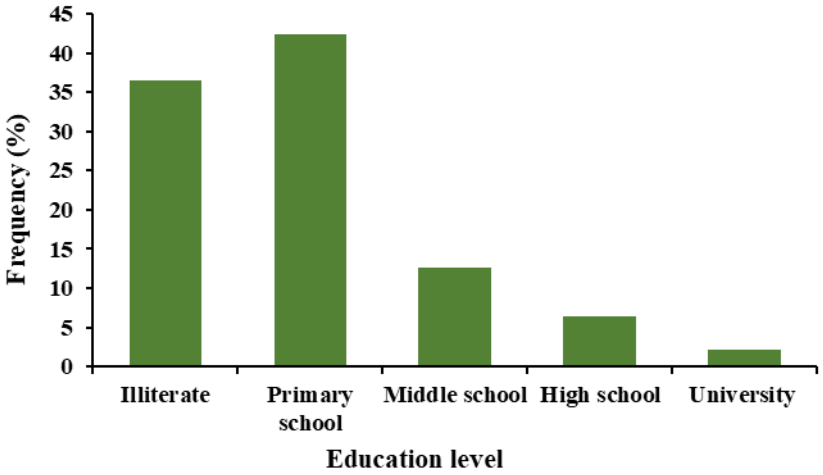
تحقیق (در هر دو شهرستان) به‌ترتیب ۲۵ و ۲۲ درصد در گروه سنی ۴۱ تا ۵۰ و ۵۱ تا ۶۰ سال قرار داشتند و تنها چهار درصد از کشاورزان در گروه سنی ۲۰ تا ۳۰ سال بودند. ۳۲ درصد از کشاورزان مورد مصاحبه نیز بالای ۶۰ سال سن داشتند (شکل ۲) و از نظر توزیع گروه‌های سنی تفاوت قابل توجهی بین دو شهرستان مشاهده نشد.

تحصیلات: در دو شهرستان مورد مطالعه گروه‌های بی‌سواد یا دارای تحصیلات ابتدایی به‌ترتیب ۳۷ و ۴۲ درصد کشاورزان را شامل شدند و تنها ۲۱ درصد از کشاورزان مشارکت‌کننده در تحقیق دارای مدرک تحصیلی سیکل و بالاتر بودند که در این بین، تنها دو درصد از کشاورزان تحصیلات دانشگاهی داشتند (شکل ۳).



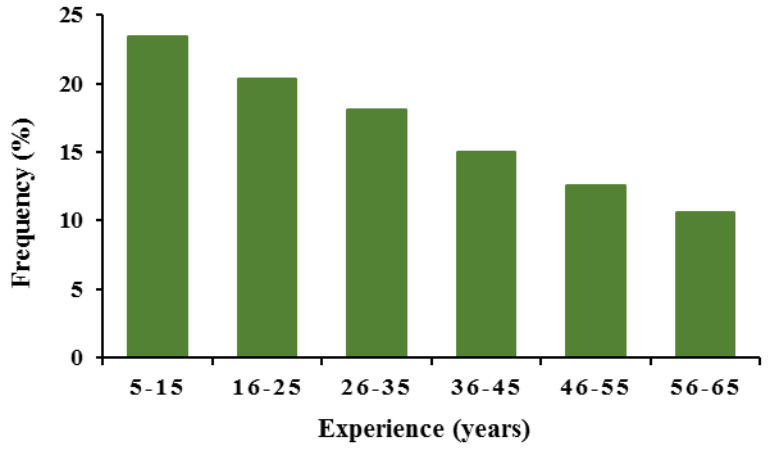
شکل ۲- توزیع فراوانی گروه‌های سنی برای کل کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان سبزوار و ششتمد

Fig. 2- Frequency distribution for age groups of total participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties



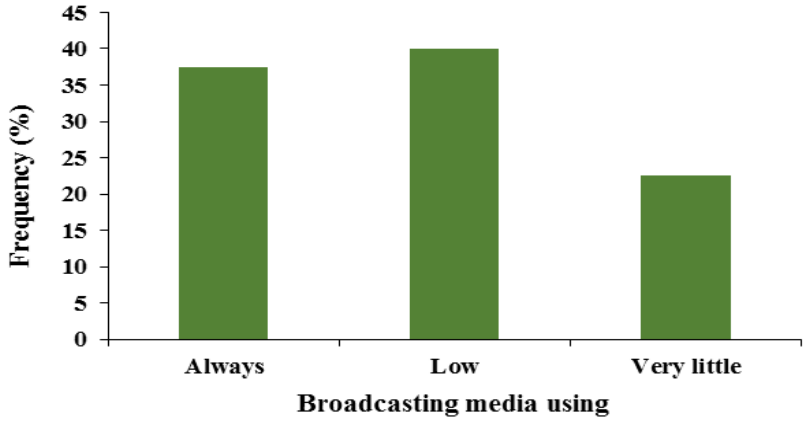
شکل ۳- توزیع فراوانی سطح تحصیلات برای کل کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان سبزوار و ششتمد

Fig. 3- Frequency distribution for education level of total participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties



شکل ٤- توزیع فراوانی سابقه فعالیت کشاورزی برای کل کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان سبزوار و ششتمد

Fig. 4- Frequency distribution of experience in agricultural activities for total participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties.



شکل ٥- توزیع فراوانی استفاده از رسانه برای کل کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان سبزوار و ششتمد

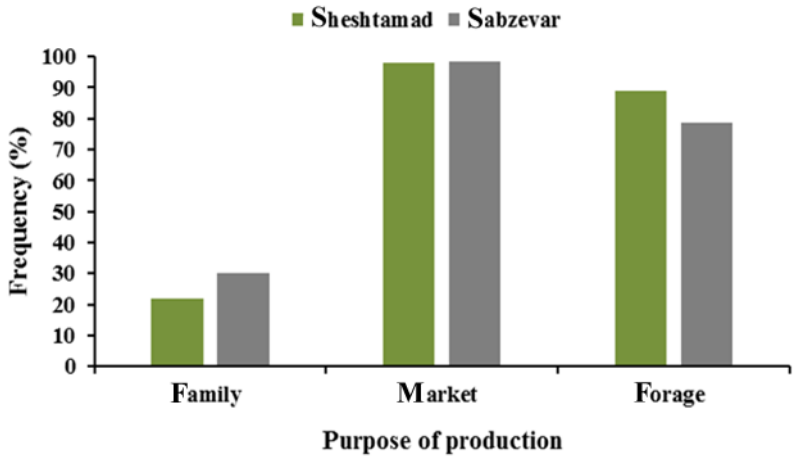
Fig. 5- Frequency distribution of using media for total participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties

تجربه شغلی: نتایج همچنین نشان داد که ۲۳ و ۲۰ درصد از کشاورزان مشارکت‌کننده در تحقیق، به‌ترتیب تجربه کشاورزی بین ۵ تا ۱۵ و ۱۶ تا ۲۵ سال داشته و حدود ۴۰ درصد از کشاورزان در شهرستان‌های مورد مطالعه، سابقه کاری بالاتر از ۳۶ سال داشتند (شکل ۴).

ارتباط رسانه‌ای: بیشترین رسانه قابل دسترس و مورد استفاده برای کشاورزان مورد مطالعه در دو شهرستان، رادیو و تلویزیون بود که به‌میزان متفاوت و اندکی در بین کشاورزان مورد استفاده قرار گرفت، به‌طوری‌که تنها ۳۸ درصد از کشاورزان به‌طور دائم و روزمره با این رسانه در ارتباط بوده و ۴۰ درصد نیز به‌میزان کمتری از آن بهره می‌بردند. میزان استفاده ۲۲ درصد از کشاورزان از این رسانه نیز بسیار محدود بود (شکل ۵).

بررسی کلی بوم‌نظام‌های زراعی در شهرستان‌های سبزوار و ششتمد نشان داد که کشاورزی معیشتی سهم بسیار اندکی در این مناطق داشته و هدف اصلی تولید به‌منظور عرضه به بازار و تأمین علوفه می‌باشد، به‌طوری‌که در شهرستان ششتمد ۹۸ و در شهرستان سبزوار ۹۸/۴ درصد از کشاورزان، محصولات خود را با هدف ارائه به بازار تولید می‌کردند (شکل ۶). اگر چه تولید علوفه به‌تنهایی، هدف

هیچ‌کدام از کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان مورد نظر نبود، امّا تلفیق دائمی دام در کنار زراعت از ویژگی‌های بارز این بوم‌نظام‌ها بوده که خود این امر سطح تولید علوفه در کنار تولید محصولات قابل عرضه به بازار را افزایش داده است، به‌طوری‌که در این دو شهرستان به‌ترتیب ۸۹ و ۷۸/۷ درصد کشاورزان در کنار تولید محصولات برای عرضه به بازار، به تولید علوفه نیز می‌پردازند. به‌علاوه در هر دو شهرستان، تنها تعداد معدودی از کشاورزان در کنار تولید علوفه و محصولات بازاربنیان، تولید برای مصرف خانواده نیز داشتند (به‌ترتیب ۲۲ و ۳۰ درصد برای شهرستان‌های ششتمد و سبزوار) (شکل ۶). به نظر می‌رسد که به‌مرور زمان، تغییرات اقلیمی به‌خصوص کمبود آب در این مناطق، موجب تغییر در الگوی کاشت و بنابراین، حذف محصولاتی از مزراع کشاورزان شده که در دهه‌های گذشته سهم بسزایی در تأمین غذای کشاورزان داشته‌اند. از دلایل دیگر تغییر در الگوی کاشت کشاورزان در این مناطق، می‌توان به تمایل جهت دستیابی به الگوی اقتصادی‌تر و بنابراین، حذف محصولات حاشیه‌ای و کم‌بازده اشاره کرد. از طرفی، کم‌رنگ شدن روش‌های سنتی تولید غذا نیز از دلایل دیگری می‌باشد که نظام‌های سنتی معیشتی در این منطقه را به‌سمت نظام‌های بازاربنیان سوق داده است.



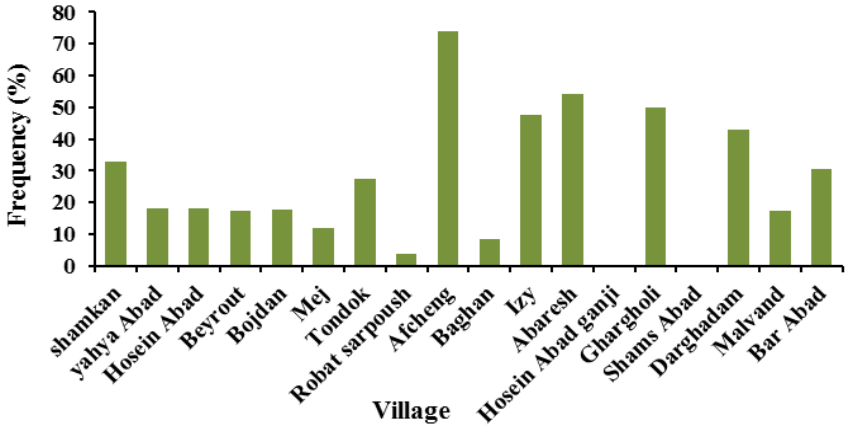
شکل ٦- توزیع فراوانی هدف اصلی تولید برای کشاورزان مشارکت‌کننده به تفکیک در دو شهرستان سبزوار و ششتمد

Fig. 6- Frequency distribution of the main production purposes for participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties

به‌طور کلی، اگر چه سهم سبد غذایی کشاورزان از محصولات تولیدی در بوم‌نظام‌های زراعی در دو شهرستان سبزوار و ششتمد اندک بود، امّا مقایسه روستاهای مورد مطالعه در این دو شهرستان نشان داد که سهم این روستاها از محصولات تولیدی برای مصرف خانوار متفاوت بوده و حتی در بعضی موارد محصولات تولیدی در این بوم‌نظام‌ها در سبد غذایی کشاورزان نقش چشمگیری داشت (شکل ۷). به‌عنوان نمونه، در روستای افچنگ از شهرستان سبزوار ۷۳/۹ درصد کشاورزان از محصولات تولیدی برای مصرف خانگی نیز استفاده می‌کردند. در دو روستای ابارش و ایزی نیز به‌طور میانگین ۵۰ درصد کشاورزان محصولات تولیدی خود را در کنار عرضه به بازار برای مصرف خانواده نیز به‌کار می‌بردند (شکل ۷). به نظر می‌رسد که به‌دلیل متفاوت بودن شرایط آب‌وهوایی این روستاها در مقایسه با روستاهای دیگر واقع در دو شهرستان، کشاورزان قادر به وارد کردن محصولات بیشتر و متفاوت‌تری در الگوی کشت خود بوده و بنابراین، در این روستاها، مطلوب‌تر بودن شرایط آب‌وهوایی منجر به تنوع گونه‌ای بیشتر شده است. از جمله محصولاتی که موجب متفاوت‌تر شدن الگوی کشت این سه روستا در مقایسه با روستاهای دیگر شده بود، درختانی مانند زردآلو، گیلاس، گوجه سبز، هلو، انگور، انار و همچنین، انواع سبزیجات و صیفی‌جات بود که امکان کشت آن‌ها در بیشتر روستاها وجود نداشت. در روستاهای قره قلی و درقدم از شهرستان سبزوار نیز ۵۰ درصد از کشاورزان، محصولات تولیدی مانند انگور، انار، بادام، گردو و تا حدودی از انواع سبزیجات و صیفی‌جات علاوه‌بر عرضه به بازار، در سبد غذایی خانواده خود نیز استفاده می‌کردند. شواهد موجود نشان داد که به‌دلیل آبیاری محصولات مورد

کاشت در این دو روستا با استفاده از آب قنات و همچنین، به‌دلیل پایین بودن خروجی آب این قنات‌ها، کشاورزان خرده‌پا مجبور به کوتاه کردن فاصله منبع آبی تا زمین کشاورزی بودند و بنابراین، در نزدیکی قنات اگر چه در مساحت بسیار کم محصولات متنوعی را زیر کشت بردند. به نظر می‌رسد که وجود یک منبع آبی متفاوت در کنار سایر منابع آبی، به الگوی کشت این دو روستا تنوع بخشیده است.

در سایر روستاهای مورد مطالعه، سهم سبد غذایی کشاورزان از محصولات تولیدی بسیار اندک و حتی در بعضی از روستاها مانند روستای شمس‌آباد، حسین‌آباد گنجی، رباط سرپوش و باغان به صفر و یا نزدیک صفر رسید. به نظر می‌رسد که به‌دلیل تغییرات نامطلوب شرایط اقلیمی و در بعضی موارد، شور شدن آب آبیاری به‌مرور زمان، محصولات قابل استفاده در سبد غذایی خانوار در این روستاها و سایر روستاهای مورد مطالعه کاهش یافته است. از سوی دیگر، در بعضی موارد توسعه اقتصادی و امکان استفاده از ادوات پیشرفته و همچنین، دسترسی راحت‌تر و لذا کاربرد بیشتر مواد شیمیایی، زمینه حذف محصولات مورد کاشت در حاشیه مزارع در این بوم‌نظام‌ها را فراهم آورده که این مسئله الگوی کشت زراعی در این مناطق را به تولید محصولات غیر قابل استفاده در سبد غذایی انسان، محدود کرده است (شکل ۷).



شکل ۷- توزیع فراوانی مصرف خانوار از محصولات تولید شده برای کل کشاورزان مشارکت‌کننده در دو شهرستان سبزوار و ششتمد
Fig. 7- Frequency distribution for contribution of produced crops in household consumption of total participating farmers in Sabzevar and Sheshtmad counties

دانش بومی در زمینه افزایش و حفظ تنوع زیستی

غنای گونه‌ای و تنوع خانواده‌های گیاهی

بررسی غنای گونه‌ای (تعداد گونه زراعی مورد استفاده توسط کشاورزان) در شهرستان‌های سبزوار و ششتمد نشان داد که اکثر کشاورزان در این مناطق هر سال به‌طور میانگین تعداد چهار الی شش گونه زراعی و درختی را در مزارع خود کشت می‌کنند (جدول ۱). عمده محصولات مشترک در این دو شهرستان گیاهانی مانند گندم، جو، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و پسته (*Pistacia vera* L.) می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که از نظر غنای گونه‌ای بین دو شهرستان و بخش‌های مختلف آن‌ها، تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۱)، به‌طوری‌که مقایسه بخش‌های دو شهرستان نشان داد که در بخش شامکان از شهرستان ششتمد و بخش روداب در شهرستان سبزوار حدود ۸۰ درصد و در بخش‌های مرکزی دو شهرستان ششتمد و سبزوار به‌ترتیب ۶۵/۳ و ۵۵/۳ درصد کشاورزان هر سال چهار الی شش گونه زراعی و درختی را در مزارع خود کشت می‌کنند. همچنین، نتایج نشان داد که در بخش مرکزی از شهرستان سبزوار در مقایسه با سایر بخش‌ها، کشاورزان به‌میزان بیشتری قادر به توسعه الگوی کشت خود بودند، به این صورت که در این بخش ۳۳/۵ درصد کشاورزان به‌طور سالانه هفت الی ۱۰ گونه را در مزارع خود کشت می‌کنند. از آنجا که تعداد

گونه گیاهی به‌تنهایی قادر به ارائه چشم‌انداز دقیقی از تنوع در این بوم‌نظام‌ها نمی‌باشد، لذا بررسی غنای گونه‌ای در واحد سطح نشان داد که در بیشتر روستاهای مورد مطالعه، تخصیص اراضی به گونه‌های غالب منطقه (به‌خصوص غلات زمستانه مانند گندم و جو) زیاد بوده که این مسئله نشان‌دهنده غنای گونه‌ای پایین در این روستاها می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که در بین تمام روستاهای مورد مطالعه در دو شهرستان، تنها در روستاهای افچنگ، ایزی، ابارش و قره قلی از بخش مرکزی شهرستان سبزوار، کشاورزان قادر به کاشت تعداد گونه بیشتری در واحد سطح بودند. به نظر می‌رسد که مساعدتر بودن شرایط آب‌وهوایی و حاصلخیزی بهتر زمین‌های کشاورزی در این روستاها در مقایسه با سایر روستاهای مورد مطالعه، موجب غنای گونه‌ای بیشتر در این مزراع شده است، به‌طوری‌که در روستاهای افچنگ، ایزی و ابارش، کشاورزان با استفاده از درختان باغی چون زردآلو، گیلاس، آلبالو، گوجه سبز، گردو، بادام و حتی انواع سبزیجات به الگوی کشت خود تنوع بیشتری بخشیده‌اند. در روستای قره‌قلی از این بخش نیز وجود قنات در کنار سایر منابع آبی موجب استفاده از تعداد گیاهان بیشتر در واحد سطح شده است. در همین راستا، نتایج تحقیق کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2004) مبنی بر ارزیابی تنوع بوم‌نظام‌های زراعی ایران نشان داد که نظام مبتنی بر گندم، نظام غالب کشور بوده که به‌جز استان‌های حاشیه دریای خزر در سایر مناطق کشور توسعه یافته است. ایشان توسعه کشت غلات و اتکاء غذایی به این محصولات را از ویژگی‌های مناطق خشک و نیمه خشک جهان با زمستان‌های سرد تا نسبتاً سرد از جمله ایران دانسته و از جمله دلایل آن را مقاومت این گیاهان به تنش‌های محیطی (خشکی، گرما و تا حدودی شوری)، هزینه کم تولید و بالا بودن تنوع ژنتیکی این محصولات در این مناطق برشمردند. ایشان همچنین تنوع نظام‌های زراعی را در وهله اول متأثر از تنوع اقلیمی و پس از آن، تنوع خصوصیات خاک دانسته که خود نیز متأثر از ویژگی‌های اقلیمی می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون کای اسکوئر (χ^2) در مقایسه فراوانی مزارع از نظر تعداد گونه گیاهی مورد کاشت (غنای گونه‌ای) در دو شهرستان ششتمد و سبزوار

Table 1- Results of Chi-square (χ^2) test for comparing the frequency of the number of farms for the plant species cultured (species richness) in Sabzevar and Sheshtamed counties

شهرستان County	بخش District	تعداد گونه‌های گیاهی Number of plant species				تعداد کل پاسخ دهندگان Total number of respondens	درجه آزادی df	کای اسکوئر χ^2	احتمال P-value
		1-3	4-6	7-10	بیشتر More				
ششتمد Sheshtamad	شمکان Shamkan	11 (8.8)	100 (80)	14 (11.2)	0 (0)	453	9	36.3	0.0**
	مرکزی Markazi	13 (17.3)	49 (65.3)	13 (17.3)	0 (0)				
سبزوار Sabzevar	مرکزی Markazi	17 (10.6)	89 (55.3)	54 (33.5)	1 (0.6)				
	رودآب Roudab	8 (8.7)	73 (79.3)	11 (12)	0 (0)				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

The significance level :** significant at α=0.01

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است، اکثر گیاهان مورد کاشت در بوم‌نظام‌های زراعی منطقه مورد مطالعه از خانواده‌های گیاهی متفاوتی انتخاب شده و بنابراین، دارای کارکردهای متنوعی می‌باشند. همچنین، نتایج نشان داد که از نظر تعداد خانواده گیاهی مورد استفاده در الگوی کشت کشاورزان، بین روستاها، بخش‌ها و شهرستان‌های مورد نظر تفاوت معنی‌داری وجود دارد (جدول ۲ و ۳)، به‌طوری‌که در شهرستان ششتمد ۴۹/۵ و در شهرستان سبزوار ۵۱ درصد از کشاورزان، محصولات مورد استفاده در الگوی کشت خود را از چهار الی پنج خانواده گیاهی مختلف انتخاب نموده و به‌ترتیب ۶/۵ و ۱۸/۲ درصد کشاورزان در این دو شهرستان نیز از شش الی هشت

خانواده گیاهی استفاده نمودند. بیشتر گیاهان پرکاربرد در الگوی کشت کشاورزان در این شهرستان‌ها مربوط بـه خانواده‌هـای گیـاهی ماننـد غـلات (Poaceae)، بقـولات (Fabaceae)، پنیـرک (Malvaceae) کاسنیان (Asteraceae)، کدوئیان (Cucurbitaceae)، تاج خروسـیان (Amaranthaceae) و گل سـرخیان (Rosaceae) بـود کـه هرکـدام سهم متفاوتی در الگوی کشت روستاهای مورد مطالعه داشتند.

جدول ۲- نتایج آزمون کای اسکوئر (χ^2) در مقایسه فراوانی (درصد فراوانی) مزارع از نظر تعداد خانواده گیاهی مورد استفاده در دو شهرستان ششتمد و سبزوار

Table 2- Results of Chi-square (χ^2) test for comparing the frequency (percentage) of the number of farms for the number of plant families used in Sabzevar and Sheshtamed counties

شهرستان County	تعدا خانواده‌های گیاهی Number of plant families				تعداد کل پاسخ‌دهندگان Total number of respondens	درجه آزادی df	کای اسکوئر χ^2	احتمال P-value
	1-3	4-5	6-8	بیشتر More				
ششتمد Sheshtamad	88 (44)	99 (49.5)	13 (6.5)	0 (0)	453	3	18.2	0.0**
سبزوار Sabzevar	77 (30.4)	129 (51)	46 (18.2)	1 (0.4)				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

The significance level :** significant at α=0.01

مقایسه بخش‌های مورد مطالعه در دو شهرستان نیز نشان داد که بیشتر کشاورزان، گیاهان مورد کاشت خود را از چهار الی پنج خـانواده گیاهی انتخاب می‌کننـد (گیاهـانی ماننـد گنـدم، جـو، پنبـه، یونجـه، آفتابگردان، پسته، انگور و انار از خانواده‌های غلات، بقولات، پنیـرک، کاسنیان و گل سرخیان) (جدول ۳)، به‌طوری‌که در بخش شـامکان و مرکـزی از شهرسـتان ششـتمد بـه‌ترتیـب ۵۱/۲ و ۴۶/۷ درصـد و در بخش‌های مرکزی و روداب از شهرستان سبزوار نیز بـه‌ترتیـب حـدود ۵۰ و ۵۲ درصد از کشاورزان از این تعداد خـانواده گیـاهی در الگـوی کشت بوم‌نظام‌های خود بهره می‌برند که ایـن امـر نشـان‌دهنده تنـوع کارکردی قابل ملاحظه‌ای در این بخش‌ها می‌باشد. نکته قابـل توجـه مربوط به بخش مرکزی در شهرستان سـبزوار بـود کـه بیشـتر از ۲۴ درصد از کشاورزان در این بخش از تعداد شـش الـی هشـت خـانواده گیاهی برای تنوع بخشیدن به الگوی کشت بوم‌نظام‌های خود استفاده نمودند. بررسی نتایج همچنین نشان داد که سـهم زیـادی از افـزایش تنوع کارکردی در این بخش مربوط به روسـتاهای ایـزی، قـره قلـی، افچنگ و ابارش بود، به‌طوری‌کـه در ایـن روسـتاها بـه‌ترتیـب ۵۲/۴، ۵۳/۸، ۲۶/۱ و ۲۰/۸ درصـد از کشـاورزان بـا انتخـاب گیاهـان مـورد کاشت خود از شش الی هشت خانواده گیاهی موجب افزایش چشمگیر تنوع کارکردی در این بخش شـدند. بـه نظـر می‌رسـد کـه بـه‌دلیـل مساعدتر بودن شرایط آب‌وهوایی و بیشتر و متنوع‌تر بـودن گونـه‌های گیاهی مورد کاشت، تعداد خانواده گیاهی در این روسـتاها نیـز بـه‌طور معنی‌داری متفاوت از سایر روستاها بود. بررسی رفتار بومیان در منطقه چیمانیمانی زیمباوه نشان داد که رایج‌ترین محصولات کشت شـده در این منطقه شامل ذرت، سورگوم، انواع ارزن (*Panicum miliaceum* L.) و موز (*Musa sapientum* L.) می‌باشد که البته بومیان با توجـه به شرایط آب‌وهوایی بخش‌های مختلف منطقـه خـود، گیاهـانی را از خانواده‌های گیاهی متفـاوتی بـرای کشـت در ایـن بخش‌هـا انتخـاب نمودند، به‌طوری‌که در بخش‌هایی که میزان بارندگی در آن کم بود، از محصولات مقاوم به خشکی مانند ارزن و دام‌هایی مانند بز، گاو و مرغ استفاده گردید، امّا در مقابل، در بخش‌های با بارنـدگی نسـبتاً زیـاد و خاک‌های غنـی محصـولاتی ماننـد ذرت، مـوز، پرتقـال (*Citrus* × *sinensis*)، نیشـکر (*Saccharum officinarum* L.)، سـیب‌زمینی شـیرین (*Ipomoea batatas* L.) و یـام (*Dioscorea rotundata* *Poir.*) مورد کاشت کشاورزان قـرار گرفـت. نتـایج تحقیـق نـام‌بـرده همچنین نشان داد که رشد محصولات دانه ریز در منطقـه بـه‌عنـوان روشی برای مقابله با تغییر شرایط آب‌وهـوایی، بـه‌ویژه خشکسـالی در حال افزایش است (Sithole, 2020). بررسی سیسـتم‌های کشـاورزی خرده‌پا در جنوب صحرای آفریقا نیز نشان داد کـه کشـاورزان در ایـن

مناطق از انواع مختلف گیاهان زراعی و باغی در مزراع و باغ‌های خود استفاده می‌کنند، به‌طوری‌که تولید محصولات بومی اساس کشاورزی معیشتی در این منطقه را تشکیل می‌دهد. کشاورزان در این مناطق از انواع محصولات مانند انواع غلات، حبوبات، سبزی و صیفی‌جات جهت امرار معاش و تأمین غذای مورد نیاز خود بهره می‌برند (Azam-Ali, 2007). از آنجا که تولید این محصولات در سطح کوچکی از زمین‌های زراعی صورت می‌گیرد، بنابراین این موضوع موجب تقویت تنوع کارکردی در این مناطق می‌شود. آلتییری (Altieri, 2009) لزوم وجود تنوع به‌ویژه تنوع کارکردی را برای دستیابی به کشاورزی پایدار مورد تأکید قرار داد و بیان داشت که تنوع کارکردی از طریق تمایز نیچ‌ها و تخصیص منابع منجر به افزایش کارایی استفاده از منابع در بوم‌نظام‌های زراعی می‌شود. همچنین تنوع کارکردی به‌عنوان بخشی از تنوع زیستی کل میتواند موجب ارائه خدمات اگرواکوسیستمی قابل توجهی در سطح ژن، گونه و یا زیستگاه شود (Moonen & Barberi, 2008).

جدول ۳- نتایج آزمون کای اسکوئر (χ^2) در مقایسه فراوانی (درصد فراوانی) مزارع از نظر تعداد خانواده گیاهی مورد استفاده

Table 3- Results of Chi-square (χ^2) tests of comparing the frequency (percentage) of the number of farms for the number of plant families used

شهرستان County	بخش District	تعداد خانواده های گیاهی Number of plant families				تعداد کل پاسخ‌دهندگان Total number of respondens	درجه آزادی df	کای اسکوئر χ^2	احتمال P-value
		1-3	4-5	6-8	بیشتر More				
ششتمد Sheshtamad	شمکان Shamkan	52 (41.6)	64 (51.2)	9 (7.2)	0 (0)	453	9	36.4	0.0**
	مرکزی Markazi	36 (48)	35 (46.7)	4(5.3)	0 (0)				
سبزوار Sabzevar	مرکزی Markazi	40 (24.8)	80 (49.7)	39 (24.2)	1(0.6)				
	رودآب Roudab	37 (40.2)	48 (52.2)	7 (7.6)	0 (0)				

سطح معنی‌داری: ** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

The significance level :** significant at α=0.01

حفظ و افزایش تنوع زیستی

بررسی کلی بوم‌نظام‌های زراعی در شهرستان‌های ششتمد و سبزوار در مقیاس اکوسیستم نشان داد که کشاورزان بومی در این مناطق از روش‌های مختلف به‌منظور بالابردن تنوع زیستی در مزارع خود بهره می‌برند. از جمله این روش‌ها که به‌میزان متفاوتی در روستاهای مورد مطالعه به‌کار گرفته شد، می‌توان به کشت مخلوط، کاشت گیاهان حاشیه‌ای در اطراف زمین‌های کشاورزی، تناوب، آیش، تلفیق زراعت و دامپروری و تعویض چند ساله بذور مورد کاشت اشاره کرد. بررسی بیشتر نتایج همچنین نشان داد که از نظر استفاده از روش‌های مذکور بین شهرستان‌های مورد نظر تفاوت معنی‌داری وجود نداشته (جدول ۴) و کشاورزان در دو شهرستان به‌میزان مشابهی از این روش‌ها استفاده می‌کنند. نکته قابل تأمل در مورد تنوع زیستی بوم‌نظام‌ها در این شهرستان‌ها، استفاده اکثریت کشاورزان از دو یا چند روش از روش‌های مذکور برای بالابردن تنوع زیستی مزارع خود در مقیاس این اکوسیستم‌ها بود، آن هم در شرایطی که در بیشتر مناطق روستایی مورد مطالعه، نامناسب بودن شرایط آب‌وهوایی می‌توانست نقش بسیار مهمی در کم‌رنگ کردن استفاده از این روش‌ها داشته باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد که اتخاذ چنین روش‌هایی در زمینه تنوع زیستی، راهکاری مناسب جهت افزایش امنیت اقتصادی این بوم‌نظام‌ها باشد، زیرا ایجاد تنوع بیشتر در بوم‌نظام‌های زراعی می‌تواند زمینه‌ساز کاهش خسارت آفات، تنوع محصولات قابل برداشت و در نهایت افزایش منابع درآمدزایی به‌خصوص در شرایط نامساعد بودن

شرایط آب‌وهوایی باشد.

جدول ٤- نتایج آزمون کای اسکوئر (χ^2) در مقایسه فراوانی (درصد فراوانی) روش‌های مورد استفاده برای افزایش تنوع زیستی در شهرستان های ششتمد و سبزوار

Table 4- Results of Chi-square (χ^2) test for comparing the frequency (percentage) of applied methods to increase biodiversity in Sheshtamad and Sabzevar counties

شهرستان County	تنوع زیستی Biodiversity							تعداد کل پاسخ‌دهندگان Total number of respondens	درجه آزادی df	کای اسکوئر χ^2	احتمال P-value
	کشت مخلوط Intercropping	کشت در اطراف زمین Planting around the land	تناوب زراعی Crop rotation	آیش Fallow	زراعت و دامپروری Agropastoral	تعویض بذور Change seeds	بیشتر از یک روش More than one method				
ششتمد Sheshtamad	71 (35.5)	50 (25)	167 (83.5)	181 (90.5)	168 (84)	162 (81)	181 (90.5)	453	6	7.9	0.246 ns
سبزوار Sabzevar	121 (47.8)	81 (32)	183 (72.3)	231 (91.3)	202 (79.8)	208 (82.2)	227 (89.7)				

سطح معنی‌داری: ns غیر معنی‌دار

The significance level: ns non significant

جدول ٥- نتایج آزمون کای اسکوئر (χ^2) در مقایسه فراوانی (درصد فراوانی) روش‌های مورد استفاده برای افزایش تنوع زیستی در بخش‌های مورد مطالعه واقع در شهرستان‌های ششتمد و سبزوار

Table 5- Results of Chi-square (χ^2) test for comparing the frequency (percentage) of applied methods to increase biodiversity in studied counties located in Sheshtamad and Sabzevar

شهرستان County	بخش District	تنوع زیستی Biodiversity							تعداد کل پاسخ دهندگان Total number of respondens	درجه آزادی df	کای اسکوئر χ^2	احتمال P-value
		کشت مخلوط Intercropping	کشت اطراف زمین Planting around the land	تناوب زراعی Crop rotation	آیش Fallow	زراعت و دامپروری Agropastoral	تعویض بذور Change seeds	بیشتر از یک روش More than one method				
ششتمد Sheshtamad	شمکان Shamkan	43 (34.4)	33 (26.4)	115 (92)	103 (82.4)	101 (80.8)	106 (84.7)	114 (91.2)	453	18	18.7	0.411 ns
	مرکزی Markazi	28 (37.3)	17 (22.7)	66 (88)	64 (85.3)	67 (89.3)	56 (74.7)	67 (89.3)				
سبزوار Sabzevar	مرکزی Markazi	85 (52.8)	59 (36.6)	150 (93.2)	105 (65.2)	124 (77)	134 (83.2)	147 (91.3)				
	رودآب Roudab	36 (39.1)	22 (23.9)	81 (88)	78 (84.8)	78 (84.8)	74 (80.4)	80 (87)				

سطح معنی‌داری: ns غیر معنی‌دار

The significance level: ns non significant

نتایج نشان داد که میزان استفاده از روش‌های مورد مطالعه جهت افزایش تنوع زیستی در سطح بوم‌نظام‌های زراعی، در بخش‌های این دو شهرستان نیز معنی‌دار نبوده و روند نسبتاً مشابهی داشت (جدول ۵). در تمامی بخش‌های مورد نظر، میزان به‌کارگیری کشت مخلوط و کاشت گیاهان اطراف مزرعه جهت افزایش تنوع زیستی، نقش بسیار کم‌رنگی داشت و آنچه که به تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی در این

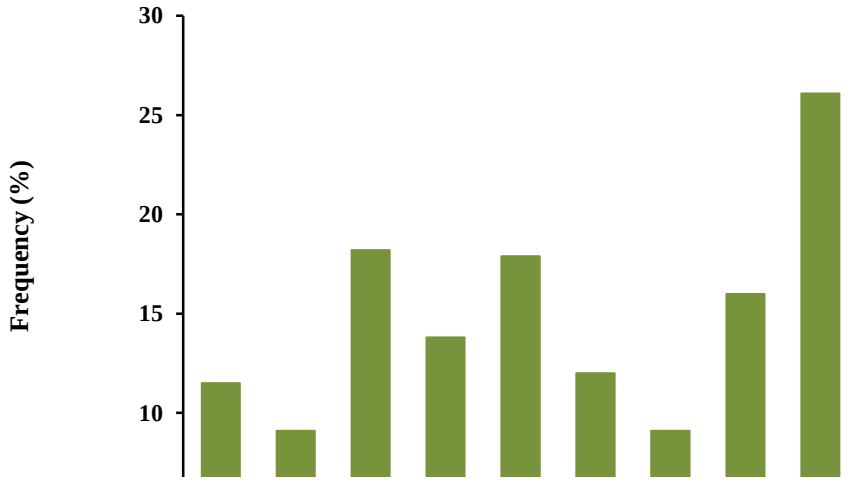
بخش‌ها قوام می‌بخشید، استفاده بیشتر از روش‌هایی مانند تناوب، آیش، پروش دام در کنار زراعت و در نهایت، تعویض چند ساله بذور مورد کاشت بود. همچنین، در تمامی بخش‌های مورد نظر، بیشتر از ۸۰ درصد کشاورزان از بیشتر از یک روش، جهت افزایش تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی خود استفاده می‌کردند (جدول ۵). به نظر می‌رسد که محدودیت‌های آب‌وهوایی و سطح توسعه‌یافتگی روستاها بر میزان استفاده از این روش‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته است که در ادامه به بررسی میزان استفاده از این روش‌ها در روستاهای مورد نظر پرداخته می‌شود.

کشت مخلوط

از جمله مهم‌ترین راهکارهای مورد استفاده جهت افزایش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی، حضور کشت‌های مخلوط بوده که میزان کاربرد آن در روستاهای مختلف دو شهرستان ششتمد و سبزوار به‌طور معنی‌داری متفاوت بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در روستاهای تحت بررسی زراعت مخلوط به‌صورت پراکنده و در سطح بسیار کم وجود داشته و به‌ندرت سهم قابل توجهی از کل اراضی زیر کشت را دربرمی‌گیرد. در عین حال، در مقایسه روستاهای تحت بررسی، در روستاهای قره‌قلی، افچنگ، ایزی و ابارش در بخش مرکزی شهرستان سبزوار، بیشترین میزان استفاده از کشت مخلوط توسط کشاورزان ثبت شد (شکل ۸). دلیل گسترش نسبی کشت مخلوط در این روستاها، استفاده از انواع درختان باغی نظیر انگور، انار، زردآلو، گیلاس، گوجه سبز، گردو و بادام در الگوی کشت کشاورزان بود که بیشتر این درختان در این روستاها به‌صورت مخلوط با هم کشت شده بود. به‌عنوان مثال، در روستاهای ابارش و افچنگ، کشاورزان در باغ‌های خود انواع درختانی مانند انار، زردآلو، گیلاس و گوجه سبز را به‌صورت مخلوط با هم پرورش داده‌اند، و حتی در بعضی موارد بین درختان مورد نظر از وجود گیاهانی مانند یونجه نیز بهره می‌بردند. در روستای ایزی نیز کشاورزان درختان انار و انگور را به‌صورت مخلوط با هم رشد داده‌اند. بدین ترتیب که در مساحت کوچکی از زمین مورد نظر درختان انار به‌صورت یک یا دو ردیف در حاشیه زمین و درختان انگور را در وسط زمین به‌کار می‌برند که البته در بعضی موارد به‌جای درختان انگور در وسط زمین از گیاهانی چون یونجه، گندم و جو نیز استفاده می‌کنند. در روستای قره‌قلی نیز به‌دلیل وجود قنات در کنار سایر منابع آبی و همچنین، به‌دلیل پایین بودن خروجی آب قنات، کشاورزان زمین‌های خود را به کرت‌های بسیار کوچکی تقسیم نموده و در هرکدام از کرت‌ها محصولات متنوعی را می‌کارند که البته اکثر این محصولات به مصرف خانوار می‌رسد. در سایر روستاهای بررسی شده نیز تا حدودی الگوهای مشابهی از کشت مخلوط وجود دارد که عمده این کشت‌های مخلوط بر پایه پنبه، چغندر، آفتابگردان و در بعضی موارد پسته می‌باشد. به‌عنوان نمونه، در روستاهایی مانند شامکان، حسین‌آباد، بیروت و چند روستای دیگر کشت مخلوط پنبه و آفتابگردان و یا پنبه، آفتابگردان و چغندر رواج دارد. در بعضی روستاها مانند بجدن نیز کشاورزان گیاهانی مانند گوجه‌فرنگی، جو، گندم و یونجه را در بین درختان پسته کشت می‌کنند. نتایج حاصل از تحقیقی که با هدف ارزیابی کارایی مصرف آب در کشت مخلوط سه گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و چغندر علوفه‌ای (*Beta vulgaris* subsp. vulgaris L.) انجام گرفت، نشان داد که عملکرد گیاه آفتابگردان و چغندر علوفه‌ای در کشت مخلوط نسبت به خالص افزایش قابل ملاحظه‌ای داشت (Koochaki et al., 2021). همچنین، این الگوی کشت مخلوط منجر به افزایش کارایی استفاده از آب گردید که این موضوع در مناطق با کمبود آب می‌تواند از اهمیت بسزایی برخوردار باشد. ایشان دلیل افزایش کارایی آب در الگوی مورد نظر را متفاوت بودن مورفولوژی، فنولوژی و تیپ رشدی گیاهان مورد استفاده در کشت مخلوط مورد نظر دانستند. همچنین، استفاده از این الگوی کشت مخلوط، موجب افزایش نسبت برابری زمین شد که این امر نشان‌دهنده استفاده بیشتر منابع از واحد سطح زمین در کشت مخلوط می‌باشد. کشت مخلوط با ایجاد تعادل اکولوژیک به‌دلیل پوشش مناسب‌تر زمین در مقایسه با کشت خالص، موجب بهبود کارایی مصرف منابع، کنترل علف‌های هرز، حفظ بهتر رطوبت و کاهش دمای تاج‌پوشش و دمای سطح خاک شده و همچنین، از بروز تنش‌های محیطی جلوگیری می‌کند و در نهایت، از طریق تأثیر مثبت بر رشد و عملکرد، بهبود نسبت برابری زمین را به دنبال دارد (Nakhzari-Moghaddam, 2016). تحقیقات نشان داده است که این‌گونه نظام‌های دهقانی که عمدتاً مبتنی بر منابع محلی و الگوهای پیچیده‌ی کشت می‌باشند، با توجه به وقف کامل زمین و استفاده‌ی کم از نهاده‌های خارجی، از سطح تولید قابل قبولی نیز برخوردارند (Jahan et al., 2015).

به‌طور کلی، اگر چه در بیشتر روستاهای مورد مطالعه نقش کشت

مخلوط در افزایش تنوع زیستی بوم‌نظام‌ها نسبتاً ناچیز به نظر رسیده و حتی در تمام روستاهای مورد نظر، کشاورزان تنها امکان استفاده از یک یا نهایتاً دو الگوی کشت مخلوط را دارند، امّا با توجه به شرایط آب‌وهوایی شهرستان‌های مورد مطالعه به نظر می‌رسد که استفاده از این الگوهای کشت مخلوط راهکاری خردمندانه در جهت افزایش استفاده از خدمات اکوسیستمی بوم‌نظام‌های زراعی و در نهایت ثبات، تاب‌آوری و برگشت‌پذیری سیستم‌های مورد نظر باشد.

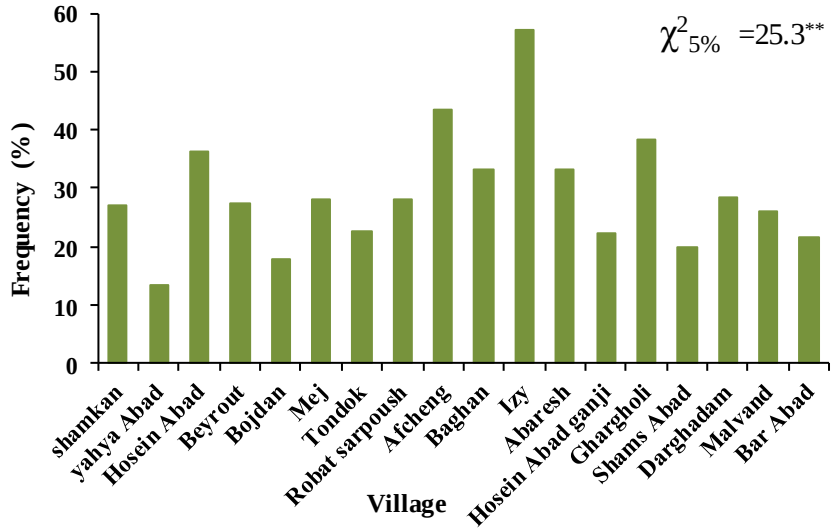


شکل ۸- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان به‌کارگیری از کشت مخلوط

Fig. 8- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to employing of intercropping

کاشت گیاهان در حاشیه مزرعه

یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده کشاورزان در روستاهای شهرستان‌های ششتمد و سبزوار جهت افزایش تنوع زیستی، کاشت برخی گیاهان در حاشیه مزارع بود که کاربرد آن به‌طور معنی‌داری در روستاهای تحت بررسی متفاوت بود. نتایج نشان داد که به‌ندرت بیشتر از ۴۰ درصد کشاورزان در این روستاها از کاشت گیاهان در اطراف مزارع خود استفاده می‌کنند و کاربرد این روش در طول زمان کاهش یافته است (شکل ۹). پرکاربردترین گیاه مورد استفاده در حاشیه مزارع بیشتر کشاورزان، گیاه آفتابگردان بود که در اطراف مزارع پنبه، هندوانه و در بعضی مواقع، چغندر مورد استفاده قرار می‌گرفت. در بعضی روستاها نیز به‌صورت خیلی محدود درختانی مانند انار، توت و سنجد و همچنین گیاهانی مانند کدو و خربزه در حاشیه مزارع به‌کار برده می‌شد (شکل ۹). مطالعه روش‌های بومی کشاورزان در شهرستان اردکان استان یزد نیز نشان داد که هنوز هم بعضی کشاورزان در اطراف مزراعی مانند نخود، از گیاهانی مثل آفتابگردان و گلرنگ استفاده می‌کنند (Salem & Dehghani-Tafti, 2019). به نظر می‌رسد که کشاورزان بومی با اتخاذ چنین روش‌هایی نه تنها تنوع زیستی بوم‌نظام‌های خود را بهبود می‌بخشند، بلکه به‌دلیل ایجاد اشکوب‌بندی مناسب، موجب افزایش کارایی استفاده از منابع موجود در مزارع می‌شوند. از جمله مزیت‌های انتخاب گیاهان گلدار در حاشیه مزارع نیز می‌تواند جذب دشمنان طبیعی در این بوم‌نظام‌ها باشد و بدین گونه تا حدودی جمعیت آفات موجود در مزارع کنترل می‌شود. به گفته محققین از آنجا که بقاء و فعالیت دشمنان طبیعی اغلب به منابع ارائه شده توسط پوشش گیاهی اطراف مزارع بستگی دارد، بنابراین، دستکاری‌های پوشش گیاهی مجاور در زمین‌های زراعی می‌تواند برای توسعه کنترل بیولوژیکی مورد استفاده قرار گیرد (Jahan et al., 2015). به‌عنوان نمونه انجام پژوهشی در ایالت کالیفرنیا در کشور آمریکا نشان داد که کشت مخلوط کاهو با گل عسلی (*Lobularia maritima* L.)، تعداد لارو مگس سیرفید به‌عنوان مهم‌ترین دشمن طبیعی شته‌ها در کاهو را افزایش داد (Smith et al., 2008).

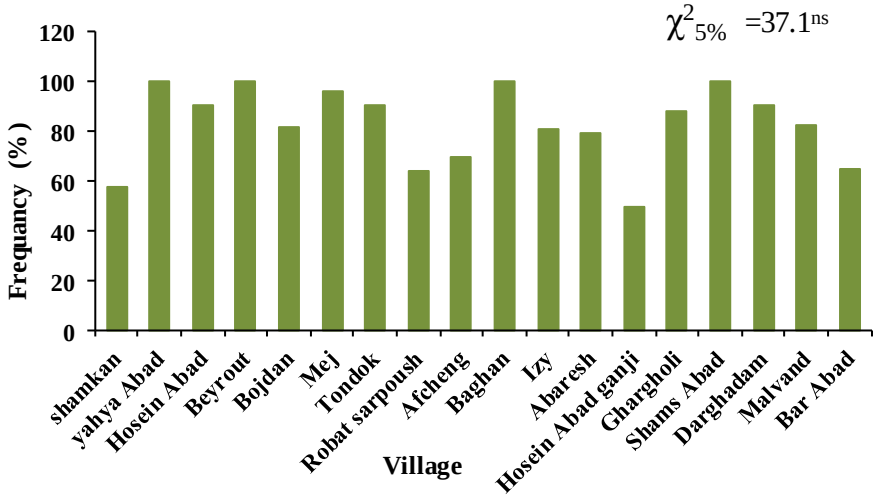


شکل ۹- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان کاربرد گیاهان در حاشیه مزراع

Fig. 9- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to employing of plants on the edge of the field as hedge grow

پرورش دام در کنار زراعت

از جمله روش‌های دیگری که کشاورزان بومی در مناطق روستایی جهت بهبود تنوع مزراع خود به‌کار می‌برند، تلفیق زراعت و دامپروری است که این موضوع نه تنها موجب افزایش تنوع زیستی بوم‌نظام‌ها شده، بلکه تا حدودی موجبات افزایش امنیت و تاب‌آوری اقتصادی کشاورزان به‌دلیل تنوع بخشیدن به منابع درآمدی آن‌ها شده است. در روستاهای مورد مطالعه در دو شهرستان ششتمد و سبزوار بیشتر از ۸۰ درصد کشاورزان از دام‌های رایج موجود در جهت افزایش تنوع زیستی بوم‌نظام‌های خود بهره می‌برند (شکل ۱۰). بنابراین، تولید علوفه برای تغذیه این دام‌ها از اهداف اصلی کشاورزان مذکور می‌باشد. بررسی و تحلیل بیشتر نتایج نشان داد که در روستاهای یحی‌آباد و بیروت از شهرستان ششتمد و باغان و شمس‌آباد از شهرستان سبزوار، تمامی کشاورزان در کنار تولید محصولات مورد نظر به پرورش دام نیز می‌پردازند. دام غالب مورد استفاده در این مناطق گوسفند بوده و در تعداد محدودی از روستاها مانند باغان، افچنگ و بیروت به پرورش گاو نیز پرداخته می‌شود. از نکات قابل تأمل در این بوم‌نظام‌ها، نگهداری و پرورش ماکیان در باغات خانگی می‌باشد. بررسی روش‌های سنتی در منطقه چیمانیمانی واقع درکشور زیمباوه نشان داد که کشاورزان در این منطقه در کنار تولید محصولاتی مانند ذرت، سورگوم، انواع ارزن و موز، به‌منظور افزایش منابع درآمدی، به پرورش دام نیز می‌پردازند. از دام‌های رایج در این منطقه می‌توان به بز، گاو و ماکیان اشاره کرد که به‌طور تقریبی در تمام مزارع کشاورزان مشاهده می‌شود (Sithole, 2020). تجزیه و تحلیل یافته‌های اگرواکولوژیکی نشان می‌دهد که پرورش دام در کنار زراعت منجر به بهینه‌سازی فرایندهای کلیدی نظام‌های کشاورزی (چرخه عناصر غذایی، تجمع مواد آلی، تنظیم بیولوژیکی آفات و غیره) و در نهایت، افزایش تولید از طریق بازسازی بیولوژیکی آن دسته از زمین‌های دهقانی شده که به شیوه‌ای کارآمد از منابع محلی و نیروی کار بهره می‌برند (Jahan et al., 2015). همچنین، دانش بومی این کشاورزان، به آن‌ها در حفاظت از گونه‌های گیاهی و جانوری، اجتناب از پرورش گونه‌های خارجی نه‌چندان سازگار با شرایط سخت، و به حداقل رسانیدن خسارات کمک می‌کند (Mosothwane, 2007) و از این طریق، منجر به حفظ تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی می‌گردد. این نظام‌های تلفیقی همچنین منبع خوبی برای تامین کود دامی می‌باشند و از طرفی، باعث شکل گیری انواع صنایع دستی مرتبط با دامداری مانند قالی، گلیم و غیره و فرآورده‌های لبنی شده که خود زمینه ثبات و تاب آوری اقتصادی بیشتر را برای کشاورزان فراهم می‌کند.



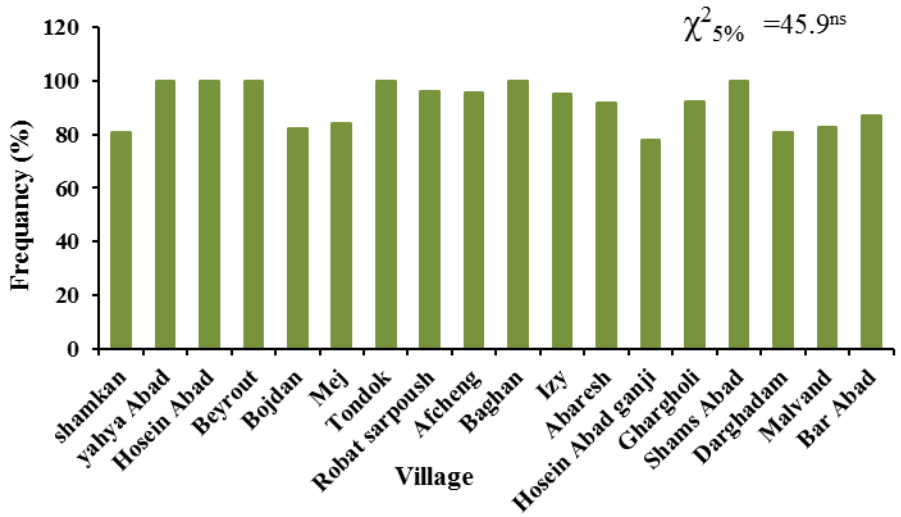
شکل ۱۰- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان تلفیق دام در کنار زراعت

Fig.10- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to integration of livestock and cropping

تناوب زراعی

بررسی میزان استفاده از تناوب زراعی توسط کشاورزان در شهرستان‌های ششتمد و سبزوار نشان داد که کشاورزان در این روستاها به‌میزان زیادی از این روش برای تنوع بخشیدن به بوم‌نظام‌های زراعی خود استفاده می‌کنند، بدین ترتیب که در تمامی روستاهای مورد نظر بیشتر از ۸۰ درصد کشاورزان حداقل یکی از الگوهای تناوبی رایج در منطقه را به‌کار می‌برند (شکل ۱۱). از جمله الگوهای تناوبی رایج در این بوم‌نظام‌ها می‌توان به یونجه-چغندر-گندم-جو-آیش، یونجه-پنبه-گندم-جو-آیش، گندم-پنبه-جو-آیش، گندم-جو-آیش، یونجه-پنبه-آیش، آفتابگردان-پنبه-جو علوفه‌ای-آیش، جو-گندم-هندوانه، گندم-آیش-پنبه، گندم-آیش-گندم و تناوب سایر گیاهان موجود در الگوی کشت با آیش اشاره کرد. بنابراین، همان‌گونه که انتظار می‌رود، تناوب موجود در این بوم‌نظام‌ها براساس گیاهان غالب در روستاهای مورد مطالعه استوار می‌باشد. از سوی دیگر، تناوب‌های موجود در این منطقه نشان داد که استفاده توأم از گونه‌های گیاهی موجود در الگوی کشت کشاورزان بر کشت ممتد غلات ترجیح داده شده است. همچنین، حضور گیاهانی مانند یونجه در تناوب به همراه غلات و سایر محصولات به‌دلیل توانایی تثبیت نیتروژن و بالا بردن تنوع، منجر به افزایش ثبات عملکرد غلات می‌شود. نتایج آزمایشی با هدف بررسی اثر میان‌مدت تناوب‌های زراعی بر عملکرد دانه ذرت و گندم نشان داد که بیشترین میزان عملکرد دانه گندم و علوفه تر ذرت زمانی حاصل شد که این گیاهان در تناوب با یونجه قرار گرفتند. همچنین، نتایج نشان داد که آیش نیز تأثیر مثبتی بر عملکرد هر دو گیاه داشته، امّا کشت مداوم ذرت-گندم عملکرد این دو گیاه را کاهش داده است (Pirasteh-Anosheh et al., 2016). نتایج حاصل از آزمایشاتی بر روی عملکرد غلات بهاره و زمستانه در سه کشور فرانسه، سوئد و اسکاتلند بر روی گیاهان مرتعی چند ساله، لگوم‌ها و محصولات پوششی در تناوب با غلات نشان داد که عملکرد غلات در سیستم‌های زراعی با میزان کود کمتر که در تناوب با گیاهان مرتعی چند ساله هستند در ۶۰ تا ۹۴ درصد موارد عملکرد بهتری از سیستم‌های بدون تناوب داشتند. همچنین، نتایج نشان داد که تناوب غلات با حبوبات نیز منجر به افزایش قابل توجه عملکرد این محصولات خواهد شد. بنابراین، سیستم‌های کشت متنوع می‌توانند منجر به افزایش عملکرد غلات و سازگاری این سیستم‌ها به شرایط محیطی به‌خصوص در شرایط حضور لگوم‌ها شوند (Reckling et al., 2022). به نظر می‌رسد که استفاده از گیاهان متفاوت در تناوب با یکدیگر موجب بهبود میزان رطوبت قابل دسترس خاک، افزایش قابلیت جذب عناصر غذایی، بهبود ساختار فیزیکی-

شیمیایی-زیستی خاک، افزایش محتوای فسفر قابل جذب خاک و در نهایت، افزایش تنوع و فعالیت ریزجانداران خاک می‌شود (Rahimizadeh et al., 2012). همچنین، تناوب زراعی موجب کنترل آفات و علف‌های هرز مزارع شده (Zare-Feizabadi & Nouri Hoseini, 2013) و بدین ترتیب، موجب بهبود عملکرد گیاهان حاضر در تناوب می‌شود.



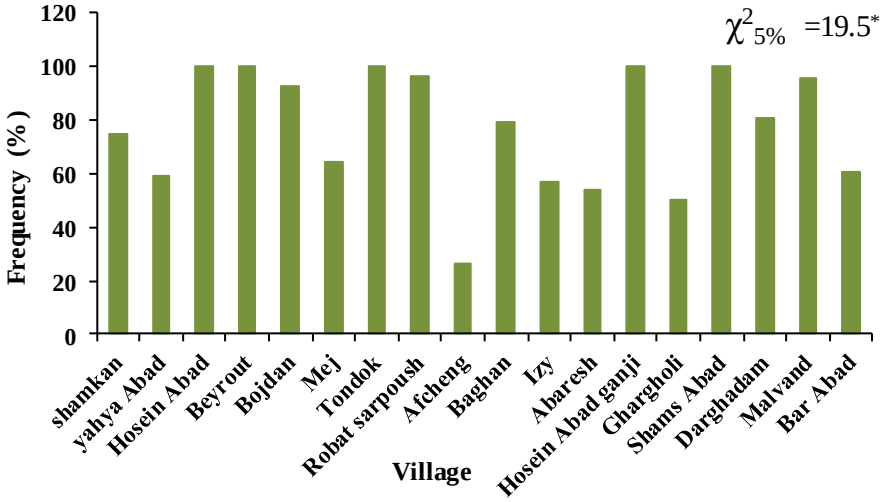
شکل ۱۱- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان به‌کارگیری تناوب زراعی

Fig. 11- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to employing crop rotation

آیش

نتایج نشان داد که در بیشتر روستاهای تحت بررسی در شهرستان‌های ششتمد و سبزوار بیشتر از ۸۰ درصد کشاورزان برای استفاده از مزیت‌های آیش‌گذاری، هر ساله یک قطعه از زمین خود را به‌صورت آیش رها می‌کنند (شکل ۱۲). به‌عنوان مثال، در روستاهای حسین‌آباد، بیروت، تندک، حسین‌آباد گنجی و شمس‌آباد تمامی کشاورزان آیش را در تناوب با گیاهان زراعی خود در نظر می‌گیرند. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل مهم آیش‌گذاری در این روستاها، کمبود آب آبیاری نسبت به زمین‌های کشاورزی باشد. البته کشاورزان بومی این مناطق بر این باور هستند که آیش گذاشتن زمین موجب گرما و سرما سوز شدن زمین شده و در نتیجه، آفات محصولات را تا حدودی کنترل می‌کند. همچنین، آیش‌گذاری موجب تقویت و ذخیره رطوبت بیشتر در زمین می‌شود. اگر چه در بعضی از روستاها مانند افچنگ، ایزی، ابارش و قره قلی به‌دلیل وجود آب کافی برای آبیاری و از طرفی، به‌دلیل کوچک بودن زمین‌های زراعی، کشاورزان به‌میزان کمتری از آیش استفاده می‌کنند. به‌جز روستای افچنگ (به‌دلیل کوهستانی بودن و قرار گرفتن زمین‌های زراعی بر دامنه کوه و لذا، کوچک بودن این زمین‌ها)، در همین روستاها هم بیشتر از ۵۰ درصد کشاورزان از آیش در تناوب با محصولات خود بهره می‌برند. در بعضی موارد کشاورزان در زمان آیش‌گذاری، زمین زراعی را مورد چرای دام قرار می‌دهند که این موضوع نه‌تنها موجب کنترل علف‌های هرز این مزارع شده، بلکه موجب تقویت زمین مورد نظر به‌واسطه فضولات دام‌ها می‌شود. همچنین، بعضی از کشاورزان علف‌های هرز سبز شده در زمین زراعی را قبل از بذردهی به‌عنوان کود سبز به زمین شخم زده و بدین طریق، موجب تقویت زمین مورد نظر می‌شوند. یکی از روش‌های مورد استفاده کشاورزان ایرانی در دوره‌ها و هزاره‌های گذشته، آیش گذاشتن زمین‌های کشاورزی بوده است، به‌طوری‌که کشاورزان ایرانی تجربیات بسیار خوبی از آیش‌بندی به‌ویژه در کشت جالیز و درختکاری دارند. بنابراین، از دیدگاه کشاورزان اگر میزان آب آبیاری در دسترس، کفاف به زیر کشت بردن زمین‌های کشاورزی را ندهد، بهترین روش آن است که هر ساله یک قطعه زمین، بدون کاشت باقی بماند. در روستاهای کرند و فرور در شمال شهر گرمسار نیز کشاورزان بومی زمین‌های خود را به زیر آیش برده و به اصطلاح خود موجب "نفس کشیدن" زمین می‌شوند. آن‌ها دلیل این امر را

کنترل علف‌های هرز، تقویت زمین و کنترل آفات مزراع می‌دانند که به نوبه خود می‌تواند موجب افزایش تنوع زیستی شود (Shah-Hosseini, 2019). در استان لیمپونو در آفریقای جنوبی نیز کشاورزان بومی در بسیاری از موارد، مزارع فرسوده خود را به‌مدت دو تا پنج سال به‌صورت آیش رها می‌کنند و به باور آن‌ها این عمل موجب باروری مجدد خاک می‌شود. همچنین، این کشاورزان در طول آیش زمین مورد نظر را مورد چرای دام‌هایی چون گاو، گوسفند و بز قرار می‌دهند تا ضمن کنترل علف‌های هرز رشد یافته، فضولات آن‌ها نیز موجب حاصلخیزی خاک شود (Rankoana, 2017).



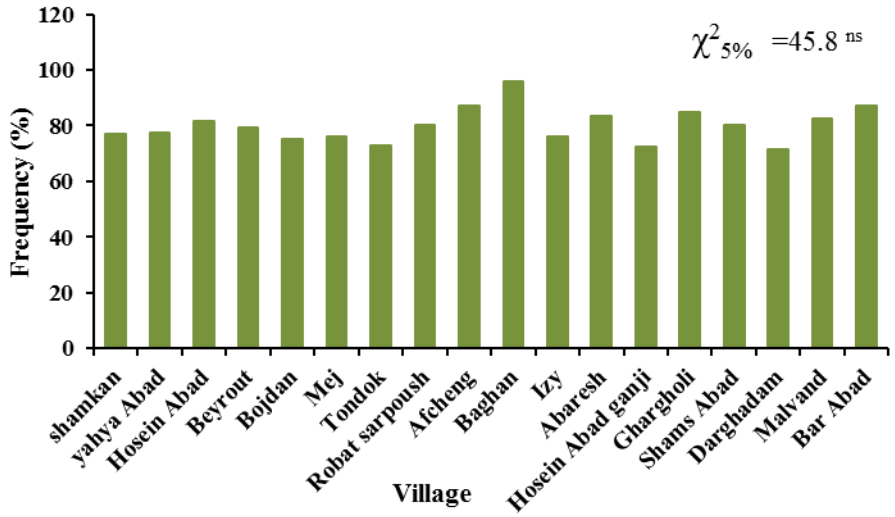
شکل ۱۲- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان به‌کارگیری آیش

Fig. 12- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to employing of fallow

تعویض بذور

یکی دیگر از روش‌هایی که کشاورزان در روستاهای مورد مطالعه برای افزایش تنوع زیستی به‌کار می‌برند، تعویض بذور مورد کاشت به‌صورت هر چند سال یک بار می‌باشد. معمولاً در این مناطق، کشاورزان برای تأمین بذر مورد نیاز خود برای کشت سال بعد، از تولیدات سال قبل استفاده می‌نمایند. بدین صورت که در پایان مرحله رشدی گیاهان، آن قطعه از زمین‌های زراعی که محصولات در آن بهتر رشد یافته و به‌قول مردم محلی "پُرتر" است را انتخاب و از بذور آن برای کشت در سال بعد استفاده می‌کنند. کشاورزان معتقدند که به‌دلیل کشت مکرر این بذور در زمین زراعی، ممکن است به‌مرور قوه نامیه بذور و در نتیجه، کیفیت محصول آن‌ها کاهش پیدا کند و به همین دلیل، بذور مورد کاشت خود را به‌طور میانگین هر پنج سال یک بار تعویض می‌کنند که این موضوع به‌خصوص برای گیاهان غالب در الگوی کشت اهمیت بسیار دارد. کشاورزان برای تأمین بذور جدید در بیشتر موارد از بذرهای تولیدی سایر کشاورزان و یا شرکت‌ها و ادارات جهاد کشاورزی استفاده می‌کنند. بررسی بیشتر این موضوع در روستاهای مورد مطالعه نشان داد که در تمامی این روستاها بیش از ۷۰ درصد کشاورزان از این روش استفاده نموده (شکل ۱۳) و بدین ترتیب، به مدیریت بهتر زمین‌های زراعی خود می‌پردازند. به نظر می‌رسد که استفاده بیشتر از ارقام بومی توسط کشاورزان به‌دلیل سازگاری این ارقام به شرایط محیطی، زمینه تولید مطلوب‌تر محصولات را فراهم آورد. وان وایک (Van Wyk, 2011) معتقد است که غلات بومی امنیت غذایی را برای کشاورزان در مقیاس کوچک فراهم می‌کنند، زیرا نسبت به خاک ضعیف و خشکسالی مقاومت بیشتری دارند. در استان لیمپوپو در آفریقای جنوبی کشاورزان پس از برداشت، محصول زراعی را می‌کوبند و بذر حاصل را برای استفاده آتی به‌دقت ذخیره می‌کنند. بذرها برای کاشت در فصل بعد با دقت و براساس رنگ انتخاب می‌شوند. بدین‌گونه که فقط بذرهای

رنگی روشن و بزرگ برای کاشت انتخاب می‌شوند. گاهی اوقات برای انتخاب بهترین بذر، آن‌ها را در آب خیسانده و فقط بذوری که در آب ته‌نشین شده را انتخاب می‌کنند و بذور شناور در سطح آب به‌دلیل احتمال پوک و یا فاسد بودن برای کاشت استفاده نمی‌شود (Rankoana, 2017). در نیجریه نیز زنان بذرها را دستچین کرده و برای کاشت در فصل بعدی نگهداری می‌کنند (Olatokun & Ayanbode, 2008).

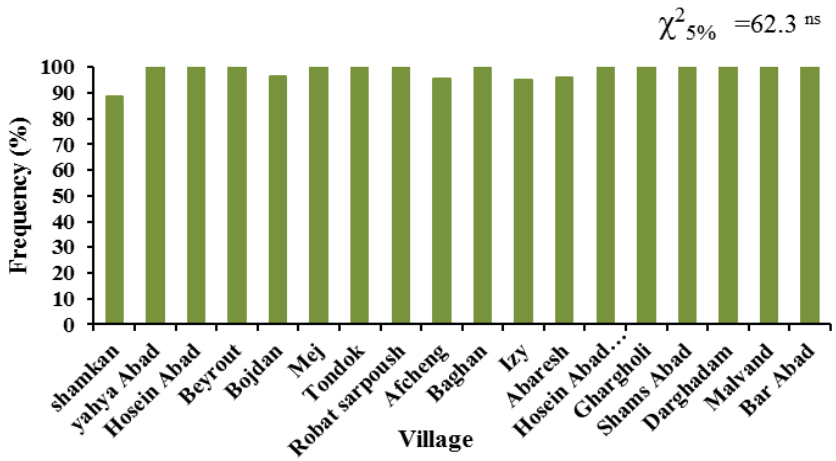


شکل ۱۳- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس میزان تعویض بذور

Fig. 13- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to the amount of seed replacement

به‌کارگیری بیش از یک روش به‌منظور افزایش تنوع زیستی

بررسی بوم‌نظام‌های زراعی در سطح چشم‌انداز در شهرستان‌های مورد مطالعه نشان داد که تقریباً تمامی کشاورزان مشارکت‌کننده در تحقیق مورد نظر برای تنوع بخشیدن بیشتر به بوم‌نظام‌های زراعی خود، بیشتر از یک روش را به‌کار گرفتند (شکل ۱۴)، که این امر نشان‌دهنده اهمیت جایگاه و مزایای حاصل از تنوع زیستی از دیدگاه کشاورزان می‌باشد. مرور دوباره نتایج در بررسی گزینه‌های مختلف افزایش تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های مورد نظر نشان داد که کشاورزان در این روستاها ابتدا با انتخاب چهار الی شش گونه گیاهی متفاوت تا حدودی تنوع زیستی در سطح گونه را بهبود بخشیده‌اند، امّا از آنجا که تنوع گونه‌ای محض به‌تنهایی قادر به افزایش تنوع زیستی کل نبوده و نقش و اهمیت تنوع کارکردی در بوم‌نظام‌های زراعی پررنگ‌تر می‌باشد، بنابراین کشاورزان برای بهبود تنوع کارکردی نیز محصولات مورد کاشت خود را از خانواده و گروه‌های گیاهی متفاتی انتخاب نموده‌اند. از آنجا که تنوع زیستی کشاورزی در نتیجه اثرات متقابل بین منابع گیاهی و جانوری محیط زنده و غیرزنده شکل می‌گیرد (Brookfield & Stocking, 1999)، لذا شامل دامنه وسیعی از موجودات زنده در سطح و درون خاک از جمله آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز، گرده‌افشان‌ها و نیز بعضی از جانداران کنترل‌کننده چرخه عناصر غذایی می‌باشد که می‌توانند برای کشاورزی مفید یا مضر باشند (Koocheki et al., 2004). تنوع زیستی کشاورزی همچنین دارای ابعاد زمانی و مکانی بوده که در مورد گیاهان زراعی تنوع مکانی معیاری از تنوع سطح زیرکشت گونه‌ها و ارقام مختلف گیاهی بوده و در مزارع در غالب کشت مخلوط و یا جنگل زراعی نمود پیدا می‌کند و تنوع زمانی یا تناوب زراعی نیز شاخصی از سرعت تغییر تنوع مکانی یا به عبارت دیگر، سرعت جایگزینی این گونه‌ها و ارقام با یکدیگر در طی زمان می‌باشد (Bajwa, 1995). بنابراین، به نظر می‌رسد آنچه که تنوع کارکردی این بوم‌نظام‌ها را کامل‌تر می‌کند، تنوع در سطح چشم‌انداز و اکوسیستم باشد.



شکل ١٤- توزیع فراوانی کشاورزان مشارکت‌کننده در روستاهای مختلف براساس کاربرد میزان روش‌های مختلف برای افزایش تنوع زیستی

Fig. 14- Frequency distribution of participating farmers in different villages according to employing of different methods to increase biodiversity

به‌طور معمول، تنوع در سطح اکوسیستم‌های زراعی به اشکال مختلفی مانند تلفیق دام در کنار زراعت[1]، تلفیق درختان باغی با گیاهان زراعی[2]، تلفیق محصولات باغی به همراه دام[3]، تلفیق باغ، زراعت و دام در کنار یکدیگر[4] و باغ‌های خانگی[5] تقسیم‌بندی می‌شود (Karimian et al., 2014). بنابراین، به نظر می‌رسد که کشاورزان بومی در مناطق مورد مطالعه با اتخاذ روش‌هایی چون کشت مخلوط (محصولات زراعی با سایر محصولات و درختان باغی)، تناوب، آیش، کاشت گیاهان در حاشیه مزراع، تعویض چند ساله بذور و در نهایت، تلفیق دام در کنار زراعت، این سطح از تنوع را نیز تا حدودی در بوم‌نظام‌های خود بهبود بخشیده‌اند. استفاده از این روش‌های متعدد به‌منظور افزایش تنوع زیستی، به‌نوعی زمینه‌ساز چند کارکردی شدن[6] این بوم‌نظام‌ها و در نهایت، منجر به استفاده بیشتر از خدمات اکوسیستمی مانند تثبیت نیتروژن، کنترل آفات و علف‌های هرز، ذخیره رطوبت، بهبود چرخه عناصر غذایی، گرده‌افشانی و مواد آلی موجود در خاک می‌شود (Isbell et al., 2017). بنابراین، با توجه به تغییرات غیرقابل پیش‌بینی آب‌وهوایی، حفظ این کارکردها و خدمات اکوسیستمی امر مهمی در پایداری و تاب آوری بوم‌نظام‌های زراعی بوده و تنوع زیستی که دربرگیرنده تنوع درون گونه‌ای تا سطح اکوسیستم می‌باشد، می‌تواند منجر به تاب‌آوری طولانی‌مدت کارکردهای اکوسیستمی و استفاده از خدمات آن‌ها شود (Oliver et al., 2015).

از جمله روش‌های دیگری که کشاورزان بومی در این مناطق به منظور افزایش تنوع زیستی در مزارع خود از آن استفاده می‌کنند، نگهداری بقایای گیاهی و شخم زدن آن‌ها به داخل خاک، کاربرد لگوم‌ها در تناب زراعی و مدیریت گیاهان غیرزراعی در اطراف مزارع و زمین‌های آیش می‌باشد که به نوبه خود منجر به افزایش تنوع زیستی در سطح و درون خاک می‌شود. به‌کار بردن کودهای آلی متفاوت مانند کود دامی، کود سبز و کمپوست‌های سنتی نیز علاوه‌بر حاصلخیزی خاک به بهبود جمعیت میکروبی آن کمک نموده و با افزایش تنوع زیستی خاک، موجب پویایی و سلامت آن نیز خواهد شد. همچنین، اتخاذ شیوه‌های مدیریتی متفاوت برای استفاده از منابع موجود مانند آب و خاک از جمله موارد دیگری می‌باشد که تا حدودی به بهبود تنوع زیستی مزراع مورد نظر، آن هم در شرایط نامساعد محیطی کمک خواهد کرد. در همین راستا، نتایج تحقیق انجام شده

1- Agropastoral
2- Agrosilviculture
3- Silvopastoral
4 -Agrosilvopastoral
5- Homegarden
6- Multifunctionality

در بین بومیان گینه ساوانا در کشور غنا نشان داد که کشاورزان با به کار بردن روش‌هایی مانند آیش، نگهداری بقایا، استفاده از کودهای آلی مانند کود دامی و کود سبز و مدیریت مناسب گیاهان غیرزراعی اطراف مزارع، در راستای بهبود ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تلاش نموده و بدین ترتیب، موجب تاب‌آوری بیشتر این مزارع در شرایط نامساعد آب‌وهوایی می‌شوند (Ansong Omari et al., 2018).

نتیجه‌گیری

بررسی روش‌های بومی مورد استفاده در زمینه افزایش تنوع در بوم‌نظام‌های زراعی شهرستان‌های سبزوار و ششتمد نشان داد که اگر چه به‌مرور زمان به‌کارگیری این روش‌ها در بوم‌نظام‌های مورد نظر کم‌رنگ شده است، امّا هنوز هم بعضی از کشاورزان در مزارع خود از این روش‌ها بهره می‌گیرند. نتایج همچنین نشان داد که کشاورزان با انتخاب گونه‌های مختلف زراعی از خانواده و گروه‌های گیاهی متنوع و نیز استفاده از روش‌هایی مانند کشت مخلوط، کاشت گیاهان در حاشیه مزراع، تناوب، پرورش دام در کنار زراعت، آیش و تعویض چند ساله بذور مورد کاشت، تا حدودی موجب افزایش تنوع زیستی در سه سطح گونه‌ای، کارکردی و اکوسیستمی در بوم‌نظام‌های زراعی این مناطق می‌شوند. از آنجا که شرایط آب‌وهوایی روستاهای مورد نظر و نیز منابع آبی مورد استفاده جهت آبیاری در این مزارع تا حدودی متفاوت بود، لذا میزان به‌کارگیری روش‌های بیان شده جهت افزایش تنوع زیستی در این روستاها یکسان نبود. نکته قابل توجه در این بوم‌نظام‌ها، استفاده از سیستم‌هایی با تلفیق دام در کنار زراعت، تلفیق درختان باغی در کنار زراعت و در نهایت، تلفیق دام، زراعت و درختان باغی در کنار یکدیگر بود که این موضوع نه تنها نشان‌دهنده وجود تنوع قابل توجه در سطح اکوسیستم می‌باشد، بلکه موجب تنوع بخشی به منبع درآمد و بنابراین، امنیت اقتصادی نسبی کشاورزان در این منطقه بود. امّا به‌طور کلی و با توجه به تغییرات نامناسب شرایط اقلیمی و آب‌وهوایی در این منطقه (کاهش میزان بارندگی و شور شدن منابع آب آبیاری در بعضی موارد)، به نظر می‌رسد که درصورت عدم اتخاذ سیاست‌های مناسب درمورد تنوع زیستی و استفاده از سایر منابع موجود در این بوم‌نظام‌ها، به‌مرور زمان الگوی کشت کشاورزان در این دو شهرستان ساده‌تر و محدود به گیاهان متحمل به شرایط خشکی و شوری خواهد شد که این موضوع می‌تواند شرایط را برای کشاورزان خرده‌پا سخت‌تر کرده و امنیت اقتصادی آن‌ها را نیز با چالش‌های جدی مواجه سازد.

سپاسگزاری

بودجه این پژوهش (با کد طرح ۴۳۶۰۵) از محل اعتبارات معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین گردید که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

References

1. Abbasi, N., Ghoochani, O., Ghanian, M., & Kitterlin, M. (2016). Assessment of household food insecurity through use of a USDA questionnaire. *Journal of Advances in Plants and Agriculture Research, 4*, 155-167. https://doi.org/10.15406/apar.2016.04.00155.
2. Ahmadrash, R., & Danesh Mehr, H. (2013). Indigenous knowledge and development (insights and methods in the study of indigenous knowledge). Sociologists Publications, Tehran, Iran.
3. Ainsworth, G.B., Redpath, S.M., Wilson, M., Wernham, C., & Young, J.C. (2020). Integrating scientific and local knowledge to address conservation conflicts: Towards a practical framework based on lessons learned from a Scottish case study. *Journal of Environmental Science and Policy, 107*, 46-55. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.02.017.
4. Akbari, A., Ebrahimi, M., & Amir Ahmadi, A. (2013). Preparation of land use map of Sabzevar city using maximum likelihood methods and multilayer perceptron artificial neural network. *Quarterly Journal of Environmental-based Territorial Planning (JETP), 23*, 127-148. (In Persian with English abstract)
5. Altieri, M.A. (1999). The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Journal of Agriculture, Ecosystem and Environment, 74*, 19-31. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(99)00028-6.
6. Altieri, M., & Nicholls, C. (2005). Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture. United Nations Environment Programme. Environmental Training Network for Latin America and the Caribbean. https://conference.naaee.org/conference.

7. Altieri, M.A. (2009). The ecological impacts of large-scale agrofuel monoculture production systems in the Americas. *Bulletin of Science, Technology and Society, 29*(3), 236–244. https://doi.org/10.1177/0270467609333728.
8. Altieri, M.A., Nicholls, C.I., Henao, A., & Lana, M.A. (2015). Agroecology and the design of climate change-6resilient farming systems. *Journal of Agronomy for Sustainable Development, 35,* 869–890. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2.
9. Ansong Omari, R., Bellingrath-Kimura, S.D., Sarkodee Addo, E., Oikawa, Y. & Fujii, Y. (2018). Exploring farmers' indigenous knowledge of soil quality and fertility management practices in selected farming communities of the Guinea Savannah agro-ecological zone of Ghana. *Journal of Sustainability, 10*(4), 1034. https://doi.org/10.3390/su10041034
10. Azam-Ali, S. (2007). Agricultural diversification: The potential for underutilized crops in Africa's changing climates. Biology Journal, 100, 27–38. Available at Web site https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17592817/ (Verified 25 April 2007).
11. Azizi Damirchiloo, A. (2012). Modern rural management is a solution for the realization of rural entrepreneurship. Rural Development Conference. Guilan, Iran. p. 1-6. (Verified 20 April 2016)
12. Bajwa, M.A. (1995). Wheat research and production in Pakistan. In: L. Villarel Wheats for More Tropical Environments. Proceedings of the International Symposium, CIMMYT, Mexico, 68-72.
13. Barrios, E. (2007). Soil biota, ecosystem services and land productivity. *Ecological Economice, 64*(2), 269-285. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.03.004.
14. Bisht, I.S., Rana, J.C., Jones, S., Estrada-Carmona, N., & Yadav, R. (2021). Agroecological approach to farming for sustainable development: The Indian scenario. https:// www.intec hopen.com/ online- frst/ 78809. (Accessed on 16 Jan 2022)
15. Boerma, D., & Koohafkan, P. (2004). Local Knowledge Systems and the Management of Dryland Agro-ecosystems: Some Principles for an Approach. Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO). Available at Web site http://www.fao.org/docrep/015/ap026e/ap026e.pdf (Verified 24 September 2022).
16. Brookfield, H., & Stocking, M. (1999). Agro diversity: Definition, description and design. *Journal of Global Environmental Change, 9*, 77-80. https://doi.org/10.1016/S0959-3780(99)00004-7.
17. Chambers, R., & Conway, G. (1992). Sustainable rural livelihoods: practical concepts for the 21st century, Institute of Development Studies (UK). Available at Web site https://www.ids.ac.uk/download.php?file=files/Dp296.pdf. (Verified 20 June 1993).
18. Collins, M.R., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J.L., Fichefet, T., Friedlingstein, P., Gao, X., Gutowski, W.J., Johns, T., Krinner, G., Shongwe, M., Tebaldi, C., Weaver, A.J., & Wehner, M. (2013). Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. In: T.F. Stocker, D. Qin, G.K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley, (Eds.), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
19. Coumou, D., & Rahmstorf, S. (2012). A decade of weather extremes. *Natural Climate Change, 2*, 491-496. https://doi.org/10.1038/nclimate1452.
20. Degaga, J., & Angasu, B. (2017). Assessment of indigenous knowledge of smallholder farmers on intercropping practices in west Hararghe Zone; Oromia National Regional State, Ethiopia. *Journal of Agricultural Economics and Rural Development, 3*(3), 270-278.
21. Deur, D., & Turner, N.J. (2005). Introduction: reassessing indigenous resource management, reassessing the history of an idea. In: D. Deur, N.J. Turner, (Eds.), Keeping it Living: Traditions of Plant Use and Cultivation on the Northwest Coast of North America.
22. Garibaldi, L.A., Gemmill-Herren, B., D'Annolfo, R., Graeub, B.E., Cunningham, S.A., & Breeze, T.D. (2017). Farming approaches for greater biodiversity, livelihoods, and food security. *Journal of Trends in Ecology and Evolution, 32*(1), 68-80. https://doi.org/10.1016/j.tree.2016.10.001
23. Ghanian, M., Ghoochani, O., Dehghanpour, M., Taqipour, M., & Taheri, F. (2020). Understanding farmers' climate adaptation intention in Iran: A protection motivation extended model. Matthew Cotton. *Land Use Policy, 94*, 1-13. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104553.
24. Gebrewahid, Y., & Abrehe, S. (2019). Biodiversity conservation through indigenous agricultural practices: Woody

species composition, density and diversity along an altitudinal gradient of Northern Ethiopia. *Journal of Cogent Food and Agriculture, 5*(1), 1700744. https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1700744.

25. Giri, K., Mishra, G., Rawat, M., Pandey, S., Bhattacharyya, R., Bora, N., & Rai, J.P.N. (2020). Traditional farming systems and agro-biodiversity in eastern Himalayan region of India. *Journal of Microbiological Advancements for Higher Altitude Agro-Ecosystems and Sustainability*, 71-89. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1902-4_5
26. Gizaw, B., Tsegay, Z., Tefera, G., Aynalem, E., Abatneh, E., & Amsalu, G. (2018). Traditional knowledge on teff (Eragrostis tef) farming practice and role of crop rotation to enrich plant growth promoting microbes for soil fertility in East Showa: Ethiopia. *Agriculture Research and Technology, 16(5),* 1-17. https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2018.16.556001
27. Hamadani, H., Rashid, S.M., Parrah, J.D., Khan, A.A., Dar, K.A., Ganie, A.A., & Ali, A. (2021). *Traditional farming practices and its consequences*. In: Traditional farming practices and its consequences, Chapter 6, 119-128.

Hanjra, M.A., & Qureshi, M.E. (2010). Global water crisis and future food security in an era of climate change. *Journal of Food Policy, 35*, 365–377. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.05.006.

28. Hens, L. (2006). Indigenous knowledge and biodiversity conservation and management in Ghana. *Journal of Human and Ecology, 20*(1), 21-30. https://doi.org/10.1080/09709274.2006.11905897.
29. Howden, S.M., Soussana, J.F., Tubiello, F.N., Chhetri, N., Dunlop, M., & Meinke, H. (2007). Adapting agriculture to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 104*, 19691–19696. https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104.
30. Isbell, F., Adler, P.R., Eisenhauer, N., Fornara, D., Kimmel, K., Kremen, C., Letourneau, K., Liebman, M., Polley, H.W., Quijas, S., & Scherer-Lorenzen, M. (2017). Benefits of increasing plant diversity in sustainable agroecosystems. *Journal of Ecology, 105*, 871–879. https://doi.org/10.1111/1365-2745.12789.
31. Jackson, L.E., Pascual, U., & Hodgkin, T. (2007). Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. *Journal of Agriculture, Ecosystems and Environment, 121*, 196. https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.017.
32. Jahan, M., Amiri, M.B., Javadi, M., & Jahani, M. 2015. Agroecology. (Translation). Publications of Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Publication number 640.
33. Karimian, V., Safaei, M., & Matinkhah, S.H. (2014). Using indigenous knowledge of nomadic people as a suitable guidance for optimal management in forest natural ecosystems. *Journal. of Wood and Forest Science and Technology, 21*(4), 95-114. (In Persian with English abstract)
34. Kassie, M., Shiferaw, B., & Muricho, G. (2011). Agricultural technology, crop income, and poverty alleviation in Uganda. *World Development, 39*(10), 1784-1795. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2011.04.023
35. Ki Khosravi, Q., & Yarmoradi, Z. (2013). Locating suitable sites for artificial feeding of underground water sources and flood spreading areas using geographic information system (GIS) (case study; Sabzevar city). *Journal of Geographical Information Scientific-Research Quarterly, 23*, 25-31. (In Persian with English abstract)
36. Koocheki. A., Nassiri Mahallati, M., Javadi, M., & Davar Panah, J. (2021). Evaluation of water use efficiency in intercropping of sunflower (*Helianthus annuus* L.), cotton (*Gossypium* spp.) and fodder beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Agroecology, 15*(4), 643-663. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2021.68427.1014
37. Koocheki, A., Nassiri Mahllati, M., Zarea Fizabadi, A., & Jahanbin, G. 2004. Diversity of cropping systems in Iran. *Pajouhesh and Sazandegi, 63*, 70-83. (In Persian with English abstract)
38. Mairura, F.S., Mugendi, D.N., Mwanje, J.I., Ramisch, J.J., Mbugua, P.K., & Chianu, J.N. (2007). Integrating scientific and farmers' assessment of soil quality indicators in central Kenya. Geoderma, management strategies in Tigray, Ethiopia. *Managing Africa's Soils*, 10-23. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2007.01.019.
39. Moonen, A., & Ba `Rberi, P. (2008). Functional biodiversity: An agroecosystem approach. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 127*, 7–21. https://doi.org/10.1016/j.agee.2008.02.013.
40. Mosothwane. M. (2007). the role of indigenous/local knowledge in sustaining environmental quality and its implications for environmental education Teaching. *Pakistan Journal of Social Sciences, 4*(6), 725-738. https://doi.org/=pjssci.2007.725.738.
41. Muragea, W., Karanja, N.K., Smithson P.C., & Woomerb P.L. (2000). Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 79*, 1–8.

42. Nakhzari-Moghaddam, A., Dehghanpoor, O., & Rahemi Karizaki, A. (2016). The effect of nitrogen levels and different ratios of replacement intercropping series on forage yield and competition indices of barley and green pea. *Electronical Journal of Crop Production*, *1*, 199-214. (In Persian with English abstract)
43. Nelson, F. (2012). Blessing or curse? The political economy of tourism development in Tanzania. *Journal of Sustainable Tourism*, *20*(3), 359-375. https://doi.org/10.1080/09669582.2011.630079.
44. Kumar, N. (2020). Plant production through indigenous traditional knowledge. *Journal of Just Agriculture*, *1*(3), 1-3.
Olatokun, W.M., & Ayanbode, O.F. (2008). Use of indigenous knowledge by rural women in the development of Ogun State. *African Journal of Indigenous Knowledge Systems*, *20*, 47–63. https://doi.org/10.4314/indilingav7il-26392.
45. Oliver, T.H. Matthew, S.H., Isaac, N.J.B., Roy, D.B., Procter, D., Eigenbrod, F., Freckleton, R., Hector, A., Orme, C.D.L., Petchey, O.L., Proença, V., Raffaelli, D., Blake Suttle, K., Mace, G.M., Martín-López, A., Woodcock, M., & Bullock, M. (2015). Biodiversity and Resilience of Ecosystem functions. *Journal of Ecology and Evolution*, *30*(11), 673-684. https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.08.009.
46. Pandey, D.K., Momin, K.C., Dubey, S.K., & Adhiguru, P. (2022). Biodiversity in agricultural and food systems of jhum landscape in the West Garo Hills, north-eastern India. *Food Security*, *16*, 1–4. https://doi.org/10.1007/ s12571-021- 01251-y.
47. Patel, S.K., Sharma, A., & Singh, G.S. (2020). Traditional agricultural practices in India: An approach for environmental sustainability and food security. *Journal of Energy Ecological Environment*, *5*(4), 253–227. https://doi.org/10.1007/ s40974- 020- 00158-2.
48. Pilling, D., Bélanger, J., & Hoffmann, I. (2020). Declining biodiversity for food and agriculture needs urgent global action. *Journal of Nature Food*, *1*(3), 144-147. https://doi.org/10.1038/s43016-020-0040-y
49. Pirasteh-Anosheh, H., Edalat, M., & Dehghany, F. (2016). Midterm effect of maize (*Zea mays* L.), wheat (*Triticum aestivum* L.) rotations on grain yield and soil properties. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *18*(2), 147-160. (In Persian with English abstract)
50. Rafifar, J., Danesh Mehr, H., & Ahmadrash, R. (2012). Insights and methods in indigenous knowledge research and its place in the process of sustainable rural development. *Journal of Rural Development*, *4*(1), 19-38. (In Persian with English abstract)
51. Rahimizadeh, M., Zare Feizabadi, A., Kashani, A., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2012). Evaluation of soil fertility in wheat-based double cropping systems under different rates of nitrogen and return of crop residue. *Journal of Water and Soil*, *25*, 1277-1286. (In Persian with English abstract)
52. Rajasekaran, B. (1993). A framework for incorporating indigenous knowledge systems into agricultural research, extension, and NGOs for sustainable agricultural development. Studies in Technology and Social Change. Ph.D. Dissertation No. 21. Ames, IA: Technology and Social Change Program, Iowa State University.
53. Rankoana, S.A. (2017). The Use of Indigenous Knowledge in Subsistence Farming: Implications for Sustainable Agricultural Production in Dikgale Community in Limpopo Province, South Africa. Creative Commons Attribution (CC-BY) Available at Web site (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). (Verified on December 20, 2022)
54. Reckling, M., Albertsson, J., Vermue, A., Carlsson, G., Watson, C.A., Justes, E., Bergkvist, G., Steen Jensen, E., Cairistiona, F., & Topp, E. (2022). Diversification improves the performance of cereals in European cropping systems. *Journal of Agronomy for Sustainable Development*, *42*(118), 1-14. https://doi.org/10.1007/s13593-022-00850-z.
55. Renard, D., & Tilman, D. (2019). National food production stabilized by crop diversity. *Journal of Nature*, *571*(7764), 257–260. https://doi.org/10.1038/ s41586- 019- 1316-y
56. Salem, J., & Dehghani-Tafti, M.A. (2019). Indigenous knowledge in the management of optimal water consumption in agriculture in Yazd province. Agricultural and natural resources research and training center of Yazd province.
57. Sanders, R. (2010). Agriculture, Agricultural Biodiversity and Sustainability. www.bioversityinternational.org/fileadmin/bioversityDocs/Announcements/COP10/Agricultural biodiversity and sustainability. (Verified 5 September 2010)
58. Shah-Hosseini, A. (2019). Indigenous knowledge at the core of peri-urban developments; Karand and Farur villages in the north of Garmsar city. *Development of peri-urban space*, *1*(1), 67-82. (In Persian with English abstract)
59. Sithole, M. (2020). Indigenous knowledge systems in crop management and grain storage in Chimanimani District of Zimbabwe. *Southern African Journal of Environmental Education*, *36*, 21-32. https://doi.org/10.4314/sajee.v36i1.3.

60. Smith, J., Potts, S.G., Woodcock, B.A., & Eggleton, P. (2008). Can arable field argins be managed to enhance their biodiversity, conservation and functional value for soil macro fauna? *Journal of Applied Ecology*, *45*, 269-278. https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2007.01433.x.
61. Statistical Center of Iran. (2015). Statistical Yearbook of Razavi Khorasan Province. Tehran; Statistical Center of Iran. Available Online at: www.amar.org.ir. (Verified 5 September 2021)
62. Tikai, P., & Kama, A. (2010). A study of indigenous knowledge and its role to sustainable agriculture in Samoa. *Ozean Journal of Social Sciences*, *3*(1).
63. Toledo, V.M. (2013). Indigenous people and biodiversity. *Encyclopedia of Biodiversity*, *4*, 269-278.
Turral, H., Burke, J.J., & Faurès, J.M. (2011). *Climate Change, Water and Food Security*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, Italy.
64. Van Wyk, B.E. (2011). The potential of South African plants in the development of new food and beverage products in South. *African Journal of Botany*, *77*, 857–868. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.08.011.
65. Zare-Feizabadi, A., & Nouri Hoseini, M. (2013). Study on the variations of organic carbon and some nutrients in soil in wheat-based rotations. Iran. *Journal of Soil Research*, *27*, 629-643. (In Persian with English abstract)
66. Zhang, Y., Min, Q., Li, H., He, L., Zhang, C., & Yang, L. (2017). A conservation approach of globally important agricultural heritage systems (GIAHS): Improving traditional agricultural patterns and promoting scale-production. *Journal of Sustainability*, *9*(2), 295. https://doi.org/10.3390/su9020295.

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 317-330

Investigating the Effect of Organic Fertilizers Municipal Waste Compost and Orange Waste Compost on Growth and Yield of Common Millet (*Panicum miliaceum* L.)

Mohammad Hassan Sayyari Zahan[1]*, Ali Asghar Beigi[2] and Gholam Reza Zamani[3]

1- Associate Professor, Department of Soil Science and Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
2 and 3- Graduate M.Sc. and Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
(*- Corresponding author's Email: msayari@birjand.ac.ir)

Received: 27-01-2023
Revised: 14-06-2023
Accepted: 18-07-2023
Available Online: 18-07-2023

How to cite this article:
Sayyari Zahan, M.H., Beigi, A.A. & Zamani, G.R. (2024). Investigating the effect of organic fertilizers municipal waste compost and orange waste compost on growth and yield of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Journal of Agroecology*, *16*(2), 317-330. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80781.1142

Introduction

Common millet (*Panicum miliaceum* L.) belonging to the family Gramineae is a warm-season grass with a growing season length of 60–100 days. It is specially adapted to hot summers in the tropics and high altitudes, where the growing season is short, and the soil is poor in fertility. Among grain crops, common millet has the lowest water requirement and can grow on any type of soil except coarse sand. Therefore, appropriate management of common millet is necessary to maximize yield and yield components. Organic matter is one of the most important constituents of soil, significantly affecting the availability of nutrients and improving the soil's physical, chemical, and biological properties. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effects of different levels of municipal waste compost and orange waste compost on vegetative, reproductive growth, and yield of common millet.

Materials and Methods

The experiment was designed as a factorial arrangement based on a randomized complete block design with three replications under field conditions in Gonabad during the growing season of 2018. Treatments were three levels of municipal waste compost (0, 7.5, and 15 $t.ha^{-1}$) and three levels of orange waste compost (0, 7.5, and 15 $t.ha^{-1}$). The measured indices including vegetative characteristics (plant height (cm), number of tillers per plant, plant dry weight ($g.plant^{-1}$), number of leaves per plant, panicle height (cm)) and reproductive characteristics (seed yield per plant (g), 1000-seed weight (g), seed yield, biological yield ($kg.ha^{-1}$) and harvest index). Finally, the experimental data were statistically analyzed using the SAS program ver. 9.1 and comparison of means was performed by LSD test at 5% probability level.

Results and Discussion

The results showed that with increasing use of municipal waste compost as well as orange compost in soil, plant height, dry weight and grain yield and harvest index increased. The highest amount of municipal waste

https://doi.org/10.22067/agry.2023.80781.1142

compost (15 $t.ha^{-1}$) and orange waste compost (15 $t.ha^{-1}$) increased the plant height by 15.8 and 11.8 percent, respectively, compared to control. The reason for the increase in plant height due to the use of organic materials is due to the improvement of the chemical and physical properties of the soil, the increase in the storage capacity of nutrients, and the preparation of the ground bed for better root growth in the soil. The maximum dry-weight plant was obtained in the treatment of municipal waste compost (15 $t.ha^{-1}$) and orange waste compost (15 $t.ha^{-1}$). The nitrogen present in organic fertilizers enhances vegetative growth, and the high potassium in these fertilizers, in addition to accelerating cell division and directly affecting vegetative growth due to its role in the production of carbohydrates and proteins and the concentration of cell sap, increases the dry weight of the plant. The highest seed yield was observed at the level of 15 tons per hectare of municipal waste compost, with a 60.2% increase compared to the control, and at the level of 15 tons per hectare of orange waste compost, with an increase of 37.4% compared to the zero level. Also, the simple effect of municipal waste compost and orange waste and the interaction of two treatments on grain weight per plant, 1000-seed weight, biological yield, and harvest index were significant. The highest seed weight per plant was obtained from the highest levels of municipal waste compost and orange waste (15 $t.ha^{-1}$ + 15 $t.ha^{-1}$). The highest 1000-seed weight and biological yield were observed in the treatment of municipal waste compost (15 $t.ha^{-1}$) and orange waste compost (15 $t.ha^{-1}$). Also, the highest harvest index was related to the treatment of municipal waste compost (15 $t.ha^{-1}$) and orange waste compost (7.5 $t.ha^{-1}$). Probably, the availability of more nutrients for the plant has led to an increase in the production of photosynthetic materials for the seeds and, as a result, an increase in their weight.

Conclusion

The results of this study showed that municipal waste compost and orange waste compost had a significant effect on the yield and growth characteristics of common millet. Thus, results showed that municipal waste compost (15 $t.ha^{-1}$) and orange waste compost (15 $t.ha^{-1}$) had a strong impact on the yield and growth characteristics of common millet under field conditions.

Keywords: Harvest index, Millet height, Panicole, 1000- seed weight

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۳۰-۳۱۷

بررسی اثرات کودهای آلی کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال بر رشد و عملکرد ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)

محمد حسن سیاری زهان[۱]*، علی اصغر بیگی[۲] و غلامرضا زمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۰۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

چکیده

اثرات کاربرد دو نوع کود آلی بر صفات رویشی و زایشی گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.)، در آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ در شهرستان گناباد مورد بررسی قرار گرفت. در این آزمایش، از مقادیر صفر، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار کمپوست ضایعات پرتقال تولیدی و کمپوست زباله شهری استفاده گردید. نتایج آزمایش نشان داد که با افزایش میزان مصرف کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال در خاک ارتفاع بوته، وزن خشک، عملکرد دانه و شاخص برداشت گیاه افزایش پیدا کرد. مصرف ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۵ تن در هکتار ضایعات پرتقال، تعداد پنجه در بوته را به‌ترتیب ۶۹/۸ و ۲۶/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. بالاترین سطح کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال وزن دانه در بوته را به‌ترتیب ۴۱/۵ و ۱۶/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه در بوته، وزن هزار دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت ارزن داشتند. بیشترین وزن دانه در بوته (۱۳/۸۲ گرم)، وزن هزار دانه (۹/۰۶ گرم) و عملکرد بیولوژیک (۱۰۱۵۹/۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار مصرف ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۵ تن در هکتار کمپوست ضایعات پرتقال و کمترین میزان این صفات از شاهد به‌دست آمدند. در این پژوهش مشخص گردید که استفاده از ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۵ تن در هکتار ضایعات پرتقال می‌تواند برای بهبود بخشیدن به عملکرد و اجزای آن مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ارزن، پانیکول، شاخص برداشت، وزن هزار دانه

مقدمه

ارزن معمولی با نام علمی *Panicum miliaceum* L. یکی از غلاتی است که نسبت به تنش خشکی متحمل بوده و می‌توان از آن در مناطق خشک و نیمه خشک به‌عنوان منبع قابل اطمینان تولید دانه و علوفه استفاده کرد (Hajinia et al., 2019). ارزن، غله‌ای چهار کربنه است که کارایی فتوسنتزی و استفاده از آب در آن در مقایسه با غلات سه کربنه مثل گندم و جو بسیار زیادتر است (Hajinia & Ahmadvand, 2017). بنابراین، کاشت ارزن به‌دلیل سازگاری به شرایط گرم و خشک، مقاومت نسبی به کم‌آبی و گرما، رشد سریع، قدرت پنجه‌زنی زیاد و عملکرد مطلوب (با متوسط عملکرد ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار) و توجیه اقتصادی مورد توجه کشاورزان قرار گرفته است (Kazemi Arbat, 1996).

ویژگی‌های اقلیمی و مدیریت ناکافی اراضی کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به کاهش مواد آلی شده است. مواد آلی عامل اصلی حاصلخیزی و بهبود باروری خاک هستند و برای حفظ

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.
۲ و ۳- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: msayari@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.80781.1142

سطح حاصلخیزی و قابلیت تولید خاک، میزان مواد آلی خاک باید در سطح مناسبی حفظ شود (Pedera et al., 2007). در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله ایران، نه تنها برگشت مواد آلی به خاک کم است، بلکه با مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، عدم استفاده از کودهای آلی و فعالیت شدید میکروبی، مواد آلی موجود در خاک نیز به سرعت تجزیه می‌شوند. در چنین شرایطی، استفاده از کودهای آلی در مدیریت عناصر غذایی بسیار اهمیت دارد (Naghavi Maremati et al., 2007) و با مصرف مواد آلی می‌توان پتانسیل تولید اراضی کشاورزی را به‌طور چشمگیری افزایش داد (Koocheki et al., 1998).

از طرفی، افزایش روز افزون زباله‌های شهری و صنعتی و رها نمودن آن‌ها در زمین‌های اطراف شهرها، رودخانه‌ها، جنگل‌ها و مزارع، نیز به نوبه خود منجر به آلودگی زیست‌بوم‌های آبی- خاکی شده است. بازیافت زباله‌ها، به‌خصوص زباله‌های خانگی و تبدیل آن‌ها به کمپوست (Hargreaves et al., 2008) می‌تواند به‌عنوان یک روش مدیریتی مناسب برای حذف مواد زائد جامد و تبدیل آن‌ها به موادی با ارزش محسوب شود و به‌عنوان ابزاری مناسب در کنترل انواع مختلف بقایا و کاهش مصرف کودهای معدنی در کشت محصولات زراعی و افزایش جذب عناصر کم‌مصرف به‌وسیله گیاهان تلقی شود. استفاده از کودهای آلی همچون کمپوست فاضلاب‌ها و زباله شهری، علاوه‌بر بهبود خواص شیمیایی و بیولوژیکی خاک، با بهبود خواص فیزیکی خاک سبب می‌شوند تا ریشه گیاه به‌راحتی در خاک نفوذ کرده و توسعه یابد و از آب‌وهوا و عناصر غذایی موجود به نحو مطلوب استفاده نماید (Malakouti, 1999).

در آزمایش ارهات و همکاران (Erhart et al., 2005) تمام تیمارهای حاوی کمپوست به‌دست آمده از بقایای کشاورزی، افزایش عملکرد گیاهان زراعی را نسبت به شاهد نشان دادند. آن‌ها دریافتند که در خاک‌های حاصلخیز اثر کمپوست کم است، ولی در طول زمان افزایش می‌یابد. گزارش هارتل و همکاران (Hartl et al., 2003) نیز بیانگر افزایش عملکرد کمّی و کیفی چاودار (*Secale montanum*) در اثر استفاده از کمپوست به‌دست آمده از بقایای کشاورزی بود. همچنین، در آزمایشی مشخص گردید که کاربرد ۱۰ تن در هکتار کمپوست باعث افزایش عملکرد محصول پیاز به‌میزان ۱۶ درصد نسبت به شاهد گردیده است (Daniel et al., 2002). یافته‌های محققین دیگر نیز مؤید آن بود که استفاده از کمپوست زباله شهری به میزان ۱۵ تن در هکتار، بیشترین ارتفاع بوته و تعداد برگ در بوته را در دو گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata* Forsk.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) ایجاد نمود (Asgharipour & Ahmadian, 2008).

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر دو نمونه از کودهای آلی شامل کمپوست زباله شهری و کمپوست تولیدی از ضایعات پرتقال، بر عملکرد و اجزای عملکرد ارزن معمولی مورد بررسی قرار گرفت، با این فرضیه که کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال بر فاکتورهای رشد و عملکرد ارزن تأثیرگذار می‌باشند تا در صورت اثبات شدن این مطلب بتوان از کمپوست زباله شهری و همچنین، کمپوست ضایعات پرتقال، به‌عنوان جایگزین و مکمل کودهای شیمیایی در تغذیه گیاه ارزن استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه‌ای در شهرستان گناباد در سال زراعی ۱۳۹۷- ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتورهای مورد آزمایش شامل کمپوست ضایعات پرتقال و کمپوست زباله شهری است و میزان مصرفی برای هرکدام در سه سطح صفر، ۷/۵ و ۱۵ تن در هکتار بود. کمپوست زباله شهری مصرفی در این پژوهش از کارخانه کمپوست زباله شهری شهرداری مشهد تهیه گردید.

جهت تهیه کمپوست از ضایعات پرتقال ابتدا نسبت به حفر یک گودال به ابعاد ۱×۱×۱ اقدام گردید. جهت محافظت از شیرابه‌های تولیدی احتمالی در اثر فشرده‌سازی، کف گودال با پلاستیک پوشانیده شد. با تهیه لوله پلیکا P.V.C به‌طول ۱/۵ متر و سوراخ کردن اطراف آن در طول یک متر و با کار گذاشتن آن داخل چاله جهت تخلیه گازهای تولیدی اقدام شد. با توجه به اینکه بیشتر ضایعات پرتقال مربوط به پوست آن بود، مقدار ۱۰۰ گرم پوست پرتقال خرد شده را داخل بشر ریخته و مقدار ۱۵۰ سی سی آب مقطر به آن اضافه کرده و سپس، بعد از مدت ۲۴ ساعت نسبت به اندازه‌گیری Ec و pH اقدام گردید. جهت تعیین رطوبت نمونه، مقدار ۱۰ گرم از آن را به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون قرار داده شد تا خشک شود. برای تولید کمپوست و ایجاد شرایط مناسب برای فعالیت ریزجانداران، به‌ازای هر ۴۰ کیلوگرم ضایعات پرتقال دو کیلوگرم کود اوره را در مقدار مناسب آب حل و به آن اضافه گردید و سپس، با یک لایه ۱۰ سانتی‌متری از ماسه بادی آن را پوشاندیم و این کار را تا پر

شدن کامل چاله ادامه داده و در پایان این مرحله روی آن را با خاک معمولی به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر پوشانده و جهت پوسیده شدن و تهیه کمپوست به آن شش ماه فرصت دادیم. قبل از کشت، جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی-متر نمونه‌برداری گردید (جدول ۱). همچنین، قبل از اعمال سطوح کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال، بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها تعیین شد (جدول ۲).

به‌منظور اجرای آزمایش، پس از شخم، دیسک و مسطح کردن خاک، کرت‌هایی به ابعاد ۴ × ۲ متر ایجاد گردید. عملیات کاشت به صورت ردیفی در ۲۲ تیر سال ۱۳۹۷ انجام گرفت. فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها از یکدیگر به‌ترتیب یک و دو متر و برای هر بلوک یک جوی جداگانه جهت آبیاری کرت‌ها در نظر گرفته شد. در این تحقیق، از گیاه ارزن معمولی (*Panicum miliaceum* L.) استفاده گردید. تراکم مورد استفاده ۴۰ بوته در متر مربع بود و هر کرت دارای چهار ردیف کاشت با فاصله بین ردیف ۴۵ سانتی متر بود و عمق کاشت یک سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

آبیاری اول بعد از کاشت (۲۳ تیر) و سه مرحله بعدی آبیاری، هر چهار روز یک بار به‌منظور تسهیل در سبز شدن بذرها انجام شد. بعد از سبز شدن بذور به‌فاصله هر هفت روز یک بار آبیاری انجام گرفت. مدیریت علف‌های هرز غالب مزرعه همچون خارشتر، خارخسک، پیچک، علف شور و سوروف با وجین دستی طی دو مرحله صورت گرفت.

عملیات نمونه‌برداری در ۸ مهر ۱۳۹۷ بعد از رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد و از هر کرت پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات ارتفاع بوته، وزن خشک گیاه، طول پانیکول و تعداد پنجه در بوته اندازه‌گیری شد. همچنین، پس از حذف اثر حاشیه (دو ردیف کناری و نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت) بوته‌های باقی‌مانده جهت تعیین عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برداشت شد. در پایان، از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت محاسبه گردید. ارتفاع بوته و طول پانیکول به کمک خط‌کش اندازه‌گیری شدند. برای تعیین وزن خشک گیاه، از بوته‌های جمع‌آوری شده از هر کرت با رطوبت تقریبی ۱۴ درصد استفاده گردید، سپس با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از نرم‌افزار SAS 9.1 استفاده شد. میانگین‌ها براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از شروع آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil used in experiment

سیلت Silt	رس Clay	شن Sand	بافت Texture	کربن آلی OC	شاخص واکنش pH	منیزیم Mg	کلسیم Ca	پتاسیم K	سدیم Na	هدایت الکتریکی EC
	(%)			(%)		(meq.L^{-1})				(dS.m^{-1})
28.2	20	51.8	لومی Loam	0.58	7.75	2.23	1.76	0.51	3.48	7.2

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی کمپوست‌های مورد استفاده

Table 2- Chemical properties of used composts

کمپوست Compost	شاخص واکنش pH	کربن آلی OC	نیتروژن N	فسفر P	هدایت الکتریکی EC
		(%)		(mg.kg^{-1})	(dS.m^{-1})
کمپوست ضایعات پرتقال Orange waste compost	7.1	1.63	0.158	30	10.1
کمپوست زباله شهری Municipal waste compost	8	27.07	0.79	13	4.48

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

اثر ساده کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال بر ارتفاع بوته ارزن معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان کمپوست زباله شهری (۱۵ تن در هکتار) و کمپوست ضایعات پرتقال (۱۵ تن در هکتار) ارتفاع گیاه را به‌ترتیب ۱۵/۸ و ۱۱/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند (جدول ۴).

به نظر می‌رسد که علت افزایش ارتفاع گیاه در اثر کاربرد مواد

آلی، به سبب بهبود خواص شیمیایی و فیزیکی خاک، افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و آماده سازی بستر زمین برای رشد بهتر ریشه در خاک (Arancon et al., 2004) باشد. محققان در آزمایشی روی گیاه به لیمو (*Lippia citriodora*) مشاهده کردند که تیمار ۲۰ درصد کمپوست زباله شهری موجب افزایش ارتفاع بوته به‌مقدار ۲۳/۳ درصد نسبت به شاهد گردید (Asghari et al., 2017). همچنین، بیشترین ارتفاع بوته گیاه اسفرزه و زیره سبز از کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به‌دست آمد که با نتایج ما هم‌خوانی دارد (Asgharipour & Ahmadian, 2008).

تعداد پنجه در بوته

هر یک از اثرات ساده کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال به‌طور معنی‌داری باعث افزایش تعداد پنجه در بوته شدند، ولی اثر متقابل کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیشترین تعداد پنجه در بوته، در سطح کودی ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری مشاهده شد. همچنین مشاهده گردید که سطح ۱۵ تن در هکتار کمپوست ضایعات پرتقال سبب افزایش ۲۶/۸ درصدی این صفت نسبت به شاهد شد (جدول ۴).

منابع آلی عناصر غذایی بیشتری در اختیار گیاه قرار می‌دهند که اثر مثبتی بر تعداد پنجه در گیاه دارد (Miller, 2007). مطالعات گذشته نشان داد که کاربرد دو تن در هکتار کمپوست، تعداد پنجه را در گیاه برنج به‌طور قابل توجهی نسبت به سایر تیمارها افزایش داد (Siavoshi et al., 2011). همچنین، محققین گزارش کردند که مصرف کود دامی و کمپوست تعداد پنجه در بوته گندم را نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد و علت این افزایش را به بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و افزایش فراهمی عناصر غذایی بر اثر کاربرد کودهای آلی نسبت دادند (Ahmadpoor Sefidkoohi et al., 2013). کلمنتس (Clements, 1980) گزارش کرد که پنجه‌دهی همبستگی قابل توجهی با فراهمی و در دسترس پذیری عنصر غذایی نیتروژن دارد. احتمالاً کمپوست ضایعات پرتقال غنی شده با کود اوره هم به‌دلیل فراهمی بیشتر نیتروژن سبب افزایش تعداد پنجه در بوته ارزن شده است (جدول ۲).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای ویژگی‌های مورد مطالعه ارزن معمولی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for investigation characters of common millet

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک گیاه در بوته Plant dry weight per plant	طول پانیکول Panicle height
بلوک Block	2	2.17 ns	0.16 ns	0.16 ns	24.56 **	5.81 ns
کمپوست زباله شهری Municipal waste compost	2	374.50**	22.79**	0.01 ns	60.72**	0.13 ns
کمپوست ضایعات پرتقال Orange waste compost	2	219.11*	4.84**	0.04 ns	25.81**	1.55 ns
زباله شهری × ضایعات پرتقال Municipal waste× orange waste	4	12.05 ns	0.87 ns	0.05 ns	1.44 ns	5.79 ns
خطا Error	16	47.28	0.72	0.09	3.24	1.93
ضریب تغییرات CV (%)	–	7.82	13.71	4.37	8.30	4.79

ns، ** و *: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد.

ns, ** and *: represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات ساده کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر صفات رویشی ارزن معمولی

Table 4- Mean comparisons for simple effects of municipal waste compost and waste orange on vegegative traits of common millet

تیمارها Treatmens	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد پنجه در بوته Number of tillers per plant	تعداد برگ در بوته Number of leaves per plant	وزن خشک گیاه در بوته Plant dry weight per plant (g)	طول پانیکول Panicle height (cm)
کمپوست زباله شهری Municipal waste compost (t.ha^{-1})					
0	81.52	4.54	7.14	19.19	29.00
7.5	81.87	6.34	7.08	21.45	29.12
15	94.42	7.71	7.05	24.38	28.87
LSD (0.05)	6.87	0.85	0.31	1.79	1.38
کمپوست ضایعات پرتقال Orange waste compost (t.ha^{-1})					
0	82.61	5.43	7.16	20.18	29.37
7.5	88.77	6.28	7.08	21.34	29.06
15	92.36	6.89	7.03	23.51	28.55
LSD (0.05)	6.87	0.85	0.31	1.79	1.38

وزن خشک بوته

نتایج به‌دست آمده، حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر ساده کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال بر وزن خشک بوته ارزن بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین نشان داد با افزایش سطح کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال، وزن خشک بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که تحت شرایط کودی زباله شهری، مقدار این صفت از ۱۹/۱۹ گرم شاهد به ۲۴/۳۸ گرم در تیمار ۱۵ تن در هکتار و در تیمار ضایعات پرتقال از ۲۰/۱۸ گرم شاهد به ۲۳/۵۱ گرم در تیمار ۱۵ تن در هکتار افزایش یافت (جدول ۴).

محققین اظهار داشتند که نیتروژن موجود در کودهای آلی باعث تقویت رشد رویشی می‌شود و پتاسیم بالای این کودها علاوه‌بر تسریع تقسیم سلولی و تأثیر مستقیم در رشد رویشی به‌دلیل نقشی که در ساخت هیدرات‌های کربن و پروتئین‌ها و تغلیظ شیره سلولی دارد، باعث افزایش وزن خشک بوته می‌گردد (Grossi et al., 2014). کمپوست علاوه‌بر عناصر غذایی و مواد آلی، دارای مقادیر زیادی مواد هیومیکی می‌باشند که این مواد از طریق بهبود زیست‌فراهمی عناصر غذایی خاص، به‌ویژه آهن و روی (Chen et al., 2004) و اثر مستقیم بر متابولیسم گیاهی (Nardi et al., 2002) باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌شوند (Tartoura, 2011). در آزمایشی بر روی گیاه به لیمو مشخص شد که با افزایش مقدار کمپوست و ورمی کمپوست وزن خشک بوته به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (Asghari et al., 2017).

طول پانیکول

تیمارهای کودی کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال و همچنین، اثر متقابل آن‌ها تأثیر معنی‌داری بر صفت طول پانیکول نداشتند (جدول ۳). محققان در آزمایشی روی گیاه علف عشق *Eragrotis teff* مشاهده کردند که طول پانیکول تحت تأثیر مقادیر مختلف کمپوست قرار نگرفت (Assefa et al., 2016) که با نتایج ما هم‌خوانی دارد.

وزن دانه در بوته

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که اثر ساده و متقابل کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال در سطح احتمال یک درصد بر وزن دانه در بوته معنی‌دار بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال نشان داد که بیشترین وزن دانه در بوته از بالاترین سطوح کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال (۱۵ تن در هکتار + ۱۵ تن در هکتار) با ۱/۱ برابر افزایش در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (شکل ۱).

وزن دانه به‌عنوان یکی از اجزای عملکرد دانه تحت تأثیر سرعت و دوره پرشدن دانه قرار دارد (Kaplan & Erman, 1998; Penkin, 1977; Rosa et al., 1999). به نظر می‌رسد که احتمالاً

فراهم بودن بیشتر عناصر غذایی برای گیاه منجر به افزایش تولید مواد فتوسنتزی برای دانه‌ها و در نتیجه، افزایش وزن آن‌ها (Khorramdel, 2009) شده است. محققان دریافتند که مصرف توأم لجن فاضلاب و کمپوست حتی در مقادیر بالای لجن سبب افزایش وزن دانه در بوته گیاه سیاهدانه شد (Akbarnezhad et al., 2010).

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای ویژگی‌های مورد مطالعه ارزن معمولی

Table 5- Analysis of variance (mean of squares) for investigation characters of common millet

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	وزن دانه در بوته Seed weight per plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
بلوک Block	2	0.38 ns	0.09 ns	361784.4 ns	340293.4 ns	10.16 ns
کمپوست زباله شهری Municipal waste compost	2	34.70**	6.76**	7704191 **	3546514**	501.07**
کمپوست ضایعات پرتقال Orange waste compost	2	6.58**	13.32**	3404565 **	4994679**	97.10 ns
زباله شهری × ضایعات پرتقال Municipal waste× Orange waste	4	5.68 **	2.06 *	886252 ns	4144862**	292.46 **
خطا Error	16	0.96	0.51	390708	609510	47.11
ضریب تغییرات CV (%)	-	8.81	11.25	15.98	8.87	15.29

ns، ** و *: به‌ترتیب غیر معنی‌داری و معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد.

ns, ** and *: represent non significant, significant at 1 and 5% level of probability, respectively.

وزن هزاردانه

طبق جدول تجزیه واریانس، اثر ساده کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر وزن هزار دانه معنی‌دار شد (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات تیمارها نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه از بالاترین سطوح کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال (۱۵ تن در هکتار) با افزایش ۱/۱ برابری در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (شکل ۲).

وزن هزار دانه از فاکتورهایی است که بیشتر تحت کنترل ژنتیک است و از توارث‌پذیری بالایی برخوردار است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی از جمله حاصلخیزی خاک قرار می‌گیرد (Jangir & Ragender, 1996). با این‌حال مطالعات گذشته نشان داد که کمپوست با قابلیت حفظ بیشتر رطوبت و عناصر در محلول خاک که به‌تدریج عناصر را در اختیار گیاه قرار می‌دهد، برای گیاه شرایط مطلوبی ایجاد کرده و با حفظ سطح سبز باعث افزایش سرعت فتوسنتز و متعاقب آن افزایش وزن هزار دانه می‌گردد (Malakouti, 1999). یزدانی (Yazdani, 2010) با بررسی تأثیر کودهای آلی و بیولوژیکی بر روی گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) دریافتند که این کودها تأثیر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشتند. در مقابل، مؤمن و همکاران (Momen et al., 2011) در آزمایشی روی گیاه گندم مشاهده کردند که افزایش میزان کمپوست سبب افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه در سطح یک درصد شد، به‌طوری‌که مصرف ۲۰ تن در هکتار کمپوست بیشترین وزن هزار دانه را تولید کرد.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثرات ساده کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر صفات زایشی ارزن معمولی

Table 7- Mean comparisons for simple effects of Municipal waste compost and waste orange on reproductive criteria of common millet

تیمارها Treatmens	وزن دانه در بوته Seed weight per plant (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index
کمپوست زباله شهری Municipal waste compost (t.ha^{-1})					
0	8.93	5.41	3052.50	8087.30	39.17
7.5	11.91	6.65	3790.60	8998.50	42.15
15	12.64	7.08	4891.10	9290.90	53.32
LSD 0.05	0.98	0.71	624.65	780.19	6.85
کمپوست ضایعات پرتقال Orange waste compost (t.ha^{-1})					
0	10.21	5.43	3282.10	7959.80	42.08
7.5	11.39	5.95	3941.00	9020.80	44.06
15	11.88	7.75	4511.10	9396.10	48.50
LSD 0.05	0.98	0.71	624.65	780.19	6.85

عملکرد دانه

نتایج نشان داد، اثرات ساده کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه شدند، امّا این صفت تحت تأثیر اثر متقابل تیمارها قرار نگرفت (جدول ۵). بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری با ۶۰/۲ درصد افزایش نسبت به شاهد مشاهده شد. در عامل کمپوست ضایعات پرتقال نیز بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۵ تن در هکتار با افزایش ۳۷/۴ درصدی نسبت به سطح صفر (شاهد) مشاهده گردید (جدول ۶). بیشترین وزن دانه در بوته و وزن هزاردانه از اجزای عملکرد دانه نیز از مصرف کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال هرکدام به‌میزان ۱۵ تن در هکتار به‌دست آمد.

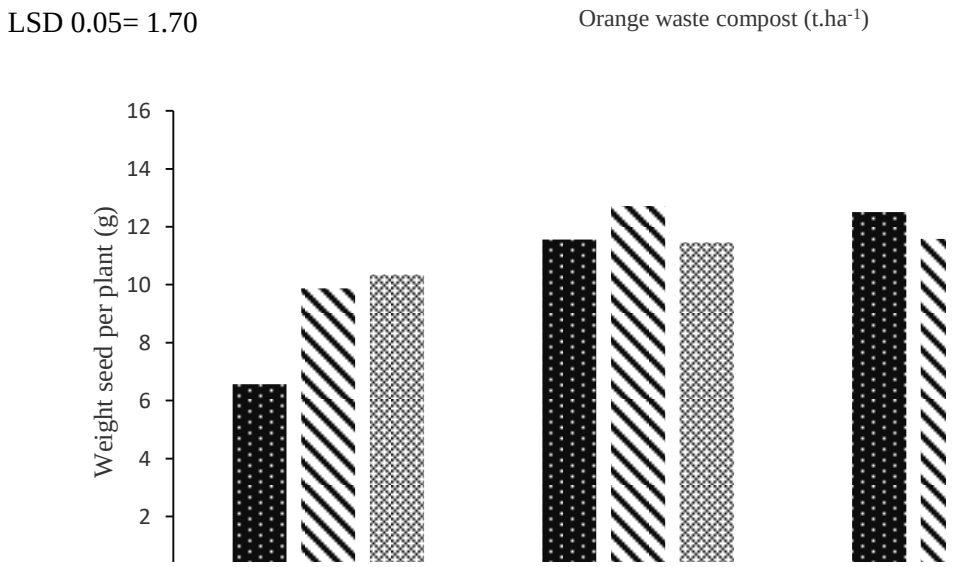
افزایش عملکرد گیاه در استفاده از کود کمپوست را می‌توان در ارتباط با بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک در اثر استفاده از آن (Allievi et al., 1993; Sihag & Singh, 1997) دانست. ریسی و همکاران (Resse et al., 2001) بیان کردند که تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه علت افزایش عملکرد می‌باشد. از سوی دیگر، گالاردو لورا و نوگالس (Gallardo-Lora & Nogales, 1987) در بررسی اثرات مثبت کمپوست بر گیاهان اظهار داشتند که اغلب تأثیرات مثبت کمپوست بر عملکرد گیاهان مربوط به بهبود خصوصیات فیزیکی خاک می‌باشد و افزایش تجمع مواد آلی و ارزش غذایی کمپوست در مراحل بعدی اهمیت قرار دارند. محققان دریافتند که با افزایش میزان کمپوست کاربردی، مقدار عملکرد دانه در گیاه سیاهدانه به‌طور بسیار معنی‌داری افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین مقدار آن از تیمار ۳۰ تن در هکتار کمپوست حاصل شد (Ariafar & Sirus Mehr, 2018). همچنین، بیشترین عملکرد دانه زیره سبز از کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری حاصل شد (Forouzandeh et al., 2014) که با نتایج ما هم‌خوانی دارد.

عملکرد بیولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس حاکی از تأثیر معنی‌دار اثرات ساده و متقابل کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۵). نتایج مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک از بالاترین سطوح کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال (۱۵ تن در هکتار) با ۷۰/۷ درصد افزایش در مقایسه با شاهد به‌دست آمد (شکل ۳).

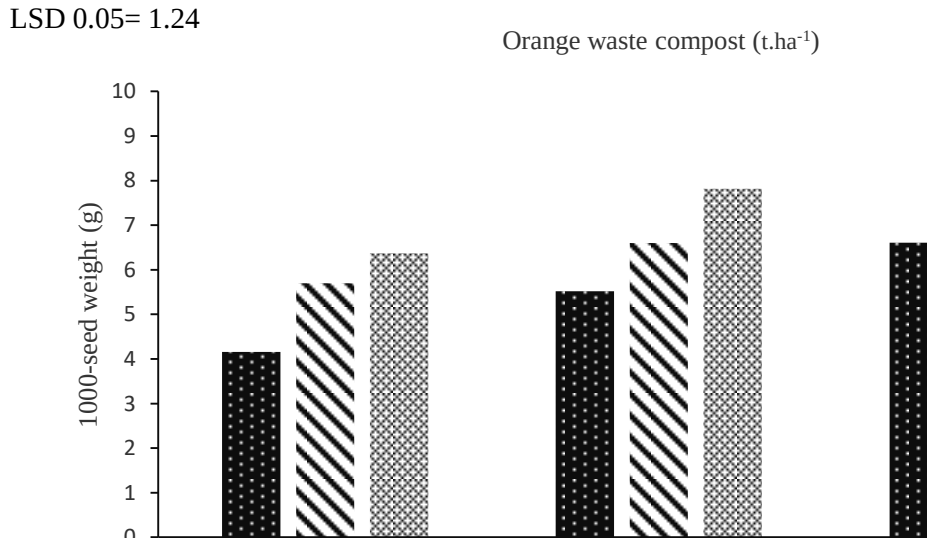
با افزایش میزان مواد غذایی موجود در خاک، گیاه سریع‌تر سطح برگ خود را افزایش داده و موجب پوشیده شدن زمین توسط تاج گیاه شده و این امر منجر به افزایش سرعت رشد محصول و در نهایت، ماده خشک می‌گردد. از طرف دیگر وجود میزان کافی از مواد غذایی در مراحل انتهایی رشد منجر به افزایش عمر برگ‌ها و دوام سطح برگ شده که این امر نیز به نوبه خود باعث می‌شود، گیاه سطح فتوسنتزکننده خود را با سرعت بیشتر و در مدت زمان بیشتری حفظ نماید (Sounmare et al., 2003). فروزنده و همکاران

(Forouzandeh et al., 2014) گزارش کردند که کاربرد ۱۵ تـن در هکتار کمپوست سبب افزایش معنی‌دار عملکرد بیولوژیک گیـاه زیـره سبز (*Cuminum cyminum* L.) گردید.



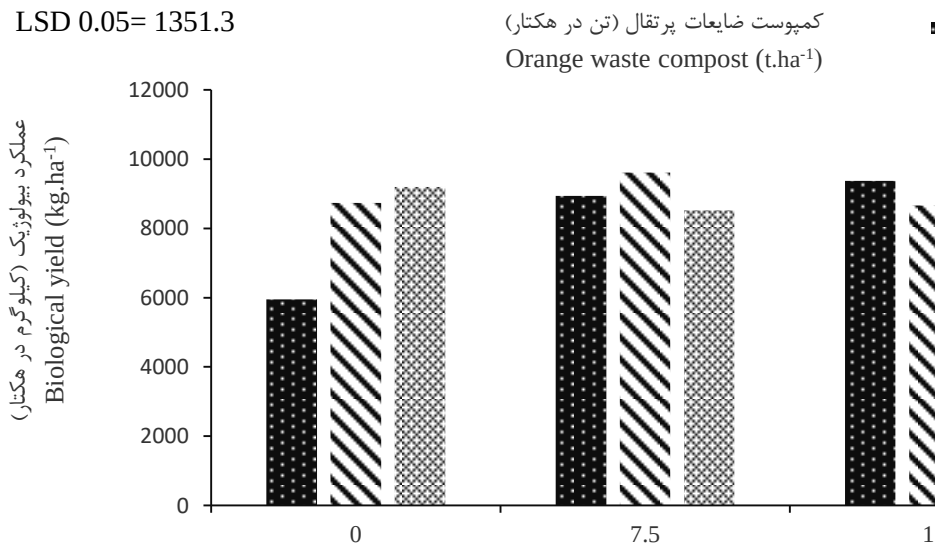
شکل ۱- مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر وزن دانه در بوته ارزن

Fig. 1- Mean comparisons effects of municipal waste compost and orange waste on weight seed per plant millet



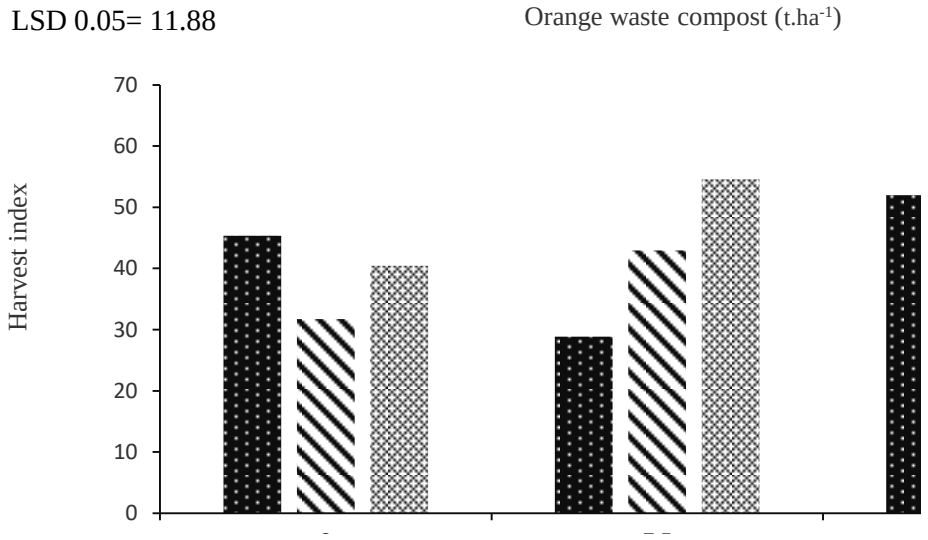
شکل ۲- مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر وزن هزار دانه ارزن

Fig. 2- Mean comparisons effets of municipal waste compost and orange waste on 1000-seed weight millet



شکل ۳- مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر عملکرد بیولوژیک ارزن

Fig. 3- Mean comparisons effets of municipal waste compost and orange waste on biological yield millet



شکل ٤- مقایسه میانگین اثرات کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال بر شاخص برداشت ارزن

Fig. 4- Mean comparisons effets of municipal waste compost and orange waste on harvest index millet

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده مصرف کمپوست زباله شهری و اثر متقابل کمپوست زباله شهری و کمپوست ضایعات پرتقال بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. امّا این صفت تحت تأثیر اثر ساده مصرف کمپوست ضایعات پرتقال قرار نگرفت (جدول ۵). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین

شاخص برداشت مربوط به تیمار ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۷/۵ تن در هکتار ضایعات پرتقال بود (شکل ۴).

محققان در بررسی اثر کاربرد سه ساله کمپوست و کود شیمیایی بر ذرت نشان دادند که دامنه تغییرات شاخص برداشت از ۴۱ تا ۵۷/۶۷ درصد متغیر بود و بیشینه آن از ۴۰ تن در هکتار کمپوست همراه با ۵۰ درصد کود شیمیایی حاصل شد (Babaei et al., 2016). در همین راستا رضوان طلب و همکاران Rezvantalab et al., (2010) دریافتند که استفاده از کودهای آلی به‌مدت یک سال و دو سال تأثیر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که استفاده از کمپوست زباله شهری و ضایعات پرتقال به‌تنهایی و به‌صورت تلفیقی باعث بهبود عملکرد و اجزای عملکرد ارزن شد، به‌طوری‌که بیشترین صفات رویشی گیاه در اثر کاربرد ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری به‌دست آمد. بیشترین خصوصیات زایشی گیاه از مصرف توأم ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۵ تن در هکتار ضایعات پرتقال به‌دست آمد. لذا، با توجه به یافته‌های این پژوهش، به نظر می‌رسد که استفاده از ۱۵ تن در هکتار کمپوست زباله شهری و ۱۵ تن در هکتار ضایعات پرتقال ضمن بهبود ویژگی‌های رویشی و زایشی ارزن، از جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی نیز مثمر بوده و می‌تواند برای بهبود بخشیدن به عملکرد و اجزای آن مد نظر قرار گیرد. هر چند لازم است که سطوح پیشنهاد بر روی ارقام دیگر ارزن و طی زمان طولانی‌تری مورد بررسی و تأیید قرار گیرد.

References

1. Ahmadpoor Sefidkoohi, A., Ghajar Sepanlou, M., & Bahmanyar, N.A. (2013). The effects of three and five years' continuous periods of municipal solid waste application on the amount of micronutrient elements in wheat shoot and seed. *Journal of Agricultural Engineering*, *35*(2), 97-109. (In Persian with English abstract)
2. Akbarnejad, F., Astaraei, A., Fotoot, A., & Nassiri Mahallati, M. (2010). Effect of municipal waste compost and sewage sludge on yield and yield components of *Nigella sativa* L. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *8*(5), 767-771. (In Persian with English abstract) . https://doi.org/10.22067/GSC.V8I5.8018
3. Allievi, L., Marchensini. A., Salaidi, C., Piano, V., & Bertoldi, M. (1993). Plant quality and soil residual fertility six years after a composting treatment. *Bioresource Technology*, *43*, 89-93. https://doi.org/10.1016/0960-8524(93)90088-S
4. Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Bierman, P., Welch, C., & Metzger, J.D. (2004). Influence of vermicompost on field strawberries. *Bioresource Technology*, *93*, 145-153. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.014
5. Ariafar, S., & Sirus Mehr, A.R. (2018). Effect of municipal waste compost on yield, essential oil percentage and some physiological characteristics of black seed under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, *19*(1), 31-42. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2015.55141
6. Asghari, M., Yousefi Rad, M., & Masoumi Zavarian, A. (2017). Effects of organic fertilizers of compost and vermicompost on qualitative and quantitative traits of *Lemon verbena*. *Journal of Medicinal Plants*, *15*(58), 63-71. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2717204.2016.15.58.2.0
7. Asgharipour, M., & Ahmadian, A. (2008). Utilization of compost for organic production of isabgol and cumin. In: Proceeding of the Third National Congress of Recycling and Reuse of Renewable Organic Resources in Agriculture, Isfahan, Iran, 14-16 May, 162-168. (In Persian)
8. Asodegan, M. (2016). The effect of biological and chemical fertilizers on quantitative and qualitative yield of millet cultivars in Qom province. M.Sc. Thesis in Agricultural Engineering, Majoring in Agriculture, Payame Noor University, Karaj Center, Iran. (In Persian with English abstract)
9. Assefa, A., Tana, T., & Abdulahi, J. (2016). Effects of compost and inorganic NP rates on growth, yield and yield components of Teff (Eragrotis teff (Zucc) Trotter) in Girar Jarso district, central highland of Ethiopia. *Journal of Fertilizer and Pesticides*, *7*(2), 174. https://doi.org/10.4172/2471-2728.1000174
10. Babaei, F.Z., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., Abbasian, A., & Bahari Saravi, S.H. (2016). Yield response and yield components of *Zea mays* L. to three-year application of simple and enriched municipal waste composts. *Journal of Agriculture*, *7*(1), 33-26. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/AJ.2015.105682
11. Chen, Y., De-Nobili, M., & Aviad, M. (2004). *Somulatory effects of humic substances on plant growth. Soil*

Organic Matter in Sustainable Agriculture. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 103-29.
12. Clements, H.F. (1980). *Sugarcane crop logging and crop control priciples and practices*: The Univ. Press. Hawaii, Hondulu, pp. 520.
13. Daniel, N., Takawal, P.S., Kauthale, V.K., & Kulkarni, P.K. (2002). EM application studies on a low organic matter soil in India. *Proceeding of the Seventh International Conference on Kyusei Nature Farming*. 32-38, New Zealand.
14. Erhart, E., Hartl, W., & Putz, B. (2005). Biowaste compost affects yield, nitrogen supply during the vegetation period and crop quality of agricultural crops. *European Journal Agronomy*, *23*, 305–314. https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.01.002
15. Forouzandeh, M., Karimian, M., & Mohkami, Z. (2014). Effect of water stress and different type of organic fertilizers on essential oil content and yield components of *Cuminum cyminun*. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science*, *4*(13), 523-536.
16. Gallardo-Lora, F., & Nogales, R. (1987). Effects of application of town refuse compost on the soil-plant system: A review. *Biological Wastes*, *10*, 35-62. https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90035-8
17. Gholizade, Z., Aminifard, M.H., & Sayyari, M.H. (2018). Evaluation of different levels of municipal waste compost and maternal corm weights on vegetative, reproductive and photosynthetic pigments of saffron (*Crocus sativus* L.). *Journal of Saffron Research*, *5*(2), 201-216. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/jsr.2018.165.1008
18. Grossi, H., Hemmati, K., & Habibi, D. (2014). The effect of growth-promoting bacteria, vermicompost and municipal waste compost on growth indices, chlorophyll content, essential oil and some secondary compounds of *Hyssopus officinalis*. *Iranian Journal of Plant Ecophysiology Research*, *31*(3), 58-66. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.76712423.1392.8.31.6.8
19. Hajinia, S., & Ahmadvand, G. (2017). Effect of light radiation absorption and its use efficiency in intercropping of soybean and millet under water deficit stress. *Journal of Crop Ecophysiology*, *4*(4), 721-742. (In Persian with English abstract).
20. Hajinia, S., Ahmadvand G., & Mehrabi, A.A. (2019). Evaluation of yield and yield components of common millet and soybean in different intercropping ratios under deficit irrigation levels in Hamden region. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(4), 761-779. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/GSC.V16I4.66825
21. Hargreaves, J.C., Adl, M.S., & Warman, P.R. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *123*(1-3), 1-14. https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.07.004
22. Hartl, W., Putz, B., & Erhart, E. (2003). Influence of rates and timing of biowaste compost application on rye yield and soil nitrate levels. *European Journal of Soil Biology*, *39*(3), 129-139. https://doi.org/10.1016/S1164-5563(03)00028-1
23. Jalali, A.H., Bahrani, M.J., & Karimian, N. (2011). Effect of crop residue management, application of compost and nitrogen fertilizer on grain yield and its components in maize cv. DC370. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *13*(2), 336-351. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.15625540.1390.13.2.9.5
24. Jangir, R.P., & Ragender, S. (1996). Effect of irrigation and nitrogen on seed yield of cumin (*Cuminum cyminum*). *Indian Journal Agronomy*, *41*, 140-143.
25. Kaplan, M., & Orman, S. (1998). Effect of elemental sulfur and sulfur onthing waste in a calcareous soil in Turkey. *Journal Plant Nutrition*, *21*, 1655-1665. https://doi.org/10.1080/01904169809365511
26. Kazemi Arbat, H. (1996). *Private agriculture*. Volume One: Cereals. University Publishing Center, Tehran, Iran. (In Persian)
27. Khalid, A.K., Hendawy, S.F., & El-Gezaway, E. (2006). *Ocimum basilicum* L. production under organic farming. *Research Journal of Agriculture and Biological Science*, *2*(1), 25-32.
28. Khorramdel, S. (2009). Effect of nitrogen and phosphorus biofertilizers on quantitative characteristics of black nigella (*Nigella sativa* L.). M.Sc. Thesis, Department of Agriculture and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)
29. Koocheki, A., Nakhforoush, A., & Zarif Ketabi, H. (1998). *Organic farming*. Ferdowsi University of Mashhad Publications, Iran. 217 p. (In Persian)
30. Malakouti, M. (1999). Comprehensive method of diagnosis and necessity of optimal use of chemical fertilizers.

Tarbiat Modares University of Tehran Publications, Iran. (In Persian with English Summary)

31. Miller, H.B. (2007). Poultry litter induces tillering in rice. *Journal of Sustainable Agriculture, 31*(1), 151-160. https://doi.org/10.1300/J064v31n01_12
32. Momen, A., Pazoki, A.R., & Momayezi, M.R. (2011). Effects of granular sulfur (bentonitic) and compost on quantitative and qualitative characteristics of Bam wheat in Semnan region. *The quarterly Academic Journal of Crop Physiology – I.A.U. Ahvaz, 3*(9), 31-7. (In Persian with English abstract)
33. Naghavi Maremati, A., Bahmanyar, M.A., Pirdashti, H., & Salak Gilani, S. (2007). Effect of different rate and type of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of different rice cultivars. Proceeding of 10th Iranian Soil Science Congress, 26-28 Aug. 2007, Tehran, Iran. (In Persian)
34. Nardi, S., Pizzeghello, D., Miscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry, 34*, 1527-36. https://doi.org/10.1016/S0038-0717(02)00174-8
35. Pedra, F., Polo, Ribero, A.A., & Domingues, H. (2007). Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on mineralization of soil organic matter. *Journal Soil Biology Biochemistry, 39*(6), 1375-1382. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2006.12.014
36. Penkin, C.F. (1977). Invention, relating to mixing phosphate and sulfure. U. Spatent. No. 193, pp. 896.
Resse, R.M., Ball, B.C., Watson, C.A., & Campbell, C.D. (2001). *Sustainable management of soil organic matter*. CAB International. Oxfordshire, UK. 264 p.
37. Rezvantalab, N., Pirdashti, H., Bahmanyar, M.A., & Abbasiyan, A. (2010). Evaluating effects of municipal waste compost and chemical fertilizer application on yield and yield components of maize (*Zea mays* L. cv.SC704). *Journal of Crop Production, 2*(1), 75-90. (In Persian with English abstract). https://doi.org/20.1001.1.2008739.1388.2.1.5.3
38. Rosa, M.C., Muckovej, J., Muchovejand, J., & Alvarez, V.H. (1999). Temporal relations of phosphorus fractions in an oxisol amended with rock phosphate and thiooxidans. *Soil Science Journal*, 53, 1096-1100. https://doi.org/10.2136/sssaj1989.03615995005300040019x
39. Siavoshi, M., Nasiri, A., & Lawara, L. (2011). Effect of organic fertilizer on growth and yield components in rice (*Oryza sativa* L.) plants. Egypt Journal Agricultural Research, 83, 811-828. https://doi.org/10.5539/jas.v3n3p217
40. Sihag, D., & Singh, J.P. (1997). Effect of organic materials on ammonia voltalization losses from urea under submerged condition. *Journal of Society of Soil Science, 45*, 822-825.
41. Sounmare, M., Tack, G., & Vreloo, M.G. (2003). Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilization on plant growth in two tropical agricultural soils of Mail. *Bioresource Technology, 86*(1), 15-20. https://doi.org/10.1016/s0960-8524(02)00133-5
42. Tartoura, A.H. (2011). Alleviation of oxidative-stress induced by drought through application of compost in wheat (*Triticum aestivum* L.) plants. *American-Eurasian Journal Agricultural Enviromental Science, 9*(2), 208-216.
43. Yazdani, R. (2010). Investigation of the effect of seed priming by *Azotobacter* and the use of organic and chemical fertilizers on the quantitative and qualitative characteristics of marigold. M.Sc. Thesis in Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian with English abstract)

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 331-351

Analyzing consumers' preferences for using fresh vegetables with environmental labels

Atefe Taghizadeh[1], Leili Abolhassani[2*], Mahmoud Sabouhi Saboni[3] and Arash Dourandish[4]

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Associate Professor, and Professor, Department of Agricultural Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, Tehran University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: L.abolhassani@um.ac.ir)

Received: 08-02-2023
Revised: 30-05-2023
Accepted: 06-06-2023
Available Online: 06-06-2023

How to cite this article:
Taghizadeh, A., Abolhassani, L., Sabuhi saboni, M., & Dourandish, A. (2024). Analysis of consumer preferences for conservation agricultural production (Selected products: fresh vegetables). *Journal of Agroecology*, *16*(2), 331-351. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81001.1146

Introduction

Farmers are under increasing pressure to use fewer pesticides for production and pest control. Farmers and other producers are responding to consumer concerns about pesticides by creating new marketing opportunities for products grown with environmentally friendly practices. The purpose of this study is to estimate consumers' willingness to pay for each of the information provided in the "Protective Agriculture Label" and determine the factors affecting consumers' willingness to pay. The two conservation agriculture labels designed in this study are the "How to Cultivate" label and the "Environmental Damage" label. The cultivation method label provides information about the raw materials used to produce the product, while the environmental damage label provides information about the environmental harm caused during the production process. The purpose of this study is to estimate consumers' willingness to pay for each type of information provided on the conservation agriculture labels and to determine the factors affecting consumers' willingness to pay.

Materials and Methods

In this study, in order to analyze consumers' preferences for protective agricultural products in Mashhad, the choice experiment method was used, and conditional logit models and logit with random parameters were used to estimate its parameters. Choice experiment is a common tool for valuing environmental functions and services. The required information was obtained by completing 170 questionnaires from the consumers of Mashhad city. The analysis of collected data is done using many models, most of which have a logit form. In this study, conditional logit and logit models with random parameters have been used to investigate the effect of the characteristics of agricultural product labels on consumers' willingness to pay and to estimate the amount of willingness to pay for each of the characteristics.

Results and Discussion

In this article, consumer preferences for protective agricultural products have been analyzed using the choice test method. For data analysis, conditional logit and logit with random parameters model were used. The results

https://doi.org/10.22067/agry.2023.81001.1146

obtained from this study have shown that the characteristic accuracy of the measurement method was the highest and the label-issuing organization had the lowest willingness to pay. The variables of gender, the presence of a child in the family, and the presence of people with a specific disease in the family had a positive and significant effect, and the variable of age had a negative and significant effect on the willingness of consumers to pay. In both labels, the sign of the price variable is negative, which is in accordance with the theory of economic utility. The comparison of the calculated final effect for two labels of environment and method of cultivation has shown that, in general, the probability of choosing the label of method of cultivation is higher than the probability of choosing the label of environmental-biological damages. In 53% of the cases, the selected option was the label of how to cultivate, and in 15% of the cases, none of the labels were selected. The amount of willingness of consumers to pay to obtain information about the way of cultivation and damage to the environment is very low. Even consumers willing to pay to obtain detailed information on production (such as the degree of water pollution with which the product was irrigated, the level of soil pollution in which the product was grown, and the type of poisons used) and environmental damage (such as contamination of groundwater with The reason for product production is not air pollution due to product production and global warming (increasing temperature due to product production). In this regard, more research is suggested in the field of reasons for the low willingness to pay of consumers.

Conclusion

Examining the willingness to pay of consumers has shown that people are willing to pay more for the accuracy of the measurement method than for the label-issuing organization. The amount of consumers' willingness to pay for the characteristics of the organization issuing the label and the accuracy of the measurement method were obtained as 5 and 17.04 Tomans, respectively, so it can be concluded that Accuracy is more important than an organization for consumers.

Keywords: Consumer preferences, Choice experiment, Conditional logit Model, Mixed logit model.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۵۱-۳۳۱

تحلیل ترجیحات مصرف‌کنندگان برای استفاده از سبزی های تازه دارای برچسب محیط زیستی

عاطفه تقی‌زاده[۱]، لیلی ابوالحسنی[۲*]، محمود صبوحی صابونی[۳] و آرش دوراندیش[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۱۹
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

چکیده

نگرانی های عمومی در مورد تأثیر فعالیت های روزانه مردم بر محیط طبیعی در حال افزایش می باشد. این نگرانی ها سبب شده است که اکنون سیاست‌های محیط‌زیستی بیشتر تمرکز خود را بر اطلاع‌رسانی به مصرف‌کنندگان و ترغیب آن‌ها به کاهش آسیب‌های محیط‌زیستی ناشی از خریدهایشان قرار دهند. برچسب های محیط زیستی برای شناسایی و متمایز ساختن محصولاتی که اثرات محیط زیستی کمتری نسبت به محصولات بدون برچسب دارند، استفاده می شوند. هدف مطالعه حاضر، برآورد تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای هر یک از اطلاعات فراهم شده در «برچسب کشاورزی حفاظتی» و تعیین عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان می‌باشد. در این مطالعه، به‌منظور تحلیل ترجیحات مصرف‌کنندگان برای تولیدات کشاورزی حفاظتی در شهر مشهد ، از روش آزمون انتخاب و برای برآورد پارامترهای آن از الگوهای لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی استفاده شده است. اطلاعات موردنیاز از طریق تکمیل ۱۷۰ پرسش‌نامه از مصرف کنندگان شهر مشهد جمع آوری شده است. نتایج نشان داد که تمایل به پرداخت نهایی برای ویژگی‌های دقت روش اندازه‌گیری و سازمان صادرکننده برچسب به ترتیب ۱۷/۰۴ و ۵ تومان محاسبه شد. متغیرهای جنسیت، حضور کودک در خانواده و حضور افراد با بیماری خاص در خانواده اثر مثبت و معنی‌دار و متغیر سن اثر منفی و معنی‌داری بر میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان داشته است. به طور کلی مقدار تمایل به پرداخت مصرف کنندگان برای کسب اطلاعات مربوط به نحوه کشت و آسیب به محیط زیست بسیار پایین بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون انتخاب، لاجیت شرطی، لاجیت ترکیبی، تمایل به پرداخت

مقدمه

باتوجه‌به جمعیت فزاینده جهان، به‌خصوص در کشورهای درحال‌توسعه، کمبود مواد غذایی از مدت‌ها قبل از مباحث قابل‌توجه دولت‌ها، سیاست‌گذاران و محققین بوده است. در طی سال‌های متوالی افزایش عملکرد محصولات کشاورزی به‌عنوان اصلی‌ترین راه‌حل برای مشکل کمبود غذا مطرح شده است. در طی این سال‌ها اگرچه عملکرد محصولات زراعی افزایش‌یافته، اما در بسیاری از مناطق رهیافت مبتنی بر توسعه با ابزار فناوری‌های نوین نه‌تنها سبب امنیت غذایی نگردیده، بلکه در بسیاری از موارد، به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه پیامدهای نامطلوب بوم‌شناختی، اقتصادی، فنی و اجتماعی را در پی داشته است. مهدوی دامغانی و همکاران (Mahdavi Damghani et al., 2004). برای افزایش عملکرد محصولات کشاورزی از سموم، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی استفاده می شود که این عوامل به نوبه‌ی خود آلودگی‌های شدید محیط زیست را سبب شدند. طی سال‌های اخیر، نگرانی‌های جهانی

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب کارشناسی ارشد، دانشیار و استاد، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۴- دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: L.abolhassani@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81001.1146

در مورد عواقب بعضی از فعالیت‌های کشاورزی نوین بر محیط زندگی انسان افزایش‌یافته و محققان را به تفکر بیشتر و نگاه عمیق‌تر به فعالیت‌های کشاورزی وادار نموده است. در کشاورزی سنتی و متعارف بیش از ۳۰۰ نوع ترکیب شیمیایی خطرناک و مصنوعی مانند علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی جهت کنترل آفات، حشرات و حاصلخیزی خاک مورداستفاده قرار می‌گیرد که بقایای این مواد بعد از ورود به بدن انسان سبب بروز مشکلاتی مانند نقص‌های مادرزادی، تولد نوزاد با وزن کم، سقط‌جنین، کاهش باروری یا ناباروری، کاهش حافظه، آسیب به سیستم عصبی و مغز، کاهش کارایی سیستم ایمنی بدن، ضعف عضلانی و سرطان‌زایی می‌شوند (Iranian Organic Association,2011).

در بین نهاده‌های کشاورزی، سموم و کودهای شیمیایی مهم‌ترین آلاینده‌های محیط‌زیست هستند که کاهش کیفیت محصولات کشاورزی را نیز باعث می‌شوند. در این زمینه نیترات یکی از مهم‌ترین آلاینده‌ها است که اکثر محصولات غذایی تازه مانند سبزی‌ها و میوه‌ها که به‌صورت خام مصرف می‌شوند به آن آلوده هستند. در بسیاری از کشورها مردم از آلودگی محصولات کشاورزی مطلع هستند و به روش‌های مختلف مانند مصرف محصولات جایگزین سعی بر حفظ سلامتی خود در برابر اثر سوء چنین محصولاتی دارند. به‌عنوان‌مثال، تحقیقات نشان داده است در بسیاری از کشورهای جهان، به‌ویژه اروپای غربی و آمریکای شمالی تعداد خریداران محصولات ارگانیک [1] به طور قابل‌توجهی روبه افزایش است(Willer & Lernoud, 2017). طی یک دوره ده‌ساله (۱۹۹۶-۱۹۸۶) بازار مواد غذایی ارگانیک در ایالت متحده ۳ برابر افزایش و در آلمان نیز بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۳ سطح زیر کشت محصولات ارگانیک ۳۴ درصد و تعداد کشاورزان ارگانیک ۲۹ درصد افزایش‌یافته است (Meier-ploeger,2005). این ارقام گرایش جهانی به‌سوی محصولات ارگانیک را نشان می‌دهد و حاکی از آن است که جهان امروز برای محصولات عاری از بقایای مواد شیمیایی اهمیت قائل است (Malek Saeedi et al., 2010Nasimi,2000 ;). در ایران نیز تقاضا برای این محصولات در حال افزایش است به‌طوری‌که آمارهای رسمی وزارت جهاد کشاورزی نشان داده است که در بیش از ۱۱۳ هزار هکتار از گیاهان زراعی و بیش از ۱۲۵ هزار هکتار از محصولات باغی کشور از هیچ‌گونه کودها و آفت‌کش‌های شیمیایی مصنوعی استفاده نمی‌شود (Bagherzadeh, 2006). بااین‌وجود کشت محصولات ارگانیک نیز با چالش‌های خاص از قبیل عملکرد پایین محصولات، عدم وجود استانداردهای ملی و منطقه‌ای در تولید محصولات ارگانیک که مستلزم حمایت دولت و سرمایه‌گذاری کلان در بخش تحقیقات و راه‌اندازی آزمایشگاه می‌باشد، همراه است (Taefe Sultan Khani, 2010) و همچنین نارضایتی از عملکرد شرکت‌های بازاریابی محصولات ارگانیک، دشواری فرایند تولید محصولات ارگانیک را به همراه دارد (Demiyurek, 2010) که عملاً توسعه و افزایش سطح زیر کشت این محصولات را با مشکل مواجه می‌کند.

مطالعات انجام‌گرفته در ایران نشان می‌دهد که محصولات کشاورزی تولید شده در ایران نه‌تنها آلوده هستند، بلکه اثرات مخربی هم بر محیط‌زیست بر جای می‌گذارند. (Jalini et al., 2011; Karimi jashni et al., 2008; Cheraghi et al., 2012; Barghi et al., 2017) بخشی از فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از پساب، مواد شیمیایی از قبیل سموم شیمیایی، آفت‌کش‌ها و سوزاندن بقایای کشاورزی اثرات تخریبی زیادی بر محیط‌زیست می‌تواند داشته باشد. آلودگی هوا ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، آلودگی خاک‌ها و آب‌های سطحی و زیرزمینی و تغییر خصوصیات خاک ازجمله اثرات مخرب محیط‌زیست ناشی از فعالیت‌های کشاورزی می‌باشد.

در خراسان رضوی، حوضه‌ی آبخیز کشف رود ازجمله مناطقی است که در آن محصولات کشاورزی با درجه‌ی آلودگی بالا تولید می شوند. یکی از مهم‌ترین عوامل اصلی آلودگی رودخانه کشف رود، پساب تولیدی (پساب خانگی) روستاهای اطراف حاشیه رودخانه‌ی کشف رود می‌باشد که بدون رعایت هرگونه ملاحظه محیط زیستی به رودخانه تخلیه و سبب آلودگی شدید آن می‌گردند. از دیگر منابع آلاینده رودخانه کشف رود، پساب صنعتی تخلیه‌شده به رودخانه، ناشی از کارگاه‌ها و صنایع کوچک مستقر در حاشیه رودخانه می‌باشد. همچنین تخلیه زباله و مواد زائد جامد توسط شهروندان در مسیرهای عبوری رواناب‌ها و حاشیه رودخانه کشف رود ازجمله دیگر معضلات و مشکلات فعلی این رودخانه می‌باشد که علاوه بر تهدید سلامتی عمومی، ایجاد منظره و بوی نامطبوع، تجمع حشرات و حیوانات موذی و درنهایت آلودگی منابع آبی را در پی خواهد داشت و علاوه بر این

۱- محصول ارگانیک محصولی می‌باشد که بدون استفاده از مواد شیمیایی، آفت کش ها، افزودنی‌های غذایی و طعم دهنده ها یا ترکیبات آروماتیک تولید شده باشد (کریستوفر وکریستالیس، ۲۰۰۵).

موارد، وجود اراضی کشاورزی بدون رعایت حریم کاربری و استفاده کشاورزان از کودهای شیمیایی، حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها در فصول بارندگی سبب شستشوی خاک‌ها و ورود انواع آلاینده‌ها به رودخانه‌ی کشف رود می‌گردد. (Ranjbar Mohammadi & Babaei, 2015 ; et al., 2020). باوجود آلوده بودن آب این منطقه، محصولاتی از قبیل جو، ذرت علوفه‌ای، گوجه‌فرنگی و سبزی‌های فصلی در این منطقه کاشت می‌شوند. بهره‌برداری از آب با درجه‌ی آلودگی بالا در این منطقه نه‌تنها سلامت ساکنین شهر را تهدید می‌کند؛ بلکه تنزل و تخریب محیطزیست را باعث می‌شود. معضل فوق زمینه‌ی مشاجرات طولانی میان سازمان حفاظت محیطزیست (به‌عنوان متولی نظارت بر وضعیت محیطزیست) و سازمان جهاد کشاورزی (به‌عنوان متولی تولیدات کشاورزی) را فراهم کرده است (Golmohammadi tolani, Molavi et al., 20192008 ;). یکی از راه‌حل‌های اجرایی برای رفع مشکل فوق، کنترل محصولات کشاورزی به لحاظ وجود آلاینده‌ها و سطح آلودگی آن‌ها و راه‌حل دیگر، کنترل فرایند تولید این محصولات از جنبه میزان صدمات واردشده به محیطزیست، می‌باشد. در این راستا، بررسی کیفیت محصولات کشاورزی، استانداردسازی و تعیین سطح استاندارد محصولات کشاورزی تولیدشده نیاز به هزینه‌های سنگین جهت راه‌اندازی آزمایشگاه‌ها و تجهیزات خاص دارد. از طرف دیگر حتی در صورت امکان سنجش کیفیت محصولات کشاورزی از طریق استانداردهای مناسب و دقیق، امکان بررسی فرایند تولید این محصولات و خسارت‌های محیط زیستی در حین تولید آن‌ها از طریق استانداردهای فوق وجود ندارد. به بیان دیگر، استانداردهای کیفی محصولات کشاورزی تنها کیفیت محصول نهایی را مورد آزمایش قرار می‌دهند و میزان خسارت‌های واردشده به محیطزیست در حین تولید این محصولات در نظر گرفته نمی‌شود. در این راستا، برخی از کشورها مانند ایالت متحده و اتحادیه اروپا (انگلستان، فرانسه، اسپانیا، سوئد و لهستان). اقدام به تهیه‌ی برچسب‌هایی برای محصولات کشاورزی کردند که این برچسب‌ها حاوی اطلاعات مربوط به نهاده‌های مصرفی از قبیل کیفیت آب آبیاری، میزان کود مصرفی، سموم بکار رفته و نوع بذر مورداستفاده می‌باشند (et al., Guru & Horne, 2000; Grunrt.2014) . اطلاعات فوق نه‌تنها کیفیت محصول را نشان می‌دهند؛ بلکه فرایند تولید و تخریب محیط زیستی ناشی از آن را هم بررسی می‌کنند. اولین قدم برای اجرایی‌کردن اقدام فوق، بررسی میزان آگاهی و ترجیحات مصرف‌کنندگان از محصولات کشاورزی حفاظتی است، چراکه عامل اصلی موفقیت چنین اقدامی شناخت رفتار مصرف‌کننده، عوامل مؤثر بر رفتار او و قدرت پیش‌بینی آن می‌باشد (Haghjo et al., 2011). کشاورزی حفاظتی به مجموعه‌ای از تکنیک‌ها شامل: نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک، تناوب زراعی، کاربرد کود سبز، کاهش تردد وسایل و ماشین‌آلات کشاورزی، استفاده از بسترها یا پشته‌های عریض، مدیریت تغذیه و حاصلخیزی، به‌کارگیری ادوات مناسب و... گفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر کشاورزی حفاظتی یک سیستم کشاورزی است که می‌تواند ضمن بازسازی اراضی تخریب شده، از نابودی اراضی زراعی جلوگیری کند. این روش پوشش دائمی خاک، حداقل اختلاط خاک و تنوع گونه‌های گیاهی را ارتقا می‌دهد. افزون براین، تنوع زیستی و فرایندهای بیولوژیکی طبیعی را در سطح و زیرسطح زمین افزایش می‌دهد که به افزایش کارایی مصرف آب و عناصر غذایی و بهبود و پایداری تولید محصول کمک می‌کند. کشاورزی حفاظتی به عنوان رویکردی چند بعدی در راستای استفاده پایدار از منابع خاک و آب و دستیابی به تولید پایدار شناخته شده است. از اهداف کشاورزی حفاظتی می‌توان به حفظ منابع پایه و پایداری تولید، کاهش اثرات زیان‌بار تراکم در خاک‌های فشرده، صرفه‌جویی در وقت، نیروی کار و سوخت، کاهش عملیات زراعی و بهبود اقتصاد مزرعه، کاهش روان آب و جلوگیری از فرسایش آبی و بادی، افزایش قابلیت نگهداری و نفوذ آب در خاک و کاهش تبخیر غیرمفید، نگهداری بقایای گیاهی در سطح خاک به‌جای سوزاندن آنها، حفظ مواد آلی در خاک و امکان افزایش آن، مدیریت حاصلخیزی خاک و کنترل علف‌های هرز و تثبیت‌کردن بقایای گیاهی در خاک اشاره کرد (Latifi et al., 2017). هدف مطالعه حاضر، برآورد تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای هر یک از اطلاعات فراهم شده در «برچسب کشاورزی حفاظتی» و تعیین عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان می‌باشد. دو برچسب کشاورزی حفاظتی طراحی شده در این مطالعه عبارت‌اند از: برچسب چگونگی کشت و برچسب آسیب‌های زیست‌محیطی. برچسب چگونگی کشت حاوی اطلاعاتی دررابطه‌با مواد اولیه مورداستفاده برای تولید محصول می‌باشد، مانند: سطح آلودگی خاکی که محصول در آن کشت می‌شود، درجه آلودگی آبی که محصول با آن آبیاری شده است و نوع سموم مورداستفاده و برچسب آسیب‌های زیست‌محیطی حاوی اطلاعاتی در مورد آسیب‌های وارد شده به محیطزیست در حین تولید محصول، از جمله:

میزان آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی به دلیل تولید محصول، میزان افزایش دما به دلیل تولید محصول و میزان آلوده‌شدن هوا به دلیل تولید محصول می‌باشد (Li Yi, 2020; Rashid, 2009; Chen et al., 2018; Maret et al., 2012).

تاکنون مطالعه‌های زیادی در زمینه تمایل به پرداخت مصرف کنندگان برای محصولات دارای برچسب‌های زیست‌محیطی انجام شده است که به‌اختصار به برخی از آن‌ها اشاره شده است.

مطالعه گرنرت و همکاران (Grunert et al., 2014) در اروپا تحت عنوان برچسب‌های پایداری بر روی محصولات غذایی که با روش آزمون انتخاب انجام شده است، نشان داده است متغیر سن تأثیر معنی‌دار و منفی بر ترجیحات مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات دارای برچسب دارد (افراد با سن بالاتر کمتر از محصولات دارای برچسب استفاده می‌کنند) و جنسیت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ترجیحات مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات دارای برچسب دارد، زنان نسبت به مردان بیش‌تر نگران محیطزیست هستند و تمایل به پرداخت بیشتری برای محصولات دارای برچسب دارند. اووسو و همکاران (Owusu-Sekyere et al., 2014) در پژوهشی در بررسی ترجیحات و تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای گوشت گاو در شهرهای کوماسی و سونیانی برای برچسب‌هایی که کیفیت را تضمین می‌کند، با استفاده از روش آزمون انتخاب نشان دادند که مصرف‌کنندگان در هر دو شهر به ویژگی‌هایی از گوشت اعتماد دارند که سلامت آن‌ها را تضمین کند.

بانوویک و همکاران (Banovic et al., 2019) در مطالعه‌ای به بررسی اثر برچسب‌های زیست‌محیطی بر ماندگاری محصول آبزی‌پروری بین خرده‌فروشان و بررسی اثر برچسب‌های زیست‌محیطی بر انتخاب مصرف‌کننده برای محصولات آبزی‌پروری جدید در اروپا (فرانسه، آلمان، ایتالیا، اسپانیا، انگلستان) پرداختند. نتایج نشان داده است که تأثیر برچسب‌های زیست‌محیطی بر ماندگاری محصول بین خرده‌فروشان مختلف به میزان قابل‌توجهی متفاوت است و همچنین شرکت‌های آبزی‌پروری باید به یک برچسب سازگار با محیطزیست تکیه کنند تا به مصرف‌کنندگان این اطمینان را دهند که محصولات آن‌ها از یک منبع آبزی‌پروری کنترل شده، تأیید شده و مسئول گرفته می‌شود.

لوریرو و همکاران(Loureiro et al., 2002) در پژوهشی در پرتلند به تجزیه‌وتحلیل عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف کنندگان برای سیب‌های دارای برچسب‌های زیست‌محیطی پرداختند. نتایج نشان داده است که جنسیت، وجود افراد زیر ۱۸ سال در خانواده، اهمیت به مسائل زیست‌محیطی و کیفیت سیب‌های دارای برچسب‌های زیست‌محیطی بر تمایل به پرداخت افراد برای سیب‌های دارای برچسب‌های زیست‌محیطی اثر مثبت می‌گذارد. میانگین تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان حدود ۵ درصد گزارش شده است.

مارت و همکاران (Marette et al., 2012) در پژوهشی در فرانسه به بررسی تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای سیب‌های دارای برچسب پرداختند. نتایج نشان داده است که مصرف‌کنندگان برای سیب‌های دارای برچسب که بیان کند در تولید آن نسبت به سیب معمولی از آفت کش‌های کمتری استفاده شده است، تمایل به پرداخت بالاتری دارند.

گرانکویست و همکاران (Grankvist et al., 2004) در مطالعه‌ای در سوئد به بررسی اثر برچسب‌های مثبت و منفی بر ترجیحات مصرف‌کنندگان در خرید محصولات پرداختند. (اطلاعات مثبت یعنی انتخاب این محصول نسبت به یک محصول معمولی برای حفظ محیطزیست بهتر است. اطلاعات منفی یعنی انتخاب این محصول برای محیطزیست پیامدهای منفی به دنبال دارد). نتایج مطالعات آن‌ها نشان داده است که کسانی که نسبت به مسائل زیست‌محیطی علاقه‌ای نداشتند هیچ‌کدام از دو نوع برچسب (مثبت و منفی) روی آن‌ها تأثیرگذار نبود. کسانی که علاقه متوسط به محیطزیست داشتند، بیشتر از برچسب منفی تأثیر می‌گرفتند. افرادی که علاقه شدید به حفاظت از محیطزیست داشتند، از هر دو نوع برچسب به یک اندازه تأثیر می‌گرفتند. باتوجه‌به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در ایران دررابطه‌با ترجیحات و یا تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای برچسب‌های کشاورزی حفاظتی صورت نگرفته است، مطالعه‌ی فوق اولین مطالعه در ایران می‌باشد که به تحلیل‌های فوق می‌پردازد. علاوه‌برآن، مطالعه‌ای هم در این زمینه در منطقه کشف رود مشاهده نشده است. ازاین‌رو باتوجه‌به آلودگی منطقه کشف رود و بنا بر ضرورت مسئله که پیش‌تر بیان‌شده، در این مطالعه نگرش مصرف‌کنندگان نسبت به برچسب‌های کشاورزی حفاظتی (برچسب چگونگی کشت و برچسب آسیب‌های محیط زیستی) و عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای هر یک از اطلاعات فراهم‌شده در برچسب کشاورزی حفاظتی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمون انتخاب ابزاری رایج جهت ارزش‌گذاری کارکردها و خدمات زیست‌محیطی می‌باشد (Hanley et al., 2001) این روش ابتدا توسط Louviere & Hensher,1982 (Louviere & Woodworth, 1983;) ارائه شده است. روش آزمون انتخاب یکی از روش‌های خانواده ترجیحات بیان شده موسوم به الگوسازی انتخاب و یکی از مشتقات تحلیل توام است (Carsoon et al., 1994). فرم ابتدایی و شکل‌های مختلف این رهیافت از دهه ۱۹۷۰ مورداستفاده قرار گرفت و در سال‌های اخیر نیز موردتوجه بیشتری قرار گرفته است (Green & Srinivasan,1990). هدف اصلی روش آزمون انتخاب برآورد ساختار ترجیحات مصرف‌کنندگان با تأکید بر اهمیت نسبی ویژگی‌های زیست‌محیطی می‌باشد. جهت دست‌یافتن به این هدف، از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود بین گزینه‌های مختلف که توسط ویژگی‌هایشان بیان می‌شوند، یک گزینه را انتخاب کنند. اگر یکی از ویژگی‌ها قیمت یا هزینه باشد، برآورد مطلوبیت نهایی صورت‌گرفته می‌تواند به‌عنوان تمایل به پرداخت برای تغییرات در سطح ویژگی در نظر گرفته شود. این روش می‌تواند برآورد دقیقی از میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای کالاهای عمومی و زیست‌محیطی فراهم کند (Hanley et al., 2001; Adamowicz et al., 1998 ; Deshazo & Fermo, 2002).

در روش آزمون انتخاب فرض بر این است که هر پاسخ‌دهنده منطقی عمل می‌کند، به‌طوری‌که انتخاب او در جهتی است که مطلوبیت آن‌ها را باتوجه‌به محدودیت‌های هزینه، حداکثر کند. ولی به دلیل نقصان درک پاسخ‌دهندگان از بهینه‌کردن و همچنین به دلیل اینکه تحلیل‌گر نمی‌تواند تمام متغیرهای مربوط را لحاظ کند، خطای زیادی در این حداکثرکردن وجود دارد. به همین علت فرض می‌شود که پاسخ‌دهندگان تابع مطلوبیت تصادفی دارند (Ben-Akiva Louvieret al., 2000; Maddala, 1983&Lerman, 1995 ;). ازاین‌رو نظریه مطلوبیت تصادفی مبنا و اساسی برای این روش ارزش‌گذاری فراهم می‌کند (Mcfadden, 1974). این نظریه بر اساس انتخاب احتمالی می‌باشد و فرض می‌شود که افراد از یک مجموعه انتخاب موجود، یک گزینه را که مطلوبیت آن‌ها را حداکثر می‌کند، انتخاب می‌کنند. برای دستیابی به این هدف، مجموعه‌ای از گزینه‌ها که به‌وسیله ویژگی‌های خود توضیح داده شده‌اند، در یک پرسش‌نامه که شامل گزینه‌های انتخاب هستند، گردآوری می‌شوند. مطلوبیتی که هر فرد از یک گزینه خاصی به دست می‌آورد، با مطلوبیت فرد از هر یک از ویژگی‌های آن گزینه مشخص می‌گردد. برای تحلیل ویژگی‌های گزینه‌های مربوط، از پاسخ‌دهندگان خواسته می‌شود که بین گزینه‌های مختلفی که توسط ویژگی‌هایشان توصیف شده‌اند، یک گزینه را انتخاب کنند ابوالحسنی و همکاران (Abollhasani et al., 2017). به‌طورکلی مراحل آزمون انتخاب به‌صورت خلاصه می‌شود:

شناسایی ویژگی‌ها و سطوح ویژگی‌ها

اولین قدم در طراحی آزمون انتخاب تعریف ویژگی‌های مهم در خدمت یا کالای موردنظر می‌باشد. معمولاً در این قسمت از نظرات خبرگان و یا جامعه‌ی هدف استفاده می‌شود. نکته اساسی در تعریف ویژگی‌ها این است که قیمت حتما بایستی به‌عنوان یک ویژگی در نظر گرفته شود.

برای تعیین سطوح نیز مانند تعیین ویژگی‌ها ازنظر خبرگان و یا جامعه‌ی هدف استفاده می‌شود. نکته‌ی کلیدی در انتخاب سطوح آن است که بایستی برای مصرف‌کنندگان به‌روشنی قابل‌درک باشد (Ryan, 1999).

در مطالعه حاضر برای شناسایی و تعیین ویژگی‌های مهم و مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای برچسب سبزی‌ها و محصولات کشاورزی تازه و سطوح مربوط به این ویژگی‌ها از مقالات و مطالعات قبلی استفاده شده است. جهت بررسی بیشتر و تطبیق ویژگی‌های به‌دست‌آمده با شرایط محلی و محصولات منتخب، مصاحبه‌ای با ۳ متخصص در زمینه‌ی برچسب‌های محصولات غذایی صورت‌گرفته است. این افراد شامل کارشناس محصولات غذایی و سلامت غذا، معاونت سازمان غذا و دارو و مدیر مزرعه ارگانیک دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد صورت‌گرفته است.

بر اساس تحلیل‌های صورت‌گرفته در مطالعات گذشته و بررسی‌های میدانی،۴ ویژگی به‌عنوان ویژگی‌هایی که از نظر مصرف‌کنندگان مهم هستند و بایستی در برچسب‌های سبزی‌ها و محصولات کشاورزی تازه درج شوند، در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: سازمان صادرکننده برچسب، دقت روش اندازه‌گیری، اطلاعات و قیمت. دو برچسب طراحی شده در این مطالعه عبارت‌اند از: برچسب چگونگی کشت و برچسب آسیب‌های زیست‌محیطی.

در نهایت ویژگی‌ها و سطوح مربوط به آن‌ها به‌صورت زیر تعریف

شده‌اند:

جدول ۱- ویژگی‌های موردمطالعه و سطوح متناظر آن‌ها (برچسب آسیب‌های محیط زیستی)

Table 1- Characteristics under study and their corresponding levels (label of environmental damage)

ویژگی attributes	سطوح Levels
سازمان صادر کننده برچسب Label issuing organization	دولتی Governmental دانشگاه University بین المللی International
دقت روش اندازه‌گیری The accuracy of the measuremen	کم Low اطلاعاتی نیست No information زیاد High
اطلاعات Information	میزان آلوده شدن هوا به دلیل تولید محصول Air pollution due to product production میزان افزایش دما به دلیل تولید محصول Temperature increase due to product production میزان آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به دلیل تولید محصول
قیمت Price	5 درصد قیمت محصول(10500 تومان) 5% of the product price 10 درصد قیمت محصول(11000 تومان) 10% of the product price 15 درصد قیمت محصول(11500 تومان) 15% of the product price

جدول ۲- ویژگی‌های موردمطالعه و سطوح متناظر آن‌ها (برچسب چگونگی کشت)

Table 2 - Characteristics under study and their corresponding levels (labeled with how to cultivate)

ویژگی attributes	سطوح Levels
سازمان صادر کننده برچسب Label issuing organization	دولتی Governmental دانشگاه University بین المللی International
دقت روش اندازه‌گیری The accuracy of the measuremen	کم Low اطلاعاتی نیست No information زیاد High
اطلاعات Information	سطح آلودگی خاکی که محصول در آن کشت شده است Soil pollution level درجه آلودگی آبی که محصول با آن آبیاری شده است Degree of contamination of water نوع سموم مورد استفاده Type of poisons used
قیمت Price	5 درصد قیمت محصول(10500 تومان) 5% of the product price 10 درصد قیمت محصول(11000 تومان) 10% of the product price 15 درصد قیمت محصول(11500 تومان) 15% of the product price

چارچوب آزمون و تهیه پرسش‌نامه

باتوجه‌به این نکته که پرسش‌نامه به‌عنوان ابزار جمع‌آوری داده برای تجزیه‌وتحلیل نهایی عمل می‌نماید، ازاین‌رو کیفیت نتایج نهایی تا حد زیادی توسط کیفیت پرسش‌نامه تعیین می‌گردد؛ بنابراین در طراحی پرسش‌نامه استفاده از عبارت کوتاه، دقیق، بی‌طرف و مستقیم و بیان اهمیت و ضرورت بررسی برای پاسخ‌دهندگان به جهت تأثیر مثبت بر نرخ پاسخ‌دهی ضروری می‌باشد. ساختار پرسش‌نامه مورداستفاده در این پژوهش شامل سه بخش اصلی می‌باشد:

- بخش مشخصات فردی، متغیرهای اقتصادی – اجتماعی و سنجش آگاهی
- بخش اهمیت و ضرورت پژوهش و تعریف ویژگی‌ها
- بخش آزمون انتخاب

در بخش اول سؤالات مربوط به مشخصات فردی و ویژگی‌های اقتصادی – اجتماعی نظیر سن، جنسیت، درآمد و... و آگاهی مصرف‌کنندگان در مورد برچسب‌های محصولات کشاورزی مطرح شده است. در بخش دوم اهمیت و ضرورت پژوهش بیان شده است و ویژگی‌ها تعریف می گردند تا پاسخ‌دهندگان با ویژگی‌های مورد بررسی آشنا شوند. بخش سوم شامل مجموعه‌ای از کارت‌های انتخاب است که پاسخ‌دهنده باید در هر کارت انتخاب یک گزینه را انتخاب نماید.

جامعه آماری و روش نمونه‌گیری

جامعه آماری موردمطالعه در این پژوهش، شامل مصرف‌کنندگان شهر مشهد و روش نمونه‌گیری استفاده شده نیز، نمونه‌گیری بر اساس انتخاب می‌باشد. این نوع نمونه‌گیری با نمونه‌گیری متداول متفاوت است. در این مطالعه برای تعیین حجم نمونه در شهر مشهد، یک پیش مطالعه انجام شد و تعداد ۶۰ پرسش‌نامه تکمیل گردید و با درنظرگرفتن قانون "انتخاب کم احتمال ترین گزینه توسط ۳۰ نفر"، تعداد ۱۷۰ نفر به‌عنوان حجم نمونه تعیین شده است (Abolhassani et al., 2017). در این قانون، گزینه‌ای که کمترین انتخاب را داشته مشخص می‌کنیم و سپس با استفاده از تناسب مشخص می‌کنیم که تعداد کل نمونه را به چند برسانیم که گزینه‌ای که کمترین انتخاب را داشته حداقل توسط ۳۰ نفر انتخاب شده باشد، به این صورت حجم نمونه را تعیین می‌نماییم.

مدل و تحلیل داده‌ها

اطلاعات و داده‌های جمع‌آوری شده توسط مدل‌های زیادی که اکثر آن‌ها شکل لاجیت دارند، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. در این مطالعه برای بررسی اثر ویژگی‌های برچسب‌های محصولات کشاورزی بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان و همچنین برآورد مقدار تمایل به پرداخت برای هرکدام از ویژگی‌ها، از مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی استفاده شده است. در ادامه توضیحات بیشتری در ارتباط با این مدل‌ها آورده شده است.

الگوی لاجیت شرطی

در رهیافت آزمون انتخاب، پاسخ‌دهنده منطقی به دنبال حداکثر نمودن مطلوبیت باتوجه‌به محدودیت مخارج می‌باشد. اما به علت درک نادرست از مفهوم بهینه‌کردن و به علت اینکه پژوهشگر نمی‌تواند همه ی متغیرها را به طور دقیق وارد مدل کند، خطای بسیاری در این حداکثر نمودن وجود دارد. فرض بر این است که هر مصاحبه‌شونده یک تابع مطلوبیت تصادفی دارد. این نظریه بر اساس انتخاب احتمالی می‌باشد و در آن فرض می‌شود که افراد از یک مجموعه انتخاب موجود گزینه‌ای را که مطلوبیت آن‌ها را حداکثر می‌نماید انتخاب می‌کنند. تابع مطلوبیت غیرمستقیم برای پاسخ‌دهنده i ام می‌تواند به دو بخش مؤلفه قطعی و مؤلفه تصادفی تفکیک گردد. مؤلفه قطعی (مؤلفه قابل‌مشاهده توسط تحلیل‌گر)، به‌عنوان شاخصی خطی از ویژگی‌های خاص مؤثر بر انتخاب از j گزینه مختلف در یک مجموعه انتخاب بیان شده است. مؤلفه تصادفی (مؤلفه غیرقابل‌مشاهده توسط تحلیل‌گر)، نشان‌دهنده اثرات غیرقابل‌مشاهده مؤثر بر انتخاب افراد می‌باشد. (Ben-Akiva & Lerman, 1995; Madala, 1983; Louviere et al., 2000). ازاین‌رو تابع مطلوبیت تصادفی به‌صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد:

$$U_{ij} = v_{ij}(x_{ij}) + \varepsilon_{ij} = \beta' X_{ij} + \varepsilon_{ij} \qquad (۱)$$

که در آن U_{ij} بیانگر مطلوبیت غیرمستقیم فرد، v_{ij} مؤلفه قطعی، ε_{ij} مؤلفه تصادفی، x_{ij} ویژگی‌های خاص مؤثر بر انتخاب فرد i ام j شماره گزینه می‌باشد.

نظریه مطلوبیت تصادفی بیان می‌کند که پاسخ‌دهنده i گزینه g را در صورتی از مجموعه انتخاب C_n انتخاب می‌کند که مطلوبیت غیرمستقیم g بزرگ‌تر از هر انتخاب دیگری مانند h باشد. معادله (۲) این مطلب را نشان می‌دهد. (Ben-Akiva & Lerman, 1995 ; Louviere et al., 2000; Madala, 1983)

$$U_{ig} \succ u_{ij} \Rightarrow v_{ig} + \varepsilon_{ig} \succ v_{ih} + \varepsilon_{ih}; \forall g \neq h; g,h \in c_n \quad (۲)$$

احتمال اینکه یک پاسخ‌دهنده، گزینه g را بر هر گزینه دیگری مانند h در مجموعه انتخاب ترجیح دهد، می‌تواند به‌صورت احتمال اینکه مطلوبیت مرتبط با گزینه g از مطلوبیت سایر گزینه‌ها بیشتر می‌باشد، بیان شود. (Ben-Akiva & Lerman, 1995; Louviere et al., 2000; Madala, 1983)

$$prob\left[\left(U_{ig} \succ u_{ih}\right)\forall g \neq h\right] = prob\left[\left(v_{ig} - v_{ih}\right) \succ \left(\varepsilon_{ig} - \varepsilon_{ih}\right)\right]; g,h \in C_n \quad (۳)$$

دسترسی به عباراتی شفاف برای این احتمال نیازمند دانستن چگونگی توزیع جملات خطا (ε_{ij}) می‌باشد. فرض بر این است که جملات خطا به طور مستقل و یکسانی توزیع شدند و دارای توزیع ارزش بی نهایت[1] هستند. این توزیع نشان دهنده آن است که احتمال اینکه گزینه خاص g نسبت به سایر کزینه ها ارجح تر است، به‌صورت توزیع لاجستیک بیان می‌شود.

این تصریح که به الگوی لاجیت شرطی موسوم می‌باشد، به‌صورت رابطه (۴) بیان می‌گردد. (Mcfadden, 1974):

$$prob\left[\left(U_{ig} \succ U_{ih}\right)\forall g \neq h\right] = \frac{\exp\left(\mu v_{ig}\right)}{\sum_{j=1}^{j}\left(\mu v_{ij}\right)} \quad (۴)$$

که در رابطه (۴)، μ پارامتر مقیاس می‌باشد و به‌صورت معکوس با انحراف استاندارد توزیع خطا متناسب می‌باشد و غالباً با تبدیل به یک، نرمال می‌شود (Mcfadden, 1974). یکی از ضرورت‌های مهم در تصریح الگوی لاجیت شرطی، حفظ شرط استقلال گزینه‌های نامرتبط (IIA)[2] است. این فرض بیان‌کننده آن می‌باشد که انتخاب‌ها از درون یک مجموعه انتخاب، باید از ویژگی استقلال گزینه‌های نامرتبط تبعیت نمایند. طبق این ضرورت، حضور یا غیبت یک گزینه، احتمال انتخاب سایر گزینه‌های مجموعه انتخاب را تحت‌تأثیر قرار نمی‌دهد (Louviere et al., 2000). ازاین‌رو توصیه شده است که الگوی لاجیت شرطی باید برای فرض استقلال گزینه‌های نامرتبط توسط آزمون هاسمن – مک فادن مورد بررسی قرار گیرد تا مطمئن شویم که این فرض نقض نشده است(.Louviere et al., 2000) . درصورتی‌که این فرضیه نقض شود، برآوردهای الگوی لاجیت شرطی تورش دار و ناکارآمد خواهد بود و در این موارد باید از الگوی آماری پیچیده‌تری استفاده گردد. در این پژوهش از آزمون هاسمن و مک فادن برای فرضیه استقلال گزینه‌های نامرتبط استفاده گردیده است. یعنی ابتدا الگو به‌صورت نامقید برآورد شده و سپس یکی از گزینه‌ها از مدل حذف شده و الگو مجدداً به‌صورت مقید برآورد گردیده است. فرض صفر آزمون هاسمن بیان می‌نماید که اختلاف معنی‌داری بین ضرایب دو الگو وجود ندارد (Louviere et al., 2000). نتایج آزمون هاسمن در جدول (۳) نشان‌داده‌شده است.

همان‌طور که اطلاعات جدول فوق نشان می‌دهد، با حذف گزینهٔ اول و دوم، فرضیه صفر مبنی بر استقلال گزینه‌های نامرتبط رد می‌شود. باتوجه‌به ردشدن فرضیه صفر و اینکه برآوردهای حاصل از مدل لاجیت شرطی ممکن است نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه داشته باشد، از مدل لاجیت ترکیبی استفاده گردیده است.

الگوی لاجیت ترکیبی

الگوی لاجیت ترکیبی که به محاسبه ناهمگنی‌های غیرقابل‌مشاهده و غیر شرطی می‌پردازد، جهت بررسی ناهمگنی ترجیحات مصرف‌کنندگان برای کالاهای عمومی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Kontoleon, 2003).

انتخاب‌های گسسته نتیجه فرایند حداکثرسازی عوامل اقتصادی یا حداکثرسازی مطلوبیت مصرف‌کننده هستند؛ ازاین‌رو زمانی که ناهمسانی موجود بین مصرف‌کنندگان در نظر گرفته شود، به مجموعه‌ای از مدل‌ها با عنوان مدل‌های حداکثرسازی مطلوبیت تصادفی منجر می‌شود. در این مدل‌ها ویژگی‌هایی از گزینه‌ها که توسط پژوهشگر در نظر گرفته نمی‌شوند و ویژگی‌های شخصیتی که در مصرف‌کننده مشاهده نمی‌شوند، دو منبع ایجاد ناهمسانی مشاهده نا پذیر هستند (Train, 2000). مدل‌های مقادیر حدی تعمیم‌یافته تا حدی محدودیت استقلال و شباهت جزء خطای موجود بین گزینه‌های انتخاب شده را از طریق امکان وجود وابستگی بین اجزای خطا رفع می‌نمایند؛ اما به علت نداشتن حساست نسبت به تغییر سلایق افراد نسبت به مشخصات گزینه‌ها، قادر به درنظرگرفتن ناهمسانی موجود در انتخاب‌های افراد نمی‌باشند و تخمین‌ها ناسازگار

1- Extreme-value (Weibull) distribution
2- Independence of irrelevant alternatives

از پارامترهای مدل و احتمال انتخاب ارائه می‌دهند. به‌عنوان‌مثال مدل لاجیت آشیانه‌ای با دسته‌بندی گزینه‌ها در داخل آشیانه‌ها، و قراردادن گزینه‌های مشابه در یک آشیانه، امکان وابستگی گزینه‌ها در یک آشیانه را فراهم می‌کند، ولی وابستگی بین آشیانه‌ها را در نظر نمی‌گیرد (Han et al., 2020).

جدول ۳- نتایج حاصل از آزمون هاسمن برای استقلال گزینه‌های نامرتبط

Table 3- The results of the Hausman test for the Independence of irrelevant alternatives

گزینه حذف شده Option removed	آماره ۲χ محاسباتی Computational statistics ۲χ	احتمال Probability
گزینه اول The first option	-8.01	0.09
گزینه دوم The second option	-13.04	0.01

مدل لاجیت ترکیبی یک مدل بسیار انعطاف‌پذیر می‌باشد. با استفاده از این مدل، هر مدل انتخاب گسسته که از نظریه مطلوبیت تصادفی مشتق شده را می‌توان تخمین زد. این مدل اخیراً به‌عنوان یک مدل توسعه‌یافته پیشنهاد شده است که محدودیت‌های رفتاری کمتری نسبت به مدل‌های لاجیت معمولی دارد. مدل لاجیت با پارامترهای تصادفی یک مدل تعمیم‌یافته است و اجازه می‌دهد تا پارامترهای تخمین زده شده از فردی به فرد دیگر متفاوت باشد. علاوه بر این، در این مدل نیازی به درنظرگرفتن فرض استقلال گزینه‌های نامرتبط (IIA) نیست. مدل لاجیت ترکیبی به ما اجازه می دهد تا تغییرات ترجیحات (ناهمگنی رفتار) را مدل‌سازی کنیم و لازم است که توزیع احتمالی را برای تعدادی از ضرایب در نظر بگیریم (Mcfadden, 1974). با فرض اینکه شخص i بردار پارامتر خود را دارد که با میانگین جامعه متفاوت می‌باشد: $\beta_i = \beta + \eta_j$، مطاوبیت هر گزینه به شکل معادله (۵) خواهد بود:

$$U_{hj} = V(X_j(\beta + \eta_{ij})) + \theta_j \qquad (۵)$$

احتمال انتخاب گزینه j توسط شخص i در مدل لاجیت ترکیبی به‌صورت زیر می‌باشد:

$$pr_{ij} = \int \left[\frac{\exp(V(x_{iJ}))}{\sum_{h-1}^{c} (V(X_i))} \right] f(\beta) d\beta \qquad (۶)$$

محاسبه تمایل به پرداخت

یکی از مزایای روش آزمون انتخاب، امکان محاسبه تمایل به پرداخت نهایی برای هرکدام از ویژگی‌ها می‌باشد که قیمت ضمنی ویژگی، نرخ نهایی جانشینی ویژگی‌های غیربازاری و ویژگی‌های پولی را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطه (۷) که نسبت ضریب ویژگی غیرپولی (*nonmonetary*) به ضریب ویژگی پولی (*monetary*) را نشان می دهد، می‌توان تمایل به پرداخت نهایی برای هر کدام از ویژگی‌ها را به دست آورد (Adamowicz et al., 1998).

$$\text{Marginal WTP} = = -\left[\frac{\beta nonmonetary}{\beta monetary} \right] \qquad (۷)$$

نتایج و بحث

در جدول زیر خلاصه‌ای از خصوصیات فردی یا ویژگی‌های جمعیت‌شناختی، آگاهی و تجربه مصرف‌کنندگان، نگرش مصرف‌کنندگان و ترجیحات مصرف‌کنندگان ارائه شده است.

انتخاب مصرف‌کنندگان:

در مجموع ۱۵۳۰ کارت انتخاب که هرکدام حاوی سه گزینه دررابطه‌با برچسب آسیب‌های زیست‌محیطی، برچسب چگونگی کشت محصولات کشاورزی و هیچ‌کدام بوده است، به مصرف‌کنندگان ارائه شده است. در ۳۲٪ موارد، گزینه‌ی مربوط به برچسب آسیب‌های زیست‌محیطی انتخاب شده است. در ۵۳٪ موارد، گزینه انتخابی برچسب چگونگی کشت بوده و در 15٪ درصد موارد هم برچسب هیچ‌کدام انتخاب شده است.

تحلیل داده‌های جمع‌آوری شده توسط مدل‌های زیادی که بیشتر آن‌ها فرم لاجیت دارند انجام می‌شود. در این مطالعه برای بررسی اثر ویژگی‌های برچسب‌های محصولات کشاورزی بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان و همچنین برآورد مقدار تمایل به پرداخت برای هرکدام از ویژگی‌ها، از مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی استفاده شده است. در ادامه توضیحات بیشتری در ارتباط با این مدل‌ها آورده شده است.

برچسب آسیب های محیط زیستی

جدول٤- جدول ویژگی‌های فردی

Table 4- Table of individual characteristics

ویژگی‌های فردی Individual characteristics	درصد Percent
جنسیت Gender	
زن Female	77.65
مرد Male	22.35
سطح تحصیلات Education	
زیر کارشناسی Undergraduate	47.06
کارشناسی و بالاتر Bachelor and above	52.94
وضعیت اشتغال Employment	
شاغل Employed	35.88
بیکار Unemployed	64.12
درآمد ماهیانه Monthly income	
زیر ۳ میلیون تومان Under 3 million tomans	18.82
بین ۳ تا ۸ میلیون تومان Between 3 and 8 million tomans	51.76
بیشتر از ۸ میلیون تومان More than 8 million tomans	29.41
حضور افراد با بیماری خاص در خانواده Specific illness in the family	
بلی Yes	27.65
خیر No	72.35

جدول ۵- نتایج برآورد مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی

Table 5- Estimation results of conditional logit Mixed logit model

متغیر Variable	مدل لاجیت شرطی Conditional logit model Cl	مدل لاجیت ترکیبی Mixed logit model
	ضریب Coefficient (انحراف استاندارد) standard deviation	ضریب Coefficient (انحراف استاندارد) standard deviation
سازمان صادرکننده ی برچسب Label issuing organization	0.09670** (0.04648)	0.09680** (0.04648)
دقت روش اندازه‌گیری The accuracy of the measuremen	0.33402** (0.04790)	0. 33438** (0.04792)
اطلاعات Information	0.03818 (0.04799)	0.03849 (0.04803)
قیمت پرداختی (هزینه) Price	0.0000544 (0.0000992)	-9.83472** (1.85671)
قیمت پرداختی (متغیر رندوم) Price(random variable)	-	0.01169 (5.85122)
سن Age	-0.02027** (0.00674)	-0.01932** (0.00674)
جنسیت Gender	0.96854** (0.18996)	0.94478** (0.19064)
سابقه بیماری خاص در خانواده Specific illness in the family	0.57861** (0.19469)	0.59007** (0.19533)
حضور کودک در خانواده presence of a child in the family	-	0.303014* (0.16704)
تعداد مشاهدات Observations	4590	
اندازه ی نمونه Sample size	170	
لگاریتم درستنمایی Log likelihood	-1446.0226	-1443.5025
معیار اطلاعات بیزین BIC	2980.041	2997
معیار اطلاعات بیزین AIC	2916.045	2917.005 LR Chi^2 (12) =129.07 Prob > chi2= (0.000)

*، **، ***، به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰، ۵ و ۱ درصد.

* , ** and*** Are significant at the 10, 5 and 1 probability levels, respectively.

نتایج مدل لاجیت شرطی

در این پژوهش، برآورد مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی استفاده از نرم‌افزار Stata16 صورت‌گرفته است. با توجه به نتایج آزمون هاسمن، فرضیه صفر مبنی بر استقلال گزینه‌های نامرتبط رد می‌شود. باتوجه‌به ردشدن فرضیه صفر و اینکه برآوردهای حاصل از مدل لاجیت شرطی ممکن است نتایج گمراه‌کننده‌ای به همراه داشته باشد، از مدل لاجیت ترکیبی استفاده گردیده است.

نتایج مدل لاجیت ترکیبی

در این مدل، علامت ضرایب مطابق انتظار بوده است. علامت منفی ویژگی قیمت مطابق با طبق تئوری مطلوبیت اقتصادی می باشد، به این معنی که برچسب های دارای قیمت پیشنهادی بالاتر، باعث کاهش مطلوبیت افراد شده و نسبت به سایر برچسب ها از احتمال انتخاب پایینی برخوردار می باشند. اگر مقدار عددی LR-CHI2 نسبت به سطح بحرانی این شاخص بیشتر باشد، مدل برآورد شده معنی دار می باشد. با توجه به نتایج، آماره LR برابر با ۱۲۹/۰۷ به دست آمده است و مقدار بحرانی برابر ۱۲ می باشد، مقدار ۱۲۹/۰۷ از مقدار بحرانی یعنی عدد۱۲ ، بیشتر است که نشان می دهد P-VALUE کوچیکتر از ۰/۰۵ می باشد و در نتیجه رگرسیون لاجیت پارامتر تصادفی معنی دار شده است. مقدار بالای آماره ی لگاریتم راستنمایی نشان دهنده ی تصریح درست مدل برآورد شده است. (LR-chi2) در واقع عددش یک عدد آماری است که نشان می دهد آیا log likelihood یک عدد معنی دار است یا خیر. معنی داری آن با مقدار LR-chi2 سنجیده می شود. عدد LR-chi2 با مقدار بحرانی مقایسه می شود. اگر مقدار آن از مقدار بحرانی بیشتر باشد، مدل معنی دار است معنی‌داری آماری ضرایب تصادفی (انحراف استاندارد) محاسبه شده، می‌تواند دلیلی بر ترجیحات ناهمگن مصرف‌کنندگان باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که مصرف‌کنندگان برای ویژگی قیمت پرداختی که ضریب انحراف استاندارد آن معنادار نشده، رفتار همگن از خود نشان دادند. همچنین باتوجه‌به جدول، افرادی که کودک در خانواده داشتند و همچنین افراد با بیماری خاص در خانواده و خانم ها تمایل بیش‌تری برای خرید محصولات دارای برچسب و افراد با سن بالاتر تمایل کمتری برای خرید این محصولات دارند.

نتایج حاصل از برآورد اثر نهایی

جدول ٦- نتایج حاصل از محاسبه اثر نهایی

Table 6- The results of calculating the marginal effect

	احتمال انتخاب برچسب محیط زیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح سازمان سه باشد) Organization level is three	احتمال انتخاب برچسب محیطزیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح سطح سازمان دو باشد) Organization level is two	احتمال انتخاب برچسب محیطزیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح سازمان یک باشد) Organization level is one	احتمال انتخاب برچسب محیطزیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح دقت سه باشد) Accuracy level should be three	احتمال انتخاب برچسب محیطزیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح دقت دو باشد) Accuracy level is two	احتمال انتخاب برچسب محیطزیست The possibility of choosing an environmental label (زمانی که سطح دقت یک باشد) Accuracy level is one	
متوسط احتمال انتخاب Average selection probability	0.34 (0.25–0.39)	0.32 (0.23–0.37)	0.29 (0.22–0.35)	0.39 (0.33–0.45)	0.31 (0.26–0.37)	0.25 (0.20_0.30)	

جدول۷- نتایج برآورد مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی

Table 7- results of estimation of conditional logit models mixed logit model

متغیر Variable	مدل لاجیت شرطی Conditional logit model	مدل لاجیت ترکیبی Logit model with random parameters
	ضریب Coefficient (انحراف استاندارد) standard deviation	ضریب Coefficient (انحراف استاندارد) standard deviation
سازمان صادرکننده ی برچسب Label issuing organization	0.09670** (0.04648)	0.09680** (0.04648)
دقت روش اندازه‌گیری The accuracy of the measurement	0.33402** (0.04790)	0.33438** (0.04792)
اطلاعات Information	0.03818 (0.04799)	0.03849 (0.04803)
قیمت پرداختی (هزینه) Price	0.0000544 (0.0000992)	-9.83472** (1.85671)
قیمت پرداختی (متغیر رندوم) Price(random variable)	-	0.01169 (5.85122)
سن Age	-0.02694** (0.00635)	-0.02587** (0.00635)
جنسیت Gender	0.62467** (0.16973)	0.59584** (0.17048)
سایقه بیماری خاص در خانواده Specific illness in the family	0.62735** (0.18348)	0.63875** (0.18422)
حضور کودک در خانواده presence of a child in the family	-	0.34783** (0.15654)
تعداد مشاهدات Observations	4590	
اندازه ی نمونه Sample size	170	
لگاریتم درستنمایی Log likelihood	-1446.0226	-1443.5025
معیار اطلاعات بیزین BIC	2980.041	2997
معیار اطلاعات آکائیک AIC	2916.045	2917.005 LR Chi^2 (12) =129.07 Prob > chi2= (0.000)

*، **، ***، به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱۰، ۵ و ۱ درصد.

* , ** and*** Are significant at the 10, 5 and 1 probability levels, respectively.

برای برسی اینکه اگر سطوح مربوط به ویژگی‌ها را در یکی از برچسب‌ها تغییر دهیم، احتمال انتخاب آن برچسب چگونه تغییر می‌کند و چگونه بر احتمال انتخاب برچسب‌های دیگر تأثیر می‌گذارد، لازم است که اثر نهایی را محاسبه نماییم. بررسی اثرات نهایی نشان می‌دهد که اگر سطح دقت روش اندازه‌گیری یک باشد (اگر دقت کم باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۲۵/. می‌باشد. اگر سطح دقت سه باشد (اگر دقت روش اندازه‌گیری زیاد باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۳۹ می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر نتایج نشان داده است که اگر سطح دقت روش اندازه‌گیری زیاد باشد، احتمال انتخاب برچسب محیطزیست به‌اندازه ۱۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین اگر سطح سازمان صادرکننده برچسب یک باشد (سازمان دولتی باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۲۹ می‌باشد. اگر سطح سازمان صادرکننده برچسب سه باشد (سازمان بین‌المللی باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۳۴ می‌باشد. به بیان دیگر اگر سازمان صادرکننده برچسب، بین‌المللی باشد، احتمال انتخاب برچسب محیطزیست به‌اندازه ۵ درصد افزایش می باید.

برچسب چگونگی کشت

نتایج مدل لاجیت شرطی

همانند برچسب آسیب‌های محیطزیستی،با توجه به رد شده فرض استقلال گزینه‌های نامرتبط، مدل لاجیت شرطی، مدل مناسبی نبوده است.

نتایج مدل لاجیت ترکیبی

در این مدل، علامت ضرایب مطابق انتظار بوده است. معنی‌داری آماری ضرایب تصادفی (انحراف استاندارد) محاسبه شده، می‌تواند دلیلی بر ترجیحات ناهمگن مصرف‌کنندگان باشد؛ بنابراین می‌توان گفت که مصرف‌کنندگان برای ویژگی قیمت پرداختی که ضریب انحراف استاندارد آن معنی‌دار نشده، رفتار همگن از خود نشان دادند. همچنین با توجه به جدول، افرادی که کودک در خانواده داشتند و همچنین افراد با بیماری خاص در خانواده و خانم ها تمایل بیش‌تری برای خرید محصولات دارای برچسب و افراد با سن بالاتر تمایل کمتری برای خرید این محصولات دارند.

نتایج حاصل از محاسبه اثر نهایی

جدول۸- نتایج حاصل از محاسبه اثر نهایی
Table 8- The results of calculating the marginal effect

	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمانی که سطح دقت یک باشد) Accuracy level is one	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمانی که سطح دقت دو باشد) Accuracy level is two	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمانی که سطح دقت سه باشد) Accuracy level is three	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمانی که سطح سازمان یک باشد) Organization level is one	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمانی که سطح سازمان دو باشد) Organization level is two	احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت Possibility of choosing the label of how to cultivate (زمان زمانی که سطح سازمان سه باشد) Organization level is three
متوسط احتمال انتخاب Average selection probability	0.45 (0.39-0.50)	0.53 (0.47–058)	0.61 (0.55–0.63)	0.51 (0.42–0.59)	0.53 (0.45–0.61)	0.55 (0.47–0.63)

بررسی اثرات نهایی نشان می‌دهد که به‌طورکلی احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت بیشتر از احتمال انتخاب برچسب محیطزیست می‌باشد. اگر سطح دقت روش اندازه‌گیری یک باشد (اگر دقت کم باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۴۵ می‌باشد. اگر سطح دقت سه باشد (اگر دقت روش اندازه‌گیری زیاد باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۶۱ می‌باشد. به‌عبارت‌دیگر نتایج نشان داده است که اگر سطح دقت روش اندازه‌گیری زیاد باشد، احتمال انتخاب برچسب چگونگی کشت به‌اندازه ۱۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین اگر سطح سازمان صادرکننده برچسب یک باشد (سازمان دولتی باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۵۱ می‌باشد. اگر سطح سازمان صادرکننده برچسب سه باشد (سازمان بین‌المللی باشد)، احتمال انتخاب برچسب ۰/۵۵ می‌باشد. به بیان دیگر اگر سازمان صادرکننده برچسب، بین‌المللی باشد، احتمال انتخاب برچسب محیطزیست به‌اندازه ۴ درصد افزایش می یابد.

برآورد تمایل به پرداخت

تمایل به پرداخت نهایی برای هرکدام از ویژگی‌ها در آزمون انتخاب از نسبت ضریب ویژگی موردنظر به ضریب ویژگی پولی محاسبه می‌گردد (Morrison et al., 1999). دو متغیری که در این مطالعه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر در نظر گرفته شده‌اند و برای مصرف‌کنندگان اولویت بیشتری داشتند عبارت‌اند از: ویژگی سازمان صادرکننده برچسب و ویژگی دقت روش اندازه‌گیری. جدول زیر نتایج برآورد هر یک از این ویژگی‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۹- محاسبه تمایل به پرداخت نهایی هریک از ویژگی‌های موردمطالعه در الگوی لاجیت ترکیبی

Table 9- Calculation of the willingness to final payment of each of the characteristics under study in the logit model with random parameters with panel data

ویژگی Attribute	تمایل به پرداخت نهایی Willingness to pay
سازمان صادرکننده برچسب Label issuing organization	5 (تومان)
دقت روش اندازه‌گیری Accuracy of the measurement	17.04 (تومان)

مأخذ: یافته‌های تحقیق

Source:Reserch findings

جدول فوق نتایج برآورد میزان تمایل به پرداخت را برای هر یک از ویژگی‌ها نشان می‌دهد. باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد که مصرف‌کنندگان برای ویژگی دقت روش اندازه‌گیری بیشترین اهمیت را قائل بوده‌اند. به‌احتمال زیاد پایین‌بودن سطح درآمدها اصلی ترین دلیل برای پایین‌بودن تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان می‌باشد. درعین‌حال مصرف‌کنندگان حاضرند تقریبا بیش از ۳ برابر بیشتر برای ویژگی دقت روش اندازه‌گیری نسبت به ویژگی سازمان صادرکننده‌ی برچسب بپردازند که نشان می‌دهد این ویژگی اهمیت بیشتری نسبت به ویژگی سازمان صادرکننده‌ی برچسب برای مصرف‌کنندگان دارد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله به تحلیل ترجیحات مصرف‌کنندگان برای تولیدات کشاورزی حفاظتی با استفاده از روش آزمون انتخاب پرداخته شده است. برای تحلیل تأثیر ویژگی‌های برچسب‌های محصولات کشاورزی بر ترجیحات مصرف‌کنندگان از مدل‌های لاجیت شرطی و لاجیت ترکیبی استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داده است که ویژگی دقت روش اندازه‌گیری بیشترین و سازمان صادرکننده برچسب کمترین میزان تمایل به پرداخت را داشته‌اند. نتایج حاصل از ورود متغیرها اقتصادی – اجتماعی نشان داده است که متغیر جنسیت، حضور کودک در خانواده و حضور افراد با بیماری خاص در خانواده بر ترجیحات مصرف‌کنندگان اثر مثبت و معنی‌دار دارند؛ به‌عبارت‌دیگر خانم‌ها و افرادی که کودک و بیماری خاص در خانواده دارند تمایل بیشتری برای خرید محصولات دارای برچسب دارند و همچنین نتایج نشان داده است که متغیر سن اثر منفی و معنی‌داری بر ترجیحات مصرف‌کنندگان داشته است؛ به دیگر سخن،

با افزایش سن، تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای خرید محصولات دارای برچسب کاهش می‌یابد. مروری بر مطالعات انجام شده در این زمینه، با نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه هم سو است و نتایج این پژوهش را مورد تأیید قرار می‌دهد. به‌عنوان‌مثال پژوهش حاضر با مطالعه (Gurnert et al., 2014) در اروپا تحت عنوان برچسب‌های پایداری بر روی محصولات غذایی که نشان دادند متغیر سن تأثیر معنی‌دار و منفی بر ترجیحات مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات دارای برچسب دارد (افراد با سن بالاتر کمتر از محصولات دارای برچسب استفاده می‌کنند) و جنسیت تأثیر مثبت و معنی‌داری بر ترجیحات مصرف‌کنندگان برای محصولات دارای برچسب دارد، زنان نسبت به مردان بیشتر نگران محیطزیست هستند و تمایل به پرداخت بیشتری برای محصولات دارای برچسب دارند، مطابقت دارد. (Xu et al., 2012) در بررسی مصرف‌کنندگان چینی برای غذاهای دریایی دارای برچسب‌های زیست‌محیطی نشان دادند که عواملی از قبیل سن بر روی تمایل به پرداخت و ترجیحات آن‌ها برای این محصولات مؤثر می‌باشد. (Loureiro et al., 2002) در پژوهشی در کشور پرتلند در تجزیه‌وتحلیل عوامل مؤثر بر تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای سیب‌های دارای برچسب نشان دادند که زنان تمایل به پرداخت بالاتری دارند. بررسی میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای تولیدات کشاورزی حفاظتی در شهر مشهد، برای ویژگی‌های مورد بررسی در مطالعه حاضر نشان داده است که افراد حاضرند مبلغ اضافه‌تری را برای ویژگی دقت روش اندازه‌گیری نسبت به ویژگی سازمان صادرکننده برچسب پرداخت نمایند. همچنین میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای ویژگی های سازمان صادرکننده برچسب و دقت روش اندازه‌گیری به ترتیب ۵ و ۱۷/۰۴ به‌دست‌آمده است. ازآنجایی‌که میزان تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای برچسب‌های محصولات کشاورزی، بسیار پایین بوده است، پیشنهاد می‌شود که با افزایش دانش و آگاهی عموم مردم در مورد برچسب‌های محصولات کشاورزی (برچسب چگونگی کشت و برچسب محیط زیستی)، فرهنگ عمومی در این زمینه ارتقا یابد و تمایل مردم برای خرید و مصرف محصولات دارای برچسب افزایش یابد. مقدار تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان برای کسب اطلاعات مربوط به نحوه کشت و آسیب به محیطزیست بسیار پایین می‌باشد. حتی مصرف‌کنندگان حاضر به پرداخت برای کسب اطلاعات جزئی در زمینه‌ی تولید (مانند درجه آلودگی آبی که محصول با آن آبیاری شده است، سطح آلودگی خاکی که محصول در آن کشت شده است و نوع سموم مورداستفاده) و آسیب‌های محیط زیستی (مانند آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی به دلیل تولید محصول، آلوده‌شدن هوا به دلیل تولید محصول و گرم‌شدن کره‌ی زمین (افزایش دما) به دلیل تولید محصول) نیستند. در این راستا تحقیقات بیشتر در زمینه‌ی دلایل پایین بودن تمایل به پرداخت مصرف‌کنندگان پیشنهاد می‌شود.

Refrences

1. Abolhassani, L., Baiani, A., Shahnoshi,N., & Mohammadi,H. (2017). Estimating the economic value of Naharkhoran Park's recreation facilities and services using the choice experiment method. *Journal of Natural Environment*, *70*(4), 799-812.
2. Adamowicz, W. L., Boxall, P., Williams, M., & Louviere, J. (1998). Stated preference approaches for measuring passive use value: Choice experiments and contingent valuation. *American Journal of Agricultural Economics*, *80*, 64-75. https://doi.org/10.2307/3180269
3. Aoki, K., Akai, K., & Ujiie, K. (2017). A choice Experiment to Compare preferences for rice in Thailand and japan: the impact of origin sustainability and taste. *Food Quality and Prefernces*, *56*, 274-284. http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.03.001
4. Bagherzadeh, A. (2006). Organic farming. Analytical report of Tehran Institute of Agricultural Economy Research and Planning. *Ministry of Agriculture*. (In Persian)
5. Banovic, M., Reinders, M. J., Claret, A., Guerrero, L., & Krystallis, A. (2019). A cross-cultural perspective on impact of health and nutrition claims, country-of-origin and eco-label on consumer choice of new aquaculture products. *Food Research International*, *123*, 36-47. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.031
6. Barghi, H., Hasani nrzhad, A., & Shayan, M. (2017). Evaluation of the effects of agricultural chemicals on the environment of villages (case study: villages of Zarin Dasht). *Management of Natural Hazards (knowledge of former hazards)*, 4 (3), 247-262. (In Persian with English abstract) http://doi.org/10.22059/JHSCI.2018.248113.306

7. Bateman, I.J., Carson, R., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., Hett, T., Jones-Lee, M., Loomes, Mourato, S., Ozdemiroglu, E., Pearce, D., Sugden, J., & Swanson, J. (2002). *Economic G., Evaluation with A tated Preference Techniques, a Manual*, first ed. Edward Elgar, Cheltenham.
8. Ben-Akiva, M. E., & Lerman, S. R. (1995). *Discrete Choice Analysis: Theory and Application to Travel Demand*. MIT Press. Cambridge, MA. http://doi.org/10.4236/ib.2014.64019
9. Carson, R. T., Louviere, J. J., Anderson, D. A., Arabie, P., Bunch, D., Henisher, D. A., Johnson, R. M., Kuhfeld, W. F., Steinberg, D., Swait, J., Timmermans, H., & Wileg, J. B. (1994). Experimental analysis of choice. *Marketing Letter*s, *5*(4), 357-368. https://doi.org/10.1007/BF00999210
10. Chen, X., Gao, Z., Swisher, M., House, L., & Zhao, X. (2018). Eco-labeling in the fresh produce market: not all environmentally friendly labels are equally valued. *Ecological Economics*, *154*, 201-210. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.07.014
11. Cheraghi, M., Suhrabi. M., & Shayesteh,K. (2012). Evaluation of copper and cadmium concentration in greenhouse tomatoes produced in Hamedan province in 2011. *Food Hygiene*, 3(4), 31-40. (In Persian with English abstract)
12. Demiyurek, K. (2010). Analysis of informaton systems and communication networks for organic and conventional hazelnut producers in the Samsun province of Turkey. *Agricultural Systems*, *103* (7), 444-452. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.04.002
13. DeShazo, J. R., & Fermo, F. (2002). Designing choice sets for stated preference methods: the effects of complexity on choice consistency. *Journal of Environmental Economics and Management*, *44*, 123-143. https://doi.org/10.1006/jeem.2001.1199
14. Golmohammadi Tolani, M (2008). Investigating the environmental problems and bottlenecks of the Mashhad river discovery. *Journal of Geographical Sciences*, *3*(9).
15. Grankvist, G., Dahlstrand, U., & Biel, A. (2004). The impact of environmental labelling on consumer preference: Negative vs. positive labels. *Journal of Consumer Policy*, *27*(2), 213-230. https://doi.org/10.1023/B:COPO.0000028167.54739.94
16. Green, P. E., & Srinivasan, V. (1978). Conjoint analysis in consumer research: Issues and outlook. *Journal of Consumer Research*, *5*, 103-123. https://doi.org/10.1086/208721
17. Green, P. E., & Srinivasan, V. (1990) Conjoint analysis in marketing research: New developments and directions. *Journal of Marketing*, *54*(4), 3-19. https://doi.org/10.2307/1251756
18. Grunert, K.G., Hieke, S., & Wills, J. (2014). Sustainability labels on food products: Consumer motivation, understanding and use. *Food Policy*, *44*, 177-189. http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2013.12.001
19. Guru. M.V., Horne J.E. (2000). Food labeling. The Kerr Center for sustainable Agriculture for Sustainable Agriculture Poteau, Oklahoma.2-67.
20. Haghjo, M., Haiati, B., Mohammad rezaei, R., Pish Bahar, A., & Dashti, Gh. (2011). Factors affecting consumers potential willingness to pey a premium for safe food products (Case study: Agricultural Administration of East Azerbaijan*). Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *21*(3), 105-117. (In Persian with English abstract)
21. Han, B., Ren, S., & Bao, J. (2020). Mixed logit model based on improved nonlinear utility functions: a market shares solution method of different railway traffic modes. *Sustainability*, *12*(4), 1406. http://doi.org/10.3390/su12041406
22. Hanley, N., Mourato, S., & Wright, R. (2001). Choice modeling approaches: A superior alternative for environmental valuation? *Journal of Economic Surveys*, *15(3)*, 435-462. https://doi.org/10.1111/1467-6419.00145
23. Hausman, J., & McFadden, D. (1984). Specification tests for the multinomial logit model. Econometrica: *Journal of The Econometric Society*, 1219-1240. https://doi.org/10.2307/1910997
24. Hensher, D.A., Rose, J.M., & Greene, W.H. (2005). *Applied Choice Analysis: A Primer*. Cambridge: Cambridge Univerisity Press.
25. Iranian Organic Association. (2011). Organic Agricultural, Retrieved form: Available at Web site< WWW. Iranorganic.com >.
26. Jalili Kamjoo, S.P., Khoshakhlagh, R., Fotros, M.H., & Derakhshan, M. (2014). A new approach in estimattion of regional and non- regional visitors preferences with Zayandehrood ecosystem services: Choice Experiment

Conditioanl Logit. *Quarterly Eneregy Economics Review, 10(42),* 1-24. (In Persian with English abstract)
27. Jalini, M., & Dosti, F. (2011). Investigating the accumulation of nitrates in potato and tomato products. *Scientific Quarterly of Environment*, (50), 62-71. (In Persian with English abstract)
28. Karimi Jashni, H., & Karimi Jashni, A. (2008). The role of agricultural activities in environmental degradation. *Regional conference on agriculture based on growth and development*, 1-12. (In Persian with English abstract)
29. Keshavarz, F., Allahyari, M., Azarmi Sesari, Z., & Khayati, M. (2010). Effective factors on non-acceptance of cultivation of high-yielding rice varieties among Guilan province farmers. *Journal of Agricultural Promotion and Education, 4*, 99-122. (In Persian with English abstract)
30. Kontoleon, A. (2003). Essays on non market valuation of environmental resources; policy and technical explorations. University of London, University College London (United Kingdom).
31. Krystallis, A., & Chryssohoidis, G. (2005). Consumers' willingness to pay for organic food: Factors that affect it and variation per organic product type. *British Food Journal*, *107*(5), 320-343. http://doi.org/10.1108/00070700510596901
32. Li, Y. (2020). Competing eco-labels and product market competition. *Resource and Energy Economics*, *60*, 101149. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2020.101149
33. Latifi, S., Raheli, H., Yadavar, H., & Saadi, H. (2017). Identification and analysis of drivers of conservation agriculture development in Iran .*Extension Sciences and Agricultural Education of Iran*, *13*(1), 105-125. 20.1001.1.20081758.1396.13.1.8.6
34. Loureiro, M. L., McCluskey, J. J., & Mittelhammer, R. C. (2002). Will consumers pay a premium for eco-labeled apples? *Journal of Consumer Affairs*, *36*(2), 203-219. https://www.jstor.org/stable/23859924
35. Louviere, J. J., & Hensher, D. A. (1982). On the design and analysis of simulated choice or allocation experiments in travel choice modeling. *Transportation Research Record. 890*, 11-17. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1982/890/890-003.pdf
36. Louviere, J.J., & Woodworth, G. (1983). Design and analysis of simulated consumer choice or allocation experiments: an approach based on aggregate data. *Journal of Marketing Research*, *20*, 350-367. https://doi.org/10.2307/3151440
37. Louviere, J. J., Hensher, D. A., & Swait, J. D. (2000). Stated choice methods: analysis and applications, *Cambridge University Press*. https://doi.org/10.1017/CBO9780511753831
38. Lusk, J. L., & Hudson, D. (2004). Willingness-to-pay estimates and their relevance to agribusiness decision making. *Applied Economic Perspectives and Policy*, *26*(2), 152-169. https://doi.org/10.1111/j.1467-9353.2004.00168.x
39. Maddala, G. S. (1983). *Limited-dependent and Qualitative Variable in Econometrics*. Cambridge University Press. Cambridge, MA. https://doi.org/10.1017/CBO9780511810176
40. Mahdavi, A., Koocheki, A., & Rezvani Moghaddam, P. (2004). Sustainability indicators: Tools for quantifying concepts of ecological agriculture. *Environmental Sciences*, *1*(4),1-10. (In Persian with English abstract)
41. Malek Saeedi, H., Rezaei Moghadan, K., & Ajili, A. (2010). The study of Fars province agricultural Jihad experts in the field of organic agriculture. *Extension Sciences and Agricultural Education of Iran*, *6*(9), 49-62. (In Persian with English abstract)
42. Marette, S., Messéan, A., & Millet, G. (2012). Consumers' willingness to pay for eco-friendly apples under different labels: Evidences from a lab experiment. *Food Policy*, *37*(2): 151-161. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.12.001
43. McFadden, D. (1974). *Conditional logit analysis of qualitative choice behavior. Frontier in Econometrics*, Zarembka, P. (ed.) New York: Academic Press, 105-142. http://doi.org/ 10.4236/health.2017.91008
44. Meier-ploeger, A. (2005). *Organic Farming, Food Quality and Human Health*. NJF Seminar Report. Vol. 1, No.1.
45. Mohammadi, Z., & Babaei,Y. (2015) . The need to control the pollution of the effluents entering the Kashf River of Mashhad and providing appropriate solutions. *National Water Conference with Clean Water Approach*, 1-8. (In Persian with English abstract) https://civilica.com/doc/104476/
46. Molavi, F., DehghaN, H., Alizade, A., & Hosseini Fatemi,M. (2019). Investigating the pollution status of the Kashf River with the approach of protozoan parasites. *Journal of Experimental Animal Biology,1*(8), 29-38.

47. Morrison, M., Bennet, J., & Blamey, R. (1999). Valuing improved wetland quality using choice modeling. *Water Resources Research*, *35*(9), 2805-2814. https://doi.org/10.1029/1999WR900020
48. Nasimi, A. (2000). The position of modern agriculture in the sustainable development of Iran's agriculture. *Zaytoun Magazine*, 164, 48-55. (In Persian with English abstract)
49. Owusu-Sekyere, E., Owusu, v., & Jordaan, H. (2014). Consumer preferences and willingness to pey for beef food safety assurance labels in the Kumasi Metropolis and Sunyani Municipality of Ghana. *Food Control*, *46*, 152-159. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.05.019
50. Pooralijan, M., Amirnezhad, H., Mojaverian, M., & Taslimi, M. (2021). Investigating the willingness of consumers to pay for organic oranges using the choice experiment method in the city of Sari. *Agricultural Economics and Development*, *28*(4), 93-116. (In Persian with English abstract) http://doi.org/10.30490/AEAD.2021.299602.1081
51. Rashid, N. R. N. A. (2009). Awareness of eco-label in Malaysia's green marketing initiative. *International Journal of Business and Management*, *4*(8), 132-141. http://doi.org/10.5539/ijbm.v4n8p132
52. Ranjbar,G.H., Najafpoor,A., & Dehghan, A. (2020). Investigating the concentration of heavy metals (lead, cadmium, arsenic and mercury) in the vegetables of farms near the Kashf River of Mashhad in 2017. *Journal of Research in Environmental Health*, *2*(6). 107-116. https://doi.org/10.22038/jreh.2020.43163.1322
53. Ryan, M. (1999). Using conjoint analysis to take account of patient preferences and go beyond health outcomes: an application to invitro fertilisation. *Social Science & Medicine*, *48* (4), 535-546. http:/doi.org/10.1016/s0277-9536(98)00374-8
54. Salehnia, M., Hayati, B., Ghahremanzadeh, M., & Molaei. M. (2015). Estimating the value of improvement in environmental situation of Urmia Lake using choice experiment. *International Journal of Agricultural Mnagement and Development* (*IJAMAD*), *27*(4), 267-276. (In Persian with English abstract)
55. Sharzehi, G., & Jalili Kamjoo, S.P. (2013). Choice modeling: a new approach to valuation of environmental commodity (case study: Ganjnameh Hamedan). *Quarterly Journal of Economic Research*, *13*(3), 1-18. (In Persian with English abstract)
56. Stobbelaar, D. J., Casimir, G., Borghuis, J., Marks, I., Meijer, L., & Zebeda, S. (2006). Adolescents' attitudes towards organic food: a survey of 15- to 16-year old school children. *International Journal of Consumer Studies*, *31*(4), 349-356. https://doi.org/10.1111/j.1470-6431.2006.00560.x
57. Taefe Sultan Khani, A. (2010). Organic agriculture and its role in creating food security. *New Food Technology Magazine*, *16*, 34-35. (In Persian with English abstract)
58. Tonukbar, P., Amirnezhad, H., & Shirzadi, S. (2021). Investigating rice consumers preferences for peyment ecosystem services of Sefidrood River. *Journal of Agricultural Economics and Development 35*(2), 121-132. (In Persian with English abstract) http://doi.org/10.22067/JEAD.2021.67055.0
59. Train, K.E. (2000). Recreation demand models with taste differences over people. *Land Economics*, *74*, 230–239.
60. Waldman, K.B., Ortega, D.L., Richardson, R.B., & Snapp, S.S. (2017). Estimating demand for perennial pigeon pea in Malawi using choice experiments. *Ecological Economics*, *131*, 222-230. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.09.006
61. Willer, H., and Lernoud, J. (2017). *The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends 2017* (pp. 1-336). Research Institute of Organic Agriculture FiBL and IFOAM-Organics International. available online at: https://shop.fibl.org/chde/3503-organic-world-2017.html
62. Xu, P., Zeng, Y., Fong, Q., Lone, T., & Liu, Y. (2012). Chinese consumers' willingness to pay for green-and eco-labeled seafood. *Food Control*, *28*(1), 74-82 https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.04.008

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 353-367

Evaluation of the Effect of Foliar Application of Iron Fertilizer on the Phytochemical and Functional Characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) in Intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)

Vali Mohammad Abdolahi [1], Mehdi Dahmardeh [2*] and Issa Khammari [2]

1 And 2- M.Sc. Graduated Student and Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Zabol University, Zabol, Iran. respectively
(*- Corresponding author's Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 04-03-2023
Revised: 18-04-2023
Accepted: 26-04-2023
Available Online: 26-04-2023

How to cite this article:
Abdolahi, V.M., Dahmardeh, M., & Khammari, I. (2024). Evaluation of the effect of foliar application of iron fertilizer on the phytochemical and functional characteristics of Borage (*Borago officinalis* L.) in intercropping with Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Agroecology*, *16*(2), 353-367. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149

Introduction

Sustainable agriculture refersp to the correct management of agricultural resources that, while meeting changing human needs, and preserve the quality of the environment and the capacity of water and soil resources. Among the components of sustainable agriculture, we can mention the agroforestry system, integrated pest management, crop rotation, and intercropping. The purpose of intercropping is to find plants that have the least competition with each other and use the available resources more effectively. The purpose of this research is to the effect of intercropping of Roselle on the quantitative and qualitative traits of borage under foliar application of iron fertilizer and to determine the best ratio of intercropping to achieve the highest yield and the highest level of land equivalent ratio.

Material and Methods

This research was carried out in the educational research farm of the Faculty of Agriculture of Zabol University in the agricultural year of 2014-2015. The experiment was carried out as a factorial in the form of a randomized complete block design with three replications. The treatments examined in this research include foliar spraying of sulfate fertilizer as the first factor in three levels including |(no foliar application or control, 3gr.l^{-1} and 6gr.l^{-1}) and eight levels of intercropping including (pure Roselle, pure Borage, 75% Roselle + 25% Borage, 75% Borage + 25% Roselle, 50% Roselle + 50% Borage, 50% Roselle + 100% Borage, 100% Roselle + 50% Borage, 100% Roselle + 100% Borage were as the second factor. Both plants were planted at the same time at the end of March in 2×2 plots, where the distance between the planting lines was 50 cm, the distance between the rows was the same, but the density was different in each row. Irrigation was done according to the needs of the plants, weeding and thinning during the growth period and weeding was done by hand during three stages. Wagner's method was used to measure the amount of anthocyanins. The criterion for evaluating intercropping

https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149

was using the land equivalent ratio. At the end, data analysis will be done using SAS version 9.1 software, and a comparison of means will be done using Duncan's test at the 5 % level.

Results and Discussion

Results showed that the interaction effects of foliar application, iron, and intercropping were significant on the anthocyanin and mucilage content of borage. Additionally, the simple effects of foliar application of iron were significant on the number of flowers per stem, stem height, number of sub-branches, biological yield, and harvest index. The effects of intercropping were significant on the number of flowers per stem, anthocyanin content, mucilage content, stem height, number of sub-branches, economic yield, and harvest index. The comparison of means effects of different intercropping systems showed that the highest biological yield (1412.8 $kg.ha^{-1}$) was obtained from the intercropping system of 75% Roselle + 25% borage. In addition, the comparison of means effects of different intercropping systems showed that the highest amount of economic yield (49.68 $kg.ha^{-1}$) was obtained from the treatment of pure borage cultivation. Comparison of means showed that the highest percentage of mucilage with an average of 0.0713% from the foliar treatment of $6gr.l^{-1}$ of iron sulfate in the conditions of pure borage cultivation, and the lowest percentage of mucilage was obtained with an average of 0.0280 from the control treatment (no application of iron sulfate fertilizer + 100% Roselle + 50% borage). The highest land equivalent ratio (2) was obtained from intercropping of 100% Roselle + 50% borage harvest.

Conclusion

According to the results obtained in the present study, the effects of foliar application of iron and intercropping systems had significant effects on yield and yield components of borage. By increasing the foliar application of iron improved growth traits and yield. The highest proportion of LER obtained was from 100% Roselle+ 50% borage, which indicated superior cropping compared to pure crop. This superiority is probably due to the better use of mixed components of growth resources such as light, water, and nutrients compared to pure crop.

Keywords: Anthocyanin, Intercropping ratios, Land Equivalent Ratio, Mucilage

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۶۷-۳۵۳

ارزیابی اثر محلول‌پاشی کود آهن بر خصوصیات فیتوشیمیایی و عملکردی گاوزبان اروپایی (*Borago officinalis* L.) در کشت مخلوط با چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.)

ولی‌محمد عبداللهی[۱]، مهدی دهمرده[۲*] و عیسی خمری[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۰۶

چکیده

به‌منظور ارزیابی تأثیر نسبت‌های جایگزینی و افزایشی کشت مخلوط چای ترش بر ویژگی‌های کمّی و کیفی گاوزبان اروپایی تحت محلول‌پاشی کود آهن آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه زابل در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا گردید. تیمارهای آزمایش شامل محلول‌پاشی سولفات آهن به‌عنوان عامل اول در سه سطح شاهد، سه و شش گرم در لیتر و نسبت‌های کشت مخلوط شامل خالص چای ترش، خالص گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی + ۲۵ درصد چای ترش، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۵۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌عنوان عامل دوم بود. نتایج حاصل از برهم‌کنش متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن نشان داد که بیشترین میزان آنتوسیانین از تیمارشش گرم در لیتر سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد. بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی گاوزبان اروپایی در بین نسبت‌های کشت مخلوط از تیمار ۲۵ درصد چای ترش به‌علاوه ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (۴۹/۱ کیلوگرم در هکتار) که از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی نشان نداد. بالاترین مقدار نسبت برابری زمین (۲)، از کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد که نشان‌دهنده مزیت کشت مخلوط نسبت به تک کشتی است.

واژه‌های کلیدی: آنتوسیانین، موسیلاژ، نسبت برابری زمین، نسبت‌های کشت مخلوط

مقدمه

کشت مخلوط از روش‌های زراعی و با قدمتی دیرینه است که کشاورزان در جهت بهبود شرایط زراعی و افزایش سازگاری با طبیعت در پیش گرفته‌اند (Abbasi et al., 2006). در زراعت‌های چند کشتی آنچه بیشتر مد نظر است، مهار تغییرات زمانی و مکانی یا به عبارت دیگر، حداکثر استفاده از فصل رشد، آب، درجه حرارت، نور و سایر منابع می‌باشد (Moradi et al., 2017). کشت مخلوط به‌عنوان نمونه‌ای از نظام‌های پایدار در کشاورزی اهدافی نظیر افزایش تنوع زیستی، کاهش خسارات ناشی از آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، بهره‌برداری بیشتر از منابع طبیعی، افزایش کمّی و کیفی عملکرد (Shobeiri et al., 2011)، ثبات عملکرد در شرایط نامطلوب محیطی، کنترل فرسایش خاک و ایجاد تنوع و ثبات در بوم نظام‌های زراعی را دنبال می‌کند (Kremer & Kussman, 2011). کشت مخلوط می‌تواند به‌جهت تنوع محصولات و افزایش سود حاصله در

۱ و ۲- به‌ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81455.1149

واحد سطح و زمان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (Ibrahim et al., 2014).

استفاده از گونه‌های گیاهی با فنولوژی و خصوصیات مورفولوژیکی متفاوت که کمترین رقابت را در یک آشیانه اکولوژیکی ثابت، چه از نظر عوامل محیطی و چه از نظر زمان با هم ایجاد کنند، عامل مهمی در موفقیت کشت مخلوط محسوب می‌شود که در این صورت، کاهش رقابت بین گونه‌ای نسبت به رقابت درون گونه‌ای موجب می‌شود تا دو گیاه درآشیان اکولوژیکی یکسان، رقابتی با یکدیگر نداشته باشند (Mushagalusa et al., 2008). در کشت مخلوط اختلاف ارتفاع دو گیاه، جدا بودن آشیان‌های اکولوژیک در استفاده از منابع و کاهش رقابت بین دو گیاه از جمله عواملی هستند که سبب سودمندی کشت مخلوط دو گیاه و تولید عملکرد بیولوژیک بالاتر نسبت به تک‌کشتی آن‌ها می‌شود (Bigonah et al., 2014).

بخش وسیعی از خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک ایران به دلیل آهکی و قلیایی بودن، دچار کمبود عناصر ریز مغذی، به‌ویژه آهن هستند. محلول‌پاشی یا تغذیه برگی یکی از راه‌های مؤثر در تأمین عناصر کم مصرف مورد نیاز گیاهان است که علاوه‌بر کاهش تثبیت کودهای شیمیایی در خاک باعث کاهش آلودگی آب و خاک می‌شود (Malakuti & Tehrani, 1999). در مطالعه اصل محمدی و همکاران (AsleMohammadi et al., 2020) محلول‌پاشی روی اثر معنی‌داری بر افزایش محتوی تیمول در آویشن (*Thymus vulgaris*) داشت. در تحقیق دیگری بر روی گیاه شوید (*Anethum graveolens* L.)، محلول‌پاشی دو گرم در لیتر سولفات آهن در مقایسه با مقادیر ۱ و ۱/۵ گرم در لیتر سولفات آهن، عملکرد اسانس را کاهش داد (Miransari et al., 2015).

رایج‌ترین روش استفاده شده برای ارزیابی سودمندی عملکرد در کشت مخلوط نسبت برابری زمین است. به‌وسیله این شاخص مشخص می‌شود که چه مقداری زمین به‌صورت تک کشتی مورد نیاز است تا همان مقدار محصول به‌صورت مخلوط به‌دست آید (Tsubo et al., 2011).

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L.) متعلق به خانواده پنیرکیان (Malvaceae) است که از گذشته‌های دور به‌صورت خوراکی و دارویی مورد استفاده قرار گرفته است (Ahmad et al., 2011). بخش قابل استفاده این گیاه کاسبرگ‌ها هستند که دارای اسیدهای آلی چون اگزالیک، مالئیک، سیتریک و تارتاریک و همچنین دارای ویتامین ث، پروتئین، مواد معدنی و آنتوسیانین می‌باشد. از کاسبرگ‌ها برای درمان فشار خون، اسهال، سوء هاضمه و بیماری‌های کبدی و قلبی استفاده می‌گردد (Asadi & Khorramdel, 2014). رویکرد روز افزون استفاده از گیاهان دارویی و فراورده‌های حاصل از آن، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصاد جهانی پررنگ‌تر کرده، به‌طوری‌که مصرف رو به رشد آن‌ها تنها به کشورهای در حال توسعه محدود نبوده، بلکه در کشورهای پیشرفته نیز توسعه فراوانی یافته‌اند (Rezvani Moghaddam & Moradi, 2012). از طرف دیگر، کشت و کار گیاهان دارویی و معطر از نظر ایجاد تنوع و پایداری می‌تواند نقش مهمی در سیستم‌های کشاورزی ایفا کند. صرف نظر از ارزش اقتصادی گیاهان دارویی، این گیاهان قابل تطابق با روش‌های کشت ارگانیک و نظام‌های کم‌نهاده هستند (Sujatha et al., 2011).

آهن از جمله عناصر ضروری برای رشد و تولید مثل گیاهان بوده و بنابراین، برای بقای گیاهان لازم است. این عنصر در فرایند فتوسنتز، تنفس، جذب و ساخت نیتروژن و کلروفیل در گیاهان نقش دارد. کاهش در میزان کلروفیل برگ‌های جوان به‌دلیل نقش آهن در ساخت کلروفیل، آشکارترین نشانه کمبود آهن است که به‌صورت زردی بین رگبرگی در برگ‌های جوان نمایان می‌شود (Marschner, 1995). اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه تحت کنترل ژن‌ها هستند، مقدار تولید آن‌ها به‌طور شایان توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار می‌گیرد که از جمله مهم‌ترین این عوامل خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و عناصر غذایی کم‌مصرف و پرمصرف هستند (Sharifi Ashourabadi et al., 2006). کاهش ترکیبات مورد نیاز برای سنتز اسانس، درصد اسانس را کاهش می‌دهد. با توجه به نقش کلیدی آهن در فرایند فتوسنتز، احتمالاً کاربرد آن با بهبود فتوسنتز سبب افزایش میزان اسانس گیاه می‌شود. تحقیق دیگری نشان داده است که بیوسنتز اسانس گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) به شدت تحت تأثیر آهن قرار گرفته است (Zehtab-Salmasi et al., 2008). در مطالعات مختلف، نقش آهن به‌عنوان یک کاتالیزور در فرایند تنفس اثبات شده است، ازاین‌رو فراهمی آهن می‌تواند در تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر باشد (Nasiri et al., 2010).

محتوای کلروفیل یکی از مهم‌ترین عواملی است که ظرفیت فتوسنتزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. احتمالاً علت افزایش مقدار کلروفیل به‌دلیل تأثیر آهن بر ساخت پیش‌سازهای سنتز کلروفیل

است، زیرا آهن جز متابولیک آنزیم کاپروپورفینوژن اکسیداز است و این آنزیم در بیوسنتز آلفا- آمینو لینوولنیک (ALA) که پیش‌ساز کلروفیل است تأثیر دارد (Marschner, 1995). محلول‌پاشی آهن با بهبود شرایط تغذیه‌ای، محتوای کلروفیل برگ را افزایش می‌دهد، امّا با افزایش مصرف آهن میزان کلروفیل کاهش می‌یابد. در شرایط سمیت آهن (مقادیر بالا) عدم خنثی شدن رادیکال‌های اکسیژن و باقی ماندن پراکسید هیدروژن در گیاه منجر به واکنش فنتون و هابر وایس می‌شود که در ازای آن رادیکال خطرناک هیدروکسیل تولید می‌شود که می‌تواند به‌صورت پی در پی انواع ماکرو مولکول‌های زیستی از جمله لیپیدها و پروتئین را ناپایدار کند. نتیجه تنش اکسیداتیو ناشی از سمیت آهن در گیاهان کاهش میزان پروتئین‌ها، قندهای محلول، کلروفیل و صدمات برگشت‌ناپذیر به غشای زیستی و اسیدهای نوکلئیک است که توسط بسیاری از محققین گزارش شده است (Kuo & Kao, 2004; Kiani et al., 2014).

بدین ترتیب، با توجه به اهمیت به‌کارگیری اصول کشاورزی پایدار در مدیریت بوم نظام‌های زراعی (Gliessman, 1997) وجود پتانسیل تولید گونه‌های ارزشمند دارویی در کشور (Omidbaigi, 2005) و در نظر گرفتن اهمیت اقتصادی گیاهان دارویی (Rangahau, 2003; Ghorbani & Koocheki, 2006)، در این پژوهش دو گیاه چای ترش و گاوزبان اروپایی به لحاظ تفاوت‌های رشدی و مورفولوژیکی و نیازهای اکولوژیکی متفاوت به‌منظور تأثیر کشت مخلوط بر ویژگی‌های کمّی و کیفی تحت محلول‌پاشی کود آهن و تعیین بهترین نسبت کشت مخلوط این دو گونه با توجه به بالاترین عملکرد و نسبت برابری زمین انتخاب شدند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه آموزشی- پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در زهک چاه نیمه (با عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۵۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۶۱ درجه و ۳۱ دقیقه شرقی با ارتفاع ۴۸۰ متر از سطح دریا) درسال زراعی ۹۵- ۱۳۹۴ اجرا گردید. خاک زمین محل اجرای آزمایش از نوع لوم شنی بود که مشخصات آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of soil

بافت Texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	نیتروژن کل Total N (%)	ماده آلی O.C (%)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	کلسیم Ca ($mg.kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	آهن Fe ($mg.kg^{-1}$)	اسیدیته pH
Sandy loam	70	17	13	0.06	0.72	280	10.8	2.93	4	7.8

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی در این پژوهش شامل محلول‌پاشی کود سولفات آهن به‌عنوان عامل اول در سه سطح شامل عدم محلول‌پاشی یا شاهد، سه گرم در لیتر و شش گرم در لیتر و نسبت‌های کشت مخلوط در هشت سطح شامل کشت خالص چای ترش، کشت خالص گاوزبان اروپایی اروپایی،کشت مخلوط ۷۵درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی، ۷۵ درصد گاوزبان اروپایی + ۲۵ درصد چای ترش، ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۵۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی، ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌عنوان عامل دوم در نظر گرفته شد. بذور مورد استفاده در این آزمایش برای گاوزبان اروپایی از شرکت پاکان بذر اصفهان و برای چای ترش از پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل واقع در چاه نیمه تهیه شد.

عملیات کاشت هر دو گیاه هم‌زمان در اواخر اسفند ماه در کرت‌هایی با ابعاد ۲ × ۲ صورت گرفت که فاصله ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر از یکدیگر بود (تمام تیمارها به‌صورت یک ردیف چای ترش و یک ردیف گاوزبان اروپایی کشت شد) فاصله بین ردیف‌ها یکسان، ولی تراکم در هر ردیف متفاوت بود. نسبت‌های کشت با تغییر تراکم بوته (تغییر فاصله دو بوته روی ردیف) و فاصله ثابت بین دو ردیف (۵۰ سانتی‌متری) اجرا شد. با توجه به اینکه دوره رشد گاوزبان اروپایی کوتاه‌تر از چای ترش می‌باشد تا زمان گل‌دهی و برداشت گاوزبان که

مصادف با دمای پایین‌تر در منطقه است، آبیاری دو گیاه براساس نیاز آبی گاوزبان انجام شد و پس از آن، دور آبیاری با توجه به نیاز آبی چای ترش تنظیم گردید. عملیات واکاری و تنک در یک مرحله و وجین علف‌های هرز در طی سه مرحله در طول دوره رشد به‌صورت دستی انجام گرفت.

عملیات برداشت گاوزبان اروپایی در خرداد و چای ترش در شهریور ماه به‌صورت متناوب انجام شد. پس از حذف اثر حاشیه ای، نمونه‌ها از مساحت یک متر مربع برداشت گردید. سپس، وزن نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دقیق اندازه‌گیری و به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شد. با استفاده از وزن تر و خشک نمونه‌ها عملکرد اقتصادی و بیولوژیک برحسب کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. همچنین، صفات گاوزبان اروپایی شامل شاخص برداشت، ارتفاع ساقه گل‌دهنده، تعداد گل در ساقه گل‌دهنده، تعداد ساقه فرعی گل‌دهنده اندازه‌گیری شد.

جهت اندازه‌گیری موسیلاژ، یک گرم گل خشک گاوزبان را در ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک ۰/۱ نرمال جوشانده محلول موسیلاژ اولیه به‌دست می‌آید. سپس، بذرهای باقی مانده در ظرف اول دو بار و هر بار با پنج میلی‌لیتر آب جوش شسته و به محلول موسیلاژ اولیه اضافه شد. شصت میلی‌لیتر الکل اتیلیک ۹۶ درصد به محلول موسیلاژ به دست آمده اضافه و به‌مدت پنج ساعت در یخچال نگهداری شد. رسوب حاصل پس از صاف کردن در آون ۵۰ درجه به‌مدت ۱۲ ساعت قرارگرفته و توزین ماده جدا شده (موسیلاژ) با دقت ۰/۰۰۱ گرم انجام شد (Kalyanasundaram et al., 1982). برای اندازه‌گیری مقدار آنتوسیانین از روش واگنر (Wagner, 1979) استفاده شد. دیسک‌های برگی تهیه شده از گیاه را در هاون چینی با مقداری متانول اسیدی (متانول خالص و اسید کلریدریک خالص به‌نسبت حجمی ۱:۹۹) سائیده و عصاره در لوله‌های آزمایش سرپیچ‌دار ریخته شد و به‌مدت ۲۴ ساعت در تاریکی و دمای ۲۵ درجه سلسیوس قرار گرفت. پس از این به‌مدت ۱۰ دقیقه در دور ۴۰۰۰، عصاره را سانتریفیوژ نموده و جذب محلول رویی با استفاده از اسپکتوفتومتر در طول موج ۵۵۰ نانومتر خوانده شد. مقدار آنتوسیانین با استفاده از معادله $A=\varepsilon bc$ به دست آمد که در آن، مقدار ε: یا ضریب خاموشی معادل ۳۳۰۰mM/cm، A: مقدار جذب، b: عرض سلول اندازه‌گیری برابر با یک سانتی‌متر و c: مقدار آنتوسیانین برحسب مول بر گرم وزن تر کاسبرگ چای ترش می‌باشد.

اندازه گیری کاروتنوئید به‌روش اسپکتوفتومتری انجام شد (Taylor, 1992). جهت ارزیابی سیستم کشت مخلوط و مقایسه آن با کشت خالص از شاخص نسبت برابری زمین استفاده شد. برای تعیین این شاخص، عملکرد نسبی هر جزء محاسبه و مجموع آن‌ها میزان LER را نشان داد (Vandermeer, 1989).

معادله (۱)
$$LER = Yab / Yaa + Yba / Ybb$$

که در آن، Yab: عملکرد گونه a در کشت مخلوط، Yba: عملکرد گونه b در کشت مخلوط، Yaa: عملکرد گونه a در کشت خالص و Ybb: عملکرد گونه b در کشت خالص است.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح پنج درصد استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع ساقه گل‌دهنده گاوزبان اروپایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۱۴/۷۴ سانتی‌متر) از تیمار کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر ارتفاع ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین ارتفاع ساقه گل-دهنده با میانگین ۴۱/۸۰ سانتی‌متر از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن و کمترین ارتفاع ساقه گل‌دهنده (۳۸/۳۲ سانتی‌متر) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۳).

محققان در کشت مخلوط ماشک با یولاف گزارش کردند که کاهش یا افزایش ارتفاع بوته گیاهان به‌شدت به رقابت بین دو گیاه بستگی دارد(Tuna & Orak, 2007). اختلاف میان کمترین و بیشترین ارتفاع بوته در کشت مخلوط ناشی از رقابت برون گونه‌ای است. نتایج بسیاری از محققان حاکی از آن است که مصرف عنصر ریزمغذی آهن تأثیر معنی‌داری در افزایش ارتفاع بوته، قطر ساقه و عملکرد ماده خشک ذرت دارد (Sajedi & Ardakani, 2008). آهن یکی از عناصر ضروری کم‌مصرف برای گیاهان است. این عنصر بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسایش و احیاء بوده

و برای ساخت سبزینه (کلروفیل) مورد نیاز است (Kafi et al., 2000)، ازاین‌رو می‌توان گفت آهن به‌دلیل افزایش ساخت سبزینه و بهبود نورساخت، مواد نورساختی بیشتری را به نقاط مختلف گیاه از جمله ساقه‌ها فرستاده و در نتیجه، موجب افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Rostami et al., 2017).

تعداد گل در ساقه گل‌دهنده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر تعداد گل در ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین تیمارها نشان داد که بیشترین تعداد گل در ساقه گل‌دهنده (۸۷/۲۳ عدد) از تیمار ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر تعداد گل در ساقه گل‌دهنده در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد گل در ساقه گل‌دهنده (۷۹/۱۹ عدد) از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). دلیل افزایش تعداد گل در ساقه گل‌دهنده گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط، احتمالاً رقابت کمتر دو گونه زراعی برای دسترسی به منابع و استفاده بهینه از منابع محیطی می‌باشد. نتایج پژوهشی نشان داد که تعداد گل‌آذین در بوته شوید تحت تأثیرمحلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات آهن قرار گرفته است و بیشترین تعداد گل‌آذین در محلول‌پاشی سولفات روی به همراه سولفات آهن به‌میزان یک گرم بر لیتر مشاهده شد، امّا استفاده از سطوح بالاتر سولفات آهن با سولفات روی تعداد گل‌آذین بوته را کاهش داد (Miransari et al., 2015). محلول‌پاشی بابونه آلمانی با عناصر ریزمغذی (آهن، روی، منگنز و مس) تعداد گل در بوته را به طور معنی‌داری افزایش داد و نتایج نشان داد که محلول‌پاشی عنصر آهن در مقایسه با سایر عناصر باعث ایجاد بیشترین (۱۸۵/۹۵) تعداد گل در بابونه آلمانی شد (Yousefzadeh, 2019). عنصر آهن برای تشکیل کلروفیل و فتوسنتز در گیاه ضروری است، بنابراین از طریق افزایش تولید آسیمیلات به‌طور غیرمستقیم می‌تواند در افزایش تولید گل نقش داشته باشد.

تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی سولفات آهن بر تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بیشترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی با میانگین ۶/۵۲ عدد از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن و کمترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی (۴/۴۲) از تیمار محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس داده‌های حاصل از آزمایش نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر سیستم-های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین وکمترین تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی (۶/۶۵ عدد) و (۴/۲۵ عدد) به‌ترتیب مربوط به سیستم کشت مخلوط ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی و سیستم کشت مخلوط ۵۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی بود (جدول ۳).

عملکرد بیولوژیک و اقتصادی (گل) گاوزبان اروپایی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد بیولوژیک تأثیر معنی‌داری نشان نداد، در حالی‌که محلول‌پاشی سولفات آهن در سطح پنج درصد تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نشان داد (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر محلول‌پاشی سولفات آهن نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک (۱۴۱۶/۸کیلوگرم در هکتار) در سطح سه گرم در لیتر محلول‌پاشی به‌دست آمد (جدول ۳).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر عملکرد اقتصادی در سطح احتمال یک درصد معنی-دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد اقتصادی (۴۹/۶۸ کیلوگرم در هکتار) از تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۳). مصرف آهن به‌صورت محلول‌پاشی به‌صورت معنی‌داری عملکرد دانه گلرنگ را از طریق افزایش تعداد دانه در گیاه افزایش داد (Whitty & Chambliss, 2010). در تحقیقی، بیشترین عملکرد ماده خشک و سرعت رشد محصول در ذرت از محلول‌پاشی آهن به‌دست آمد (Solemani, 2012). همچنین، در کشت مخلوط گندم و باقلا گزارش شد که تولید ماده خشک در سیستم کشت مخلوط بیشتر از کشت خالص دو گیاه بود (Ghanbari & Lee, 2002).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات کمّی وکیفی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط با چای ترش تحت محلول‌پاشی سولفات آهن

Table 2- Variance analysis of quantitative and qualitative traits of European cowpea in mixed culture with sour tea under foliar application of iron sulfate

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد گل در ساقه گل‌دهنده Number of flowers per stem	آنتوسیانین Anthocyanin	موسیلاژ Mucilage	کاروتنوئید Carotenoid	ارتفاع ساقه گل‌دهنده Stem height	تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته Number of sub-branches	عملکرد اقتصادی Economical yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
تکرار replication	2	1187.8^{**}	0.000064^{*}	0.00001^{ns}	0.034^{ns}	75.05^{**}	1.28^{ns}	204.2^{**}	106580.01^{ns}	1.11^{ns}
سولفات آهن Iron sulfate(Fe)	2	1374.8^{**}	0.000060^{*}	0.00078^{**}	0.065^{ns}	67.52^{**}	23.04^{**}	53.01^{ns}	1352461.9^{**}	19.01^{**}
سیستم کشت مخلوط Intercropping(I)	6	971.6^{**}	0.000066^{*}	0.00066^{**}	0.092^{ns}	68.54^{**}	6.79^{*}	106.2^{**}	398705.4^{ns}	5.07^{*}
Fe × I	12	115.8^{ns}	0.000067^{**}	0.00036^{**}	0.013^{ns}	6.46^{ns}	0.40^{ns}	22.03^{ns}	16216.2^{ns}	0.18^{ns}
خطا Error	40	191.3	0.000015	0.000046	0.052	12.84	2.66	29.12	81063.05	1.60
ضریب تغییرات C.V (%)	-	18.88	17.68	14.61	16.58	9.002	29.82	11.79	24.54	29.11

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین صفات کمّی گاوزبان اروپایی در کشت مخلوط با چای ترش تحت محلول‌پاشی آهن

Table 3. Comparison of means quantitative traits of borage in intercropping with Roselle under iron foliar application

تیمارهای آزمایش Experimental treatment	عملکرد بیولوژیک Biological yeild ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد اقتصادی Economical yeild ($kg.ha^{-1}$)	ارتفاع ساقه گل‌دهنده Stem height (cm)	تعداد ساقه گل‌دهنده فرعی در بوته Number of sub-branches	تعداد گل در ساقه گل‌دهنده Number of flowers per stem	شاخص برداشت Harvest index
سولفات آهن **Iron sulfate ($g.l^{-1}$)**						
شاهد Control	1154.2b*	44.28a	38.32b	5.45b	76.56a	3.83b
سه گرم در لیتر 3 $g.l^{-1}$	1416.8a	47.44a	41.80a	6.52a	79.19a	3.34b
۶ گرم در لیتر 6 $g.l^{-1}$	909.3c	45.56a	39.30b	4.42c	64.04b	5.01b
سیستم کشت مخلوط **Intercropping**						
کشت خالص گاوزبان اروپایی Pure Borage	1023.2bc	49.68a	33.82b	4.66c	59.08b	4.85a
۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان 75% Roselle + 25% Borage	1412.8a	44.73abc	39.35a	6.65a	74.12a	3.16d
۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان 25% Roselle + 75% Borage	1019.6bc	49.10ab	40.80a	5.41abc	59.47b	4.49ab
۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 50%Roselle + 50% Borage	861.9c	40.72c	40.34a	4.25c	77.73a	4.72ab
۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 100% Borage	1279.4ab	43.11c	41.61a	6.03ab	78.83a	3.36cd
چای ترش ۱۰۰٪ + ۵۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 50% Borage	1408.5a	48.70bc	41.74a	6.19ab	87.23a	3.45bcd
چای ترش ۱۰۰٪ + ۱۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 100% Borage	1043.4bc	44.28bc	40.97a	5.07bc	76.37a	4.24abc

*میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

در کشت مخلوط سه گونه بابونه آلمانی، بابونه گاوی و بابونه شیرازی با عمر سه ساله، نتایج نشان داد که امکان کشت بابونه در بین ردیف‌های زعفران بدون رقابت معنی‌دار بین این دو گیاه وجود دارد، به‌طوری‌که عملکرد زعفران در تیمارهای زعفران خالص و تیمارهای مخلوط با بابونه هیچ اختلاف معنی‌داری نشان نداد (Naderi et al., 2009).

با توجه به اینکه تیمار سیستم کاشت مخلوط مزایایی از قبیل توزیع بهتر نور در تاج‌پوشش، توزیع فضایی مناسب بوته‌ها و کاهش رقابت بین بوته‌ها برای استفاده از عوامل محیطی را به نحو مطلوبی فراهم می‌سازد، در نتیجه به‌طور قابل توجهی عملکرد اقتصادی را افزایش می‌دهد. در کشت مخلوط ذرت- نخود و ذرت- سویا- لوپن نتایج مشابهی گزارش گردید (Lingaraju et al., 2008). در مطالعه‌ای حداکثر زیست‌توده چای ترش (۳۶۰۵ کیلوگرم در هکتار) در نسبت ۱:۲کشت مخلوط گوآر- چای ترش و هم‌زمان با کاربرد ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار به‌دست آمد، در حالی‌که بیشترین زیست‌توده در گوآر به‌ترتیب مربوط به نسبت ۱:۱ و ۳:۱ کشت مخلوط گوآر- چای ترش با کاربرد ۷۰ و ۴۰ کیلوگرم اوره در هکتار (۱۶۱۰۴ و ۱۴۷۸۱ کیلوگرم در هکتار) گزارش شد (Rahmati Ahmadabad et al., 2022).

شاخص برداشت

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر سیستم‌های مختلف کشت مخلوط بر شاخص برداشت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین شاخص برداشت (۴/۵۸ درصد) از تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۴). احتمالاً دلیل افزایش شاخص برداشت در تیمار کشت خالص گاوزبان اروپایی نسبت به سیستم کشت مخلوط، عدم وجود رقابت بین گونه‌ای بر سر جذب تشعشع و سایر منابع می‌باشد که در نتیجه، موجب افزایش عملکرد در تک کشتی نسبت به سایر تیمارها شده است. در تحقیقی که بر روی کشت مخلوط ذرت و سویا انجام شد، نتایج نشان داد که تیمارهای مختلف کاشت بر روی شاخص برداشت تأثیری نداشته است که این حالت می‌تواند ناشی از تغییرات هماهنگ عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک در واحد سطح باشد (Rahimi et al., 2002).

کاروتنوئید

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی کود سولفات آهن بر غلظت کاروتنوئید معنی‌دار نبود (جدول ۲)، امّا بیشترین غلظت کاروتنوئید با میانگین ۱/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر از شاهد و کمترین غلظت کاروتنوئید (۱/۳۳میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمار محلول‌پاشی سه گرم در لیتر سولفات آهن به‌دست آمد (جدول ۳). در پژوهشی بیان گردید که کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی و توسعه علائمی مثل کلروز و نکروز تحت شرایط کمبود عناصر کم مصرف است (Marschner, 1995). کاروتنوئیدها رنگدانه‌های کمکی هستند که در جذب و انتقال نور تأثیر دارند و حفاظت کننده‌های کلروفیلی در طی فرایند اکسیداسیون نوری محسوب می‌شوند (Akbarian et al., 2012) و عنصر آهن برای سنتز کلروپلاست و کاروتنوئیدها لازم است (Shamloo & Roozbahani, 2016).

آنتوسیانین

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر میزان آنتوسیانین گاوزبان اروپایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که بیشترین وکمترین میزان آنتوسیانین به‌ترتیب با میانگین (۰/۰۲۸۳و ۰/۰۱۲۳ میکرومول بر گرم وزن تر) از تیمارهای محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۱۰۰ درصد گاوزبان اروپایی و سه گرم در لیتر سولفات آهن و ۷۵ درصد چای ترش + ۲۵ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج نشان داد که محلول‌پاشی سولفات آهن در گیاه زرشک (*Berberis vulgaris* L.) به‌طور معنی‌داری میزان آنتوسیانین را افزایش داد. همچنین به‌واسطه افزایش مقدار رنگدانه‌های غیرآنزیمی (آنتوسیانین) توسط کاربرد آهن از تخریب کلروفیل‌ها جلوگیری شده و به‌طور غیرمستقیم مقدار آنتوسیانین افزایش یافت، چرا که آنتوسیانین-ها از ساختارهای حساسی مانند غشاء حفاظت کرده و از تخریب کلروفیل جلوگیری می‌کنند (Nakhai, 2014).

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر صفات گاوزبان اروپایی

Table 4- Comparison of means effects of intercropping and spraying of iron sulfate solution on the characteristics of borage

سولفات آهن Iron sulfate	سیستم کشت مخلوط Intercropping	آنتوسیانین Anthocyanin (μm.g^{-1})	موسیلاژ Mucilage (%)
شاهد Control	کشت خالص گاوزبان اروپایی Pure Borage	0.0200^{c-g*}	0.0543^{c-e}
	چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان ۷۵٪ 75% Roselle + 25% Borage	0.0193^{d-g}	0.0376^{g-i}
	۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان 25% Roselle + 75% Borage	0.0186^{e-h}	0.0450^{e-g}
	۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 50% Borage	0.0243^{a-g}	0.0456^{e-g}
	۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 100% Borage	0.0180^{f-h}	0.0366^{g-i}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 50% Borage	0.0210 $^{b-g}$	0.0280^{i}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 100% Borage	0.0266^{a}	0.0223^{hi}
سه گرم در لیتر 3 g.l^{-1}	کشت خالص گاوزبان اروپایی Pure Borage	0.0125^{h}	0.0390^{f-h}
	۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان 75% Roselle + 25% Borage	0.0123^{h}	0.0610^{a-c}
	۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان 25% Roselle + 75% Borage	0.0173^{gh}	0.0453^{e-g}
	۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 50% Borage	0.0266^{a-c}	0.0496^{d-f}
	۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 100% Borage	0.0260^{a-d}	0.0613^{a-c}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 50% Borage	0.270^{ab}	0.0403^{f-h}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 100% Borage	0.0250^{a-e}	0.0386^{f-h}
شش گرم در لیتر 6 g.l^{-1}	کشت خالص گاوزبان اروپایی Pure Borage	0.0240^{a-g}	0.0713^{a}
	۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان 75% Roselle + 25% Borage	0.0260^{a-d}	0.0600^{b-d}
	۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان 25% Roselle + 75% Borage	0.0256^{a-d}	0.0463^{e-g}
	۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 50% Borage	0.0210bcdefg	0.0303^{hi}
	۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 100% Borage	0.0213^{b-g}	0.0700^{ab}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 50% Borage	0.0223^{a-g}	0.0301^{hi}
	۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 100% Borage	0.0283^{a}	0.0523^{c-e}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند

* Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

موسیلاژ

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات متقابل کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر درصد موسیلاژ گاوزبان اروپایی در سطح آماری یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین درصد موسیلاژ با میانگین ۰/۰۷۱۳ از تیمار محلول‌پاشی شش گرم در لیتر سولفات آهن در شرایط کشت خالص گاوزبان اروپایی و کمترین درصد موسیلاژ با میانگین ۰/۰۲۸۰ از شاهد (عدم کاربرد کود سولفات آهن و ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی) به‌دست آمد (جدول ۴).

نسبت برابری زمین

نتایج نشان داد که سیستم‌های مختلف کاشت دارای اثر معنی‌داری بر نسبت برابری زمین در سطح احتمال یک درصد بود (جدول ۵). به‌طوری‌که بیشترین نسبت برابری زمین (۲)، از کشت مخلوط ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی به‌دست آمد (جدول ۶). نسبت برابری زمین در سیستم‌های کشت مخلوط بالاتر از واحد بود که نشان‌دهنده مزیت کشت‌های مخلوط در مقایسه با کشت‌های خالص است. محققان بیان کردند که بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۳۶) از تیمار کشت مخلوط ۱۰۰ درصد ذرت + ۱۰۰ درصد بادام زمینی به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط ۵۰ درصد ذرت + ۵۰ درصد بادام زمینی داشت (Dahmardeh & Keshtehgar, 2014). در بررسی اثر کشت مخلوط زعفران (*Crocus sativus* L.) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) بر رشد، کیفیت و نسبت برابری زمین در شرایط نیمه خشک، بهترین تیمار کشت مخلوط سیستم کاشت ۵۰ درصد زعفران و ۵۰ درصد زیره سبز بود و این تیمار بالاترین مقدار نسبت برابری زمین را نشان داد (Koocheki et al., 2016). نتایج حاصل از تحقیق دیگری نشان داد که تیمار کشت بین ردیفی ۲۵ درصد گشنیز و ۷۵ درصد شنبلیله، بیشترین ارتفاع و عملکرد زیست‌توده شنبلیله، بیشترین نسبت برابری زمین، کمترین درصد اسانس، عملکرد اسانس و عملکرد زیست‌توده گیاه گشنیز را به خود اختصاص داد (Bigonah et al., 2014). به نظر می‌رسد که چای ترش و گاوزبان به‌دلیل استفاده از بخش‌های مختلف پروفیل خاک توسط سیستم ریشه‌ای متفاوت، عمق ریشه‌دهی متفاوت، پراکنش ریشه‌های جانبی و تراکم ریشه، کاهش رقابت برای آب و مواد غذایی، توزیع یکنواخت تاج‌پوشش و همچنین، جذب تشعشع فعال فتوسنتزی به‌دلیل اختلاف در آرایش شاخ و برگ و شکل تاج‌پوشش دو گیاه موجب برتری کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است.

جدول ۵- تجزیه واریانس نسبت برابری زمین در کشت مخلوط جای ترش وگاوزبان اروپایی

Table 5- Variance analysis of the ratio of land equality in mixed cultivation of Roselle and European borage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نسبت برابری زمین LER
تکرار Replication	2	0.1149^{ns}
سولفات آهن Iron sulfate	2	0.0009^{ns}
سیستم کشت مخلوط Intercropping	5	0.7445**
Fe × I	10	0.0419^{ns}
خطا Error	34	0.0481
ضریب تغییرات C.V (%)	-	13.44

ns، * و **: به‌ترتیب بیانگر عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح پنج و یک درصد می‌باشد

ns, *, and **: not significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ٦- مقایسه میانگین نسبت برابری زمین

Table 6- Comparison of Land Equivalent Ratio

سیستم کشت مخلوط Intercropping	نسبت برابری زمین LER
۷۵٪ چای ترش + ۲۵٪ گاوزبان 75% Roselle + 25% Borage	1.71[b]
۲۵٪ چای ترش + ۷۵٪ گاوزبان 25% Roselle + 75% Borage	1.30[c]
۵۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 50% Borage	1.43[c]
۵۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 50% Roselle + 100% Borage	1.40[c]
۱۰۰٪ چای ترش + ۵۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 50% Borage	2[a]
۱۰۰٪ چای ترش + ۱۰۰٪ گاوزبان 100% Roselle + 100% Borage	1.90[ab]

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون LSR در سطح احتمال پنج درصد دارای تفاوت معنی‌دار نمی‌باشند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level using LSR

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که عملکرد گاوزبان اروپایی اروپایی تحت تأثیر الگوهای مختلف کشت مخلوط و محلول‌پاشی آهن قرار گرفته است. به‌طورکلی، مشخص گردید که افزایش غلظت محلول‌پاشی سولفات آهن در سیستم کشت مخلوط افزایشی موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گیاه گردید که نشان‌دهنده تأثیر مثبت عنصر آهن بر تولید متابولیت‌های ثانویه بود. اثر متقابل سیستم کشت مخلوط و محلول‌پاشی سولفات آهن بر مقدار موسیلاژ و آنتوسیانین گاوزبان اروپایی معنی‌دار بود و تیمار شش گرم در لیتر محلول‌پاشی سولفات آهن در سیستم‌های مختلف کاشت منجر به افزایش این دو صفت گردید. بالاترین نسبت برابری زمین (۲) نیز در سیستم کشت مخلوط افزایشی ۱۰۰ درصد چای ترش + ۵۰ درصد گاوزبان اروپایی مشاهده شد که نشان‌دهنده برتری کشت مخلوط در مصرف منابع و افزایش بهره‌وری استفاده از زمین نسبت به کشت خالص گاوزبان اروپایی و در راستای اهداف کشاورزی پایدار می‌باشد.

References

1. Abbasi, R., Hejazi, A., Akbari, G., Kafi, M., & Zand, A. (2006). Assessing different density of cumin and pea with respect of weed control. *9th Conference of Agronomy and Plant Breeding. Tehran University, Iran*. 24-26. p.141. (In Persian with English abstract)
2. Ahmad, Y.M., Shahlaby, E.A., & Shanan, N.T. (2011). The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of roselle plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Biotechnology, 10*(11), 1988-1996.
3. Akbarian, M.M., Heidari Sharifabad, H., Noormohammadi, G., & Darvish Kojouri, F. (2012). The effect of potassium, zinc and iron foliar application on the production of saffron (*Crocus sativa*). *Annals of Biological Research, 3*(12), 5651-58.
4. Asadi, G.A., & Khorramdel, S. (2014). Effects of different ratio of barley and hairy vetch intercropping on yield, plant nitrogen content, weed population and diversity. *Journal of Crop Production, 7*(1), 131-156. (In Persian with English abstract)
5. AsleMohammadi, Z., Mohammadkhani, N., & Servati, M. (2020). Effect of iron and zinc foliar application on some biochemical traits of thymus (*Thymus vulgaris* L.) plant under nitrogen deficiency. *Journal of Plant Research, 4*(2), 10-22. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 20.1001.1.23832592.1400.34.3.7.8
6. Bigonah, R., Rezvani Moghaddam, P., & Jahan, M. (2014). Effect of intercropping on biological yield percentage nitrogen, and morphological traits coriander (*Coriandrum sativum* L.) with fenugreek (*Trigonella foenum-*

graecum L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, *12*(3), 369-377. (In Persian with English abstract)

7. Dahmardeh, M., & Keshtehgar, A. (2014). Evaluating yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) in intercropping with peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Agroecology*, *6*(2), 311-323. (In Persian with English abstract). https://doi.org/ 10.22067/JAG.V6I2.39371
8. Ghanbari, A., & Lee, H.C. (2002). Intercropped field beans (*Vicia faba*) and wheat (*Triticum aestivum*) for whole crop forage: Effect of nitrogen on forage yield and quality. *Journal of Agriculture Science*, *13*(8), 311-314. https://doi.org/10.1017/S0021859602002149
9. Ghorbani, R., & Koocheki, A. (2006). Organic saffron in Iran: prospects challenges. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Saffron Biology and Technology. Mashhad, Iran*, 28-30 October 2006, p. 369-374.
10. Gliessman, S.R. (1997). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Arbor Press. 357 pp.
11. Ibrahim, M., Ayub, M., Maqbool, M.M., Nadeem, S.M., Tanver-Ul-Haq, T., Hussain, S., Ali, A., & Lauriault, L.M. (2014). Forage yield components of irrigated maize-legume mixtures at varied seed ratios. *Field Crops Research*, *169*, 140-144. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.08.013
12. Kafi, M., Lahoti, M., Zand, A., Sharifi, H.R., & Goldani, M. (2000). *Plant Physiology*. Jahad Daneshgahi, Mashhad, Iran. 379 pp. (In Persian)
13. Kalyanasundaram, N.K., Patel, P.B., & Dalal, K.C. (1982). Nitrogen need of *Plantago ovata* Forsk. In relation to the available nitrogen in soil. *Indian Journal Agriculture Science*, *52*(4), 240-242.
14. Kiani, M.H., Mokhtari, A., Zeinali, H., Abbasnejad, A., & Afghani Khoraskani, L. (2014). Rosmarinic acid and anthocyanin content improvement by foliar application of Fe and Zn fertilizer in lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, *2*(5), 1525-1530.
15. Koocheki, A., Seyyedi, S.M., & Gharaei, S. (2016). Evaluation of the effects of saffron–cumin intercropping on growth, quality, and land equivalent ratio under semi-arid conditions. *Scientia Horticulturae*, *21*(3), 190-198. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.02.005
16. Kremer, R.J., & Kussman. R.J. (2011). Soil quality in a pecan–kura clover alley cropping system in the Midwestern USA. *Agroforest System*, *93*, 213 -223.
17. Kuo, M.C., & Kao, C.H. (2004). Antioxidant enzyme activities are upregulated in response to cadmium in sensitive, but not intolerant, rice (*Oryza sativa* L.) seedlings. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, *45*, 291-99.
18. Lingaraju, B.S., Marer, B.S.S., & Chandrashekar, S.S. (2008). Studies on intercropping of maize and pigeon pea under rain fed conditions in northern transitional zone of Karnataka. *Journal Agricultural Science*, *21*(2), 1-3.
19. Malakuti, M.J., & Tehrani, M. (1999). *The Role of Micronutrients on Yield and Quality of Crops*. Tarbiat Modares Press, Iran. 433 pp.
20. Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2 Ed. New York: Academic Press Books, p. 889.
21. Miransari, H., Mehrafrin, A., & Naghdi-Badi, H. (2015). Response of morphological and phytochemical reactions to spray sulfate and zinc fertilizer in (*Anethum graveolens* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *14*(2), 15-29.
22. Moradi, R., Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2017). Evaluation of economical yield and radiation use efficiency of maize and cotton in sole and intercropping systems as affected by different levels of nitrogen. *Journal of Crop Production and Processing*, *7*(2), 47-59. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.7.2.47
23. Mushagalusa, G.N., Ledent, J.F., & Draye, X. (2008). Shoot and root competition in potato/maize intercropping: effects on growth and yield. *Environmental and Experimental Botany*, *64*, 180-188. https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.05.008
24. Naderi, M.R., Madani, H., Nabitaba, A., & Jalali Zand, A. (2009). Investigating agricultural and economic aspects of saffron and chamomile mixed farming in Isfahan region. Research Report of the Plan Approved in Islamic Azad University, Khorasgan branch, Iran.
25. Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrullahzadeh, S.N., Najafi, N., & Ghassemi-Golezani, K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, *4*(17), 1733-37.
26. Omidbaigi, R. (2005). *Production of Medicinal Plants*. Vol. II. Publication of Astane Qods-e- Razavi, Iran. 438 pp. (In Persian)
27. Rahimi, M., Mazaheri, D., & Hedari Sharifabad, K. (2002). Investigating the yield and yield components of corn and soybeans intercropping. *Journal of Research and Construction*, *1*(5), 45-55.

28. Rahmati Ahmadabad, Z., Meftahizadeh, H., Shirmardi, M., Ghorbanpour, M., & Dehestani Ardakani, M. (2022). Intercropping improves yield and phytochemical attributes in guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) and roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) plants under nitrogen application. *South African Journal of Botany*, *147*, 608-617. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.02.017
29. Rangahau, M.K. (2003). Growing saffron -The world's most expensive spice. *Crop Food Research*, *20*, 1-4.
30. Rezvani Moghaddam, P., & Moradi, R. (2012). Effect of planting dates, biological fertilizers and intercropping on yield and essential oil quantity of cumin and fenugreek. *Journal of Iranian Crop Science*, *43*, 230-217. (In Persian with English abstract)
31. Rostami, B., Asilan, K.S., Yousefzadeh, S., & Mansorifar, S. (2017). Effect of foliar application of iron and zinc sulfate on quantitative traits and essential oil yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, *48*(2), 517-525. (In Persian with English abstract)
32. Sajedi, N., & Ardakani, M. (2008). Investigating the effect of different amounts of nitrogen, iron and zinc fertilizers on the physiological parameters of fodder corn in Central province on single cross variety. *Field Crop Research*, *78*(2), 99-110.
33. Shamideh Shabanzadeh, S., & Galavi, M. (2011). Effect of micronutrients foliar application and irrigation regimes on agronomic traits and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Science*, *4*(1), 2-9. https://doi.org/10.22077/escs.2011.94
34. Shamloo, A., & Roozbahani, A. (2016). Effect of amino acids and microelements on the rate of photosynthetic pigments content and yield of red bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Ecophysiol*, *7* (21), 136-50.
35. Sharifi Ashourabadi, E., Ardakani, M.R., Paknejhad, F., Habibi, D., & Adraki, M. (2006). Effect of solid nitrogen application on biological yield, essential oil percentage and essential oil yield of balm (*Melissa officinalis* L.) under greenhouse condition. *Proceeding of 18th World Congress of Soil Science. Philadelphia Pennsylvania USA*, pp. 147.
36. Shobeiri, S.S., Habibi, D., Kashani, A., Pak Nejad, F., Jafari, H., & Lamei, J. (2011). Study of dry forage yield and quality of hairy vetch and triticale in pure stand and mixed cropping. *Crop Science*, *13*, 269-281. https://doi.org/20.1001.1.15625540.1390.13.2.4.0
37. Solemani, R. (2012). Enrichment of the concentration of trace elements of wheat in relation to human nutrition. *Faiz's Bimonthly Scientific-Research Journal*, *16*(7), 751-754.
38. Sujatha, S., Bhat, R., Kannan, C., & Balasimha, D. (2011). Impact of intercropping of medicinal and aromatic plants with organic farming approach on resource use efficiency in arecanut (*Areca catechu* L.) plantation in India. *Industrial Crops and Products*, *33*, 78-83. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.09.001
39. Taylor, S. (1992). A model for predicting tea quality from the carotenoid and chlorophyll composition of fresh green tea leaf. *Journal of Science Agricultural*, *58*, 185-191.
40. Tsubo, M., Walker, S., & Mukhala, E. (2011). Comparisons of radiation use efficiency of mono-/inter-cropping systems with different row orientations. *Field Crops Research*, *71*, 17–29. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00142-3
41. Tuna, C., & Orak, A. (2007). The role of intercropping on yield potential of common vetch/oat cultivated in pure stand and mixtures. *Journal of Agriculture Biology Science*, *2*, 14-19.
42. Vandermeer, J. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge. University Press-Cambridge. England, pp. 237.
43. Wagner, G.J. (1979). Content and vacuole/extra vacuole distribution of neutral sugars, free amino acids and anthocyanins in protoplast. *Journal of Plant Physiology*, *64*, 88-93. https://doi.org/ 10.1104/pp.64.1.88
44. Whitty, E.N., & Chambliss, C.G. (2010). *Fertilization of Field and Forage Crops*, Nevada State University Publication, 21 pp.
45. Yousefzadeh, S. (2019). Investigate of morphological variation and phytochemical traits of *Matricaria recutita* L. affected by foliar application of iron, zinc, manganese and copper. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, *26*(2), 104-116. (In Persian with English abstract)
46. Zehtab-Salmasi, S., Heidari, F., & Alyari, H. (2008). Effect of microelements and plant density on biomass and essential oil production of peppermint (*Mentha peppermint* L.). *Plant Science Research*, *1*, 24-28.

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 369-389

The Effect of Different Combinations of Nitrogen Fertilizer with Sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) Residue Compost and Cultivation Place on the Growth and Yield of Silage Corn (S.C.704) (*Zea mays* L.) under Drought Stress in Khuzestan, Iran

Seyed Ahmad Pourjamshid [1], Ali Moshatati [2*], Seyed AtaAllah Siadat [3], Mohammad Reza Moradi Telavat [2] and Aydin Khodaei Joghan [2]

1, 2, 3, - Ph. D. Student, Associate Professor and Professor, Respectively, Department of Plant Production and Genetic Engineering, College of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran, respectively.
(*- Corresponding author's Email: A.moshatati@asnrukh.ac.ir)

Received: 04-03-2023
Revised: 05-05-2023
Accepted: 24-05-2023
Available Online: 24-05-2023

How to cite this article:
Pourjamshid, S.A., Moshatati, A., Siadat, S.A., Moradi Telavat, M.R., & Khodaei Joghan, A. (2024). The effect of different combinations of nitrogen fertilizer with sugarcane residue compost and cultivation place on the growth and yield of silage corn (S.C.704) under drought stress in Khuzestan, Iran. *Journal of Agroecology, 16*(2), 369-389. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81459.1150

Introduction

Drought stress is one of the most important abiotic stresses that can seriously reduce crop yield depending on the season, intensity, and time of occurrence. Corn (*Zea mays* L.) cultivation and production in Khuzestan province face limitations such as lack of water resources in summer, low percentage of soil organic matter, heavy soil texture, and soil salinity that one of the reasons for which is the excessive use of chemical fertilizers, which can reduce some of these problems by using crop management and breed methods. Using compost fertilizer has beneficial effects on the physical, chemical, and biological conditions of the soil and has positive effects on grain yield and yield components of crop plants. Also, one of the factors affecting the growth and development of crops is the method and pattern of cultivation, which affects the distribution of plants in the field, distances between plants, the use of growth sources such as light, water, and soil nutrients, competition between plants, etc. that finally, these factors affect the growth and yield of crops. This study was designed with the aim of investigating the response of silage corn to the effect of the place of cultivation and different replacement ratios of nitrogen fertilizer and organic fertilizer (sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) residue compost) under drought stress conditions in the Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan.

Materials and Methods

https://doi.org/10.22067/agry.2023.81459.1150

This experiment was conducted as a split split-plot arrangement in a randomized complete block design with three replications in the summer of 2021 in the experimental farm of the agricultural college of Ramhormoz in Khuzestan province. Experimental factors including irrigation regimes at three levels; Irrigation after draining 30% of available moisture in root development depth (I_1: control irrigation), irrigation after draining 50% of available moisture in root development depth (I_2: mild stress) and irrigation after draining 70% of available moisture in root development depth (I^3: severe stress) in the main plots, five fertilizer treatments including the complete supply of nitrogen required by the plant through chemical nitrogen fertilizer (N_1) (180 kg.ha^{-1} nitrogen), 75% nitrogen+ 25% compost (N_2) (135 kg.ha^{-1} nitrogen+ 12.5 ton.ha^{-1} compost), 50% nitrogen+ 50% compost (N3) (90 kg.ha^{-1} nitrogen+ 25 ton/ha compost), 25% nitrogen+ 75% compost (N_4) (45 kg.ha^{-1} nitrogen+ 37.5 ton/ha compost) and the complete supply of nitrogen required by the plant through the sugarcane residues compost (N5) (50 ton.ha^{-1} compost) in the sub plots and the planting site was by two methods of planting on ridges (P_1) and planting in furrows (P_2) in the sub-sub plots.

Results and Discussion

Variance analysis showed that the effect of different levels of drought stress caused by different irrigation regimes, ratios of chemical and organic fertilizer replacement and cultivation methods was significant on all the measured traits. A mean comparison of the interaction effect of the cultivation method and combined application of nitrogen fertilizer and sugarcane residue compost under drought stress conditions showed that the treatment of 50% chemical fertilizer+ 50% organic fertilizer (consumption of 180 kg.ha^{-1} of nitrogen fertilizer and 25 tons.ha^{-1} of sugarcane residue compost) compared to other treatments, caused a significant increase in total fresh yield and total dry yield of corn. Under favorable irrigation conditions, the chemical nutrition treatment resulted in the highest total dry yield, with the combined nutrition treatments ranking next. However, under conditions of mild and severe drought stress, the combined nutrition treatments produced a higher yield compared to both the chemical and organic treatments.

Conclusion

In general, based on the results of this experiment, it seems that the integrated application of chemical fertilizer along with organic fertilizer with the providing of nutrients, their gradual release, and maintaining moisture in the soil and planting in furrows by maintaining more moisture and creating a suitable microclimate for the plant has developed growth, moderated drought stress, and increased corn yield.

Keywords: Available moisture, Dry yield, Integrated application, Planting in furrows

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۳۸۹-۳۶۹

اثر ترکیبات مختلف کود نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) و محل کشت بر رشد و عملکرد ذرت سیلویی (*Zea mays* L.) (S.C.704) تحت تنش خشکی در خوزستان

سید احمد پورجمشید[۱]، علی مشتطی[۲*]، سید عطا اله سیادت[۳]، محمد رضا مرادی تلاوت[۲] و آیدین خدایی جوقان[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳

چکیده

به‌منظور بررسی واکنش ذرت سیلوئی (*Zea mays* L.) به محل کشت و نسبت‌های مختلف کود نیتروژن و کود کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در تابستان ۱۴۰۰ در مزرعه آزمایشی هنرستان کشاورزی شهرستان رامهرمز در استان خوزستان اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل سه سطح آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس، ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس و ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس در کرت‌های اصلی، پنج تیمار کودی شامل ۱۰۰ درصد نیتروژن، ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست،۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست، ۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست و ۱۰۰ درصد کمپوست در کرت‌های فرعی و دو روش کاشت در رأس پشته و کف جوی در کرت‌های فرعی فرعی بودند. تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح تنش خشکی، کود شیمیایی و کود آلی و روش کشت بر صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، طول بلال، قطر بلال، عملکرد خشک برگ، ساقه و بلال، عملکرد تر و خشک کل و نسبت بلال به کل معنی‌دار است. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش روش کشت و کاربرد کود نیتروژن و کمپوست بقایای نیشکر در شرایط تنش خشکی نشان داد که در شرایط آبیاری مطلوب (شاهد بدون تنش)، بیشترین عملکرد خشک کل (۲۵۸۴۷ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد نیتروژن و کشت در کف جوی و کمترین (۱۵۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ کمپوست و کشت در رأس پشته حاصل شد. در شرایط تنش خشکی ملایم، حداکثر عملکرد خشک کل (۲۰۱۹۳ کیلوگرم در هکتار) از ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و حداقل آن (۱۲۲۵۶ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته به‌دست آمد. همچنین در شرایط تنش شدید، بالاترین عملکرد خشک کل (۱۳۷۴۴ کیلوگرم در هکتار) از تیمار تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین آن (۱۰۲۴۲ کیلو گرم در هکتار) از ۱۰۰ کمپوست و کشت در رأس پشته به‌دست آمد. نتایج نشان داد که تیمار تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست نسبت به سایر تیمارها به‌ویژه در شرایط تنش خشکی (ملایم و شدید)، باعث افزایش عملکرد خشک کل علوفه ذرت شد و ثبات عملکردی بالاتری داشت. به‌طور کلی، کاربرد تلفیقی کود نیتروژن با کمپوست، با فراهمی عناصر غذایی، آزاد کردن تدریجی آن‌ها و نگهداشت رطوبت در خاک و کاشت در کف جوی با حفظ رطوبت بیشتر و ایجاد میکروکلیمای مناسب برای گیاه، موجب توسعه رشد، تعدیل تنش خشکی و افزایش عملکرد علوفه ذرت شده است.

واژه‌های کلیدی: رطوبت قابل دسترس، عملکرد خشک، کاربرد تلفیقی، کشت کف جوی

۱، ۲، و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملاثانی، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: A.moshatati@asnrukh.ac.ir)

https://doi.org/10.22067/agry.2023.81459.1150

مقدمه

گیاه ذرت به‌دلیل توانایی تولید بالا و سازگاری مناسب می‌تواند نقش مهم و مؤثری در تأمین علوفه مورد نیاز دام به‌ویژه برای فصل زمستان ایفا نماید (Dinler et al., 2014). علاوه برآن، گیاه ذرت (*Zea mays* L.) با وجود داشتن یک مرحله برداشت، عملکرد ماده خشک بالایی دارد، سیلوی آن به‌آسانی تهیه می‌شود و علوفه‌ای خوش‌خوراک و با کیفیت پایدار برای دام است و انرژی بیشتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارد (Momeni, 2011). در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹، بیشترین میزان تولید آبی از بین محصولات زراعی مربوط به ذرت علوفه‌ای با تولید حدود ۱۲/۵ میلیون تن و سهم ۱۹/۱ درصد از کل میزان تولید محصولات زراعی آبی بوده است که استان فارس با ۱۸/۵ درصد، خوزستان با ۱۷/۸ درصد و تهران با ۱۲/۳۳ درصد، رتبه های اول تا سوم تولیدکنندگان ذرت علوفه‌ای کشور را داشتند (MAJ, 2021).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده است که بسته به فصل، شدت و زمان وقوع می‌تواند به‌صورت جدی موجب کاهش عملکرد گیاهان زراعی شود. بنابراین، مدیریت تغذیه گیاه در شرایط تنش، یکی از مسائل مهم در تولید محصولات گیاهی محسوب می شود. تنش خشکی هر ساله عملکرد جهانی ذرت را حدود ۱۷ درصد کاهش می‌دهد و در بعضی مناطق تا ۷۰ درصد هم گزارش شده است (Dastbandan-Nejad et al., 2010). علاوه‌برآن، تنش خشکی و کمبود منابع آبی، مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصول در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله استان خوزستان است (Deheghan et al., 2017).کشت و تولید ذرت در استان خوزستان با محدودیت‌هایی مثل کمبود منابع آبی در تابستان، پایین بودن درصد ماده آلی خاک، سنگین بودن بافت خاک و شوری اراضی مواجه است که یکی از دلایل آن استفاده بی‌رویه از کودهای شیمیایی است که می‌توان با استفاده از روش‌های به‌زراعی و به‌نژادی، برخی از این مشکلات را کاهش داد. یکی از راهکارهای مدیریت زراعی برای کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی و افزایش ماده آلی خاک، استفاده از مواد طبیعی مثل کودهای آلی تحت شرایط کم آبیاری و تنش خشکی در خاک است که باعث افزایش ظرفیت نگهداشت آب در خاک، ارتقاء میزان ماده آلی و تعادل pH خاک، افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز مثل نیتروژن و آزادسازی تدریجی آن‌ها، اصلاح ساختمان خاک، افزایش فعالیت فلور میکربی خاک، ایجاد بستر مناسب برای رشد و توسعه ریشه، افزایش فتوسنتز، رشد اندام‌های هوایی و تولید ماده خشک و بهبود عملکرد گیاه می شوند. همچنین، مواد آلی نسبت به کودهای شیمیایی، آلودگی کمتری در محیط زیست ایجاد می‌کند و گام مؤثری در راستای نیل به کشاورزی اکولوژیک و پایدار در بوم نظام‌های زراعی نیز می‌باشد (Mutegi et al., 2012). هر چند، ظاهراً استفاده از کودهای شیمیایی سریع‌ترین راه برای تأمین حاصلخیزی خاک به‌شمار می‌رود، لیکن هزینه‌های زیاد مصرف کود، آلودگی و تخریب محیط زیست و خاک، نگران‌کننده است. بنابراین، استفاده کامل از منابع غذایی قابل تجدید به همراه کاربرد بهینه مواد معدنی، نقش مهمی در حفظ باروری ساختمان و فعالیت‌های حیاتی خاک ایفا می‌کند(Marraccini et al., 2012) . افزایش فراهمی عناصر غذایی با مصرف توأم کودهای آلی و شیمیایی نیتروژن و جذب بیشتر آن‌ها توسط گیاه، از عوامل افزایش عملکرد و اجزای عملکرد در تیمارهای نظام مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گیاه است. میزان مواد آلی خاک‌های زراعی کشور عمدتاً کمتر از یک درصد است. لذا، در سال‌های اخیر تولید پایدار محصولات کشاورزی با استفاده از کودهای آلی مانند کمپوست اثرات مفیدی بر رشد گیاه و غلظت عناصر غذایی در گیاه زراعی داشته و باعث بهره‌وری و حفظ سلامت خاک نیز خواهد شد (Ahmadpoor-Sefidkoohi et al., 2012). یکی از کودهای کمپوست مهم که اخیراً در استان خوزستان مورد توجه و بهره‌برداری قرار گرفته و به‌مقدار زیاد تولید می‌شود، کود کمپوست بقایای نیشکر است. از جمله پسماندهای با ارزش کارخانجات نیشکر می‌توان به باگاس و فیلتر کیک (گل کربنات کلسیم) اشاره کرد. باگاس و فیلتر کیک با توجه به ترکیباتی که دارند، می‌توانند در تولید کمپوست و ورمی‌کمپوست استفاده شوند. کمپوست تولید شده از باگاس و فیلتر کیک نیشکر حاوی کلیه مواد مغذی نظیر عناصر پرمصرف نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم و عناصر ریزمغذی و سایر مواد آلی مورد نیاز گیاهان است (Chattha et al., 2019). گودا (Goda, 2019). گزارش داد که استفاده صحیح و معقولانه از ترکیب کود کمپوست و کود شیمیایی می‌تواند نتایج مشابه کاربرد فقط کود شیمیایی داشته باشد. استفاده از کود کمپوست فرآوری شده با کودهای معدنی (شیمیایی) سبب می‌شود که کمپوست از تلفات عناصر

غذایی ممانعت نموده و باعث بهبود کارآیی جذب عناصر غذایی شود که افزایش کمّی و کیفی عملکرد گیاه گندم (*Triticum aestivum* L.) و بهبود سلامت بوم‌نظام زراعی را به دنبال خواهد داشت. نمازی و همکاران (Namazi et al., 2015)، اظهار داشتند که بیشترین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک ذرت به تیمار کودی پنج تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۷۵ درصد نیتروژن و بیشترین شاخص برداشت به تیمار ۱۰ تن در هکتار ورمی‌کمپوست و ۵۰ درصد نیتروژن تعلق داشت. در مطالعه‌ای که زاده امیدی و مرعشی (Zadeh-Omidi & Marashi, 2019) در بررسی اثر مقادیر کمپوست نیشکر و نیتروژن بر عملکرد کمّی و کیفی ذرت دانه‌ای داشتند، اظهار شد که بیشترین عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه و عملکرد پروتئین از تیمارهای با کاربرد ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر حاصل شد. در تحقیقی که مجیدیان و همکاران (Majidian et al., 2008) در بررسی اثر کود شیمیایی نیتروژن‌دار، کود آلی و تلفیقی از کود شیمیایی و آلی تحت رژیم رطوبتی بر عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت سینگل کراس ۷۰۴ داشتند، گزارش شد که کود نیتروژن کافی به صورت شیمیایی عملکرد دانه را تحت شرایط تنش (آبیاری معادل ۵۰ درصد و ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه) به‌مقدار کم افزایش داد، ولی کاربرد هم‌زمان کود آلی + شیمیایی عملکرد دانه را به‌طور محسوس و قابل قبولی افزایش داد. علاوه‌برآن صافی و همکاران (Safi et al., 2022) در بررسی واکنش صفات گیاهی به کود کمپوست بقایای نیشکر (*Saccharum officinarum* L.) در شرایط تنش خشکی در گیاه تریتیکاله اظهار نمودند که تنش خشکی باعث کاهش اغلب صفات مورد بررسی شد و حداکثر صفات در آبیاری مطلوب و حداقل آن‌ها در تنش خشکی ایجاد گردید، امّا در همه سطوح تنش خشکی، با افزایش میزان کاربرد کود کمپوست بقایای نیشکر، مقدار صفات افزایش یافت و در تیمار ۴۰ تن در هکتار به حداکثر رسید.

از عوامل زراعی مؤثر بر رشدونمو گیاهان زراعی، روش و الگوی کاشت است که بر توزیع گیاهان در سطح مزرعه، فواصل بین بوته‌ها، میزان استفاده از منابع رشدی مثل نور، آب و مواد غذایی خاک، رقابت بین گیاهان و غیره اثر دارد که در نهایت، این عوامل بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مؤثر هستند. در استان خوزستان و در شرایط کمبود آب و زمین‌های شور، کشت ذرت در رأس پشته باعث افزایش میزان آب مصرفی و مقدار تبخیر از سطح خاک، افزایش تجمع شوری در نوک پشته، افزایش رشد علف‌های هرز و غیره می‌شود که بر رشد و عملکرد ذرت اثر منفی دارد. کشت در کف جوی باعث کاهش میزان آب مصرفی، کاهش مقدار تبخیر، افزایش کارآیی مصرف آب، کاهش تجمع نمک در رأس پشته، کاهش رشد علف‌های هرز و غیره می‌شود که می‌تواند باعث افزایش رشد و عملکرد ذرت شود (Moaieri, 2018). یزدی مطلق و همکاران (Yazdi-Motlagh et al., 2012) در بررسی اثر الگوی کاشت بر رشد و خصوصیات مورفوفیزیولوژیک و عملکرد ذرت علوفه‌ای بیان کردند که روش کاشت کف جوی باعث افزایش ارتفاع بوته، طول بلال، قطر بلال، قطر ساقه و عملکرد علوفه شد، به‌طوری‌که عملکرد علوفه آن (۵۰/۵ تن در هکتار) نسبت به روش کاشت روی پشته (۴۴/۰ تن در هکتار) بیشتر بود. دوانی و همکاران (Davani et al., 2016) در بررسی اثر الگوی کاشت بر رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در شرایط شور گزارش کردند که روش کشت کف جوی باعث افزایش عملکرد دانه (۷/۵۵ تن در هکتار) نسبت به روش کاشت در رأس پشته (۴/۰۹ تن در هکتار) شد. طهماسبی و همکاران (Tahmasebi et al., 2022) طی مطالعه واکنش صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد ذرت دانه ای به روش کشت و کمپوست بقایای نیشکر در شرایط خوزستان گزارش کردند که روش کشت کف جوی و مصرف ۳۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر سبب افزایش ارتفاع بوته، کلروفیل کل، تعداد دانه در بلال و عدد اسپد یا شاخص سبزینگی شد، به‌طوری‌که عملکرد دانه در این روش (۶/۴۹۷ تن در هکتار) نسبت به روش کشت در رأس پشته و عدم کاربرد کمپوست بقایای نیشکر (۳/۸۷۰ تن در هکتار) بیشتر بود.

مدیریت تغذیه مورد نیاز گیاه و تعیین اثر کود آلی کمپوست بقایای نیشکر به‌خصوص در شرایط تنش خشکی که مدیریت مصرف آب آبیاری نیز مطرح است و ارزیابی اثر این‌گونه مدیریت‌ها بر کمیت و کیفیت گیاه ذرت، اهمیت ویژه‌ای دارد و انجام تحقیقات مرتبط ضروری به نظر می‌رسد. به عبارت دیگر، می‌توان با مدیریت مصرف آب و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای، شرایط را به‌گونه‌ای فراهم کرد که گیاه تحت آن شرایط دشوار به ظرفیت بالقوه خود نزدیک‌تر شده و عملکرد کمّی و کیفی مطلوبی را حاصل نماید. لذا، این آزمایش با هدف بررسی اثر محل کشت و نسبت‌های جایگزینی کود شیمیایی و آلی بر رشد و عملکرد ذرت سیلوئی تحت تنش خشکی در شرایط آب‌و هوایی خوزستان طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در تابستان سال ۱۴۰۰ در مزرعه آزمایشی هنرستان کشاورزی شهرستان رامهرمز در استان خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی با ارتفاع ۱۶۰ متر از سطح دریا با تابستان گرم و زمستان معتدل (جدول ۱) اجرا شد.

جدول ۱- میانگین ماهانه دمای حداقل، متوسط و حداکثر و بارندگی در طول دوره رشد ذرت در تابستان ۱۴۰۰

Table 1- Monthly average of minimum, mean and maximum temperature and precipitation during corn growth period in the summer of 2021

ماه Month	دمای حداقل Minimum temperature (°C)	دمای متوسط Mean temperature (°C)	دمای حداکثر Maximum temperature (°C)	بارندگی Precipitation (mm)
مرداد August	32.9	40.2	47.5	0.0
شهریور September	29.7	37.6	45.5	0.0
مهر October	24.2	32.2	40.2	0.0
آبان November	18.6	25	31.4	0.9

این آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عوامل آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح، آبیاری پس از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس در عمق توسعه ریشه (I_1: آبیاری شاهد)، آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس در عمق توسعه ریشه (I_2: تنش ملایم) و آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس در عمق توسعه ریشه (I_3: تنش شدید) در کرت‌های اصلی، پنج تیمار کودی شامل تأمین کامل نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق کود شیمیایی (N_1) (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن)، ۷۵ درصد شیمیایی + ۲۵ درصد کود آلی (N_2) (۱۳۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۱۲/۵ تن در هکتار کمپوست نیشکر)، ۵۰ درصد کود شیمیایی + ۵۰ درصد کود آلی (N_3) (۹۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۲۵ تن در هکتار کمپوست نیشکر)، ۲۵ درصد کود شیمیایی + ۷۵ درصد کود آلی (N_4) (۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن + ۳۷/۵ تن در هکتار کمپوست نیشکر) و تأمین کامل نیتروژن مورد نیاز گیاه از طریق کمپوست بقایای نیشکر (N_5) (۵۰ تن در هکتار کمپوست نیشکر) در کرت‌های فرعی و محل کاشت به دو روش کاشت در رأس پشته (P_1) و کاشت در کف جوی (P_2) در کرت‌های فرعی فرعی بودند. پیش از انجام آزمایش، با نمونه‌برداری از خاک مزرعه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن تعیین شد (جدول ۲). کود کمپوست بقایای نیشکر از واحد خوراک دام شرکت کشت و صنعت کارون شهرستان شوشتر تهیه شد (جدول ۲).

برنامه زمان‌بندی آبیاری بر پایه درصد تخلیه رطوبت قابل دسترس خاک در منطقه ریشه انجام شد. عمق مدیریت آبیاری برای گیاه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. درصد حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی (FC)، نقطه پژمردگی دائم (PWP) و رطوبت قابل دسترس (AWC) به‌ترتیب ۳۲/۴، ۱۸/۶ و ۱۳/۸ درصد بود. جهت تعیین زمان دقیق آبیاری برای هر تیمار، نمونه‌برداری از عمق نفوذ ریشه در کرت های اصلی به‌صورت هر روز یک بار توسط مته انجام شد تا درصد رطوبت وزنی خاک مشخص شود. در صورت تخلیه رطوبت خاک به حد مورد نظر برای هر تیمار، آبیاری انجام می‌شد. درصد رطوبت وزنی نمونه‌ها با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

معادله (۱)

درصد رطوبت وزنی خاک = [(وزن خاک مرطوب (g) - وزن خاک خشک (g)) / وزن خاک خشک (g)] × 100

حجم آبیاری از رابطه (۲) محاسبه شد و حجم آب مورد نیاز پس از محاسبه با استفاده از پمپ و کنتور حجمی به‌صورت یکنواخت در هر یک از کرت‌ها اعمال شد (Alizadeh, 2004).

معادله (۲)

$$Vd = MAD(\%) \times (FC - PWP) \times Rz \times A$$

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک (صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) و کمپوست بقایای نیشکر

Table 2- Physical and chemical properties of soil (0- 30 cm) and sugarcane residue compost

مشخصات فیزیکی و شیمیایی Physical and chemical properties	خاک Soil	کمپوست بقایای نیشکر Sugarcane residues compost
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	3.5	5.5
پی اچ pH	7.23	8.3
کربن آلی Organic C (%)	1.38	35.80
نیتروژن N (%)	0.85	1
فسفر P ($mg.kg^{-1}$)	14.59	76
پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	273	5000
وزن مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	1.38	-
بافت Texture	Silty clay loam	-

که در آن، V_d: حجم آبیاری (متر مکعب)، MAD: حداکثر تخلیه مجاز، R_z: عمق مؤثر ریشه (متر) و A: مساحت کرت (مترمربع) است.

میزان نیتروژن کاربردی، با توجه به میزان نیترژن قابل دسترس در خاک و نیاز گیاه (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص) محاسبه شد. کود شیمیایی نیتروژن‌دار (اوره) به‌صورت تقسیط شده (۵۰ درصد در مرحله شش تا هشت برگی و ۵۰ درصد باقی‌مانده پیش از ظهور گل تاجی) به‌کار برده شد. میزان نیتروژن مورد نیاز از کود آلی از حاصل‌ضرب وزن کود آلی در درصد نیتروژن کود و درصد نیتروژن قابل دسترس آن محاسبه گردید (معادله ۳). درصد نیتروژن قابل دسترس کود آلی، بنابر نتایج صباحی و همکاران (Sabahi et al., 2008) که گزارش کردند در سال اول و دوم کاربرد به‌ترتیب ۳۵ و ۲۰ درصد کل نیتروژن کود آلی برای گیاه قابل دسترس است در نظر گرفته شد.

معادله (۳)

مقدار نیتروژن مورد نیاز از کود آلی = درصد نیتروژن کود × وزن خشک کود آلی × درصد نیتروژن در دسترس

کود کمپوست در کرت‌های مورد نظر به‌وسیله کارگر با خاک هر کرت به‌طور کامل و با عمق مناسب مخلوط شد. پس از اعمال تیمارهای تغذیه خاک، بذر ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ به دو روش کف جوی و نوک پشته کشت شد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور در تاریخ ۱۴۰۰/۰۵/۱۰ به‌روش نشتی انجام شد که همین تاریخ به‌عنوان تاریخ کاشت نیز لحاظ گردید. مساحت هر کرت حدود ۱۸ مترمربع (۶ × ۳ متر) و میزان تراکم ۹/۵ بوته در مترمربع بود. تعداد خطوط کاشت در هر واحد آزمایشی، چهار خط و فاصله بین خطوط ۷۵ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۴ سانتی‌متر لحاظ شد. کرت‌ها در آغاز به‌صورت متراکم کشت شده و پس از سبز شدن در مرحله چهار برگی تنک شدند تا تراکم ۹/۵ بوته در مترمربع حاصل شود. به‌منظور جلوگیری از تداخل تیمارهای آزمایشی و دیگر مراحل اجرای آزمایش، فاصله بین کرت‌های اصلی دو خط نکاشت، بین کرت های فرعی یک خط نکاشت و بین تکرارها دو متر در نظر گرفته شد. عملیات برداشت ذرت سیلوئی در مرحله رسیدگی شیری- خمیری دانه و هنگامی که خط شیری در وسط دانه قرار گرفت، در تاریخ ۱۴۰۰/۰۸/۱۰ صورت گرفت. برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، طول بلال و قطر بلال، ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب شده و میانگین ارتفاع بوته و طول بلال آن‌ها برحسب سانتی‌متر و میانگین قطر بلال با کولیس بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن خشک و تر علوفه، بوته‌های دو ردیف میانی با رعایت فاصله نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت به‌عنوان اثر حاشیه‌ای، از ارتفاع دو سانتی‌متری سطح زمین قطع و وزن تر آن‌ها توزین شد. نمونه آزمایشگاهی از علوفه تر تیمارها به آزمایشگاه منتقل و به‌مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از تعیین درصد رطوبت آن‌ها، درصد

ماده خشک و عملکرد علوفه خشک محاسبه شد. در نهایت، وزن کل برداشتی در دو مترمربع به هکتار تعمیم داده شد. برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ در مرحله ۵۰ درصد تشکیل گل‌های تاجی از دستگاه پارسنج (مدل DECAGON DEVICES.INC ساخت کشور آمریکا) استفاده شد. تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به‌روش آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) با استفاده از نرم‌افزار تجزیه آماری (SAS 9.4) انجام شد. برای مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش‌های دوجانبه آبیاری × تغذیه، آبیاری × روش کشت و اثر برهم‌کنش سه جانبه آبیاری × تغذیه× روش کشت از روش برش‌دهی فیزیکی استفاده شد.

نتایج و بحث

تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر سطوح مختلف تنش خشکی ناشی از رژیم‌های مختلف آبیاری، نسبت‌های جایگزینی کود شیمیایی وکود آلی و روش کشت بر تمام صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار است. اثر برهم‌کنش رژیم‌های مختلف آبیاری و تغذیه بر همه صفات اندازه‌گیری شده در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شد. اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت بر تمامی صفات به‌جز ارتفاع بوته، عملکرد خشک برگ و نسبت بلال به کل ماده خشک معنی‌دار شد. اثر برهم‌کنش تغذیه و روش کشت به‌جز ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، طول بلال ونسبت بلال به کل ماده خشک، بر بقیه صفات معنی‌دار گردید. اثر برهم‌کنش سه جانبه آبیاری، تغذیه و روش کشت بر عملکرد خشک برگ، ساقه و بلال و عملکرد تر و خشک کل بوته در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است.

ارتفاع بوته

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه و اثر روش کشت بر صفت ارتفاع بوته در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه بر صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد آب قابل دسترس خاک (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین ارتفاع بوته (۲۱۲/۳ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد نیتروژن و کمترین میزان آن (۱۹۱/۰ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد کمپوست بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی ملایم)، حداکثر ارتفاع بوته (۱۹۶/۳ سانتی‌متر) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بود و حداقل ارتفاع بوته (۱۸۲/۲ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد کمپوست بود. همچنین در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی شدید)، حداکثر ارتفاع بوته (۱۸۳/۹ سانتی‌متر) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بود و حداقل ارتفاع بوته (۱۷۰/۸ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد کمپوست بود. در آزمایش حاضر مشاهده شد که تنش خشکی (ملایم و شدید) در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته شد. با این وجود، در چنین شرایطی، به‌کارگیری نظام تغذیه‌ای تلفیقی به‌خصوص نظام ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست سبب افزایش ارتفاع گیاه ذرت شد، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، نظام تلفیقی مذکور در مقایسه با نظام تمام شیمیایی، به‌ترتیب به‌میزان ۲/۳ و ۵/۳۸ درصد ارتفاع بوته را افزایش داد. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که با افزایش تنش خشکی، صفت ارتفاع بوته کاهش یافت، ولی در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، تیمار تغذیه تلفیقی (۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست) نسبت به تیمار ۱۰۰ درصد کود شیمیایی نیتروژنی، ارتفاع بوته بیشتری تولید کرد. به نظر می‌رسد که کاربرد کود شیمیایی در ترکیب با کود آلی نسبت به کاربرد کود شیمیایی به‌تنهایی، به‌واسطه افزایش ظرفیت نگهداری آب و حفظ رطوبت خاک و فراهمی جذب بهتر عناصر غذایی به‌مدت طولانی‌تر، باعث کاهش اثرات نامطلوب تنش خشکی و بهبود رشد و عملکرد گیاهان زراعی شد (Mutegi et al., 2012). همچنین مقایسه میانگین اثر اصلی روش کشت (جدول ۵) نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۱۹۳/۳۱ سانتی‌متر) در روش کشت کف جوی و کمترین آن (۱۸۷/۸۱سانتی‌متر) در روش کشت رأس پشته بود. به نظر می‌رسد که این موضوع به خاطر ماندگاری بیشتر و بهتر رطوبت و ایجاد میکروکلیمای مناسب در روش کشت کف جوی باشد که باعث رشد و توسعه بهتر بوته شد. افزایش طول ساقه به فعالیت مریستم میان بافتی میان‌گره‌ها مربوط است که به‌دلیل افزایش تعداد سلول‌ها و اندازه آن‌ها، افزایش می‌یابد که به نظر می‌رسد، بوته‌های کف فارو برای دریافت نور بیشتر، ارتفاع خود را افزایش داده‌اند (Soleimanifard & Naseri, 2016). طهماسبی و همکاران (Tahmasebi et al., 2022) گزارش کردند که ارتفاع بوته ذرت در روش کشت کف جوی نسبت به بقیه تیمارهای محل کشت بیشتر بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر مصرف تلفیقی کود شیمیایی نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر و محل کشت در سطوح مختلف آبیاری برای صفات اندازه‌گیری شده ذرت سیلویی

Table 3- Variance analysis of the effect of combined use of chemical nitrogen fertilizer with sugarcane residue compost and planting place in different irrigation levels for the measured traits of silage corn

منبع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		ارتفاع بوته Plant height	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول بلال Ear length	قطر بلال Ear diameter	عملکرد خشک برگ Leaf dry yield	عملکرد خشک ساقه Stem dry yield	عملکرد خشک بلال Ear dry yield	عملکرد تر کل Total fresh yield	عملکرد خشک کل Total dry yield	نسبت بلال به کل Ear to total ratio
تکرار Replication	2	44.2**	0.41**	15.6**	4.5**	0.336**	0.43**	0.53**	11.1**	1.3**	15.89**
آبیاری Irrigation (I)	2	4931.7**	11.82**	53.8**	194.6**	18.588**	132.12**	98.88**	5709.8**	646.9**	302.67**
خطای I Error (i)	4	38.2	0.24	0.8	3.8	0.110	0.40	1.24	5.5	0.5	36.85
تغذیه Nutrition (N)	4	605.6**	0.72**	7.0**	20.3**	5.448**	17.13**	9.73**	1018.4**	91.2**	49.53**
I × N	8	97.7**	0.23**	7.5**	9.4**	0.675**	3.75**	2.20**	185.5**	16.7**	6.21**
خطای (N) Error (n)	24	24.4	0.13	2.5	0.8	0.064	0.10	0.14	3.2	0.3	3.36
روش کشت Planting method (P)	1	679.0**	4.51**	45.1**	62.4*	0.582**	2.43**	3.70**	184.5**	18.0**	0.06ns
I × P	2	9.3ns	0.16*	2.0*	3.4**	0.007ns	0.09**	0.04*	3.0**	0.3**	0.14ns
N × P	4	8.7ns	0.037ns	0.4ns	1.5**	0.021**	0.03*	0.03*	2.3**	0.2**	0.06ns
I × N×P	8	4.8ns	0.04ns	0.5ns	0.4ns	0.017**	0.02*	0.05**	2.0**	0.2**	0.20ns
خطای p Error (p)	30	6.2	0.03	0.5	0.2	0.003	0.01	0.01	0.3	0.02	0.25
ضریب تغییرات CV(%)		5.30	7.17	5.91	5.30	6.95	5.64	5.47	6.02	5.03	7.50

ns، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال خطای پنج و یک درصد

Ns, * and **: Non-significant, significant at 5% and 1% probability levels, respectively

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری × تغذیه برای ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، طول بلال، قطر بلال و نسبت بلال به کل

Table 4- Mean comparison of interaction effect of irrigation× nutrition for plant height, leaf area index, ear length, ear diameter and ear to total ratio

آبیاری بعد از مصرف Irrigation after consumption	تغذیه Nutrition	ارتفاع بوته Plant height (cm)	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول بلال Ear length (cm)	قطر بلال Ear diameter (cm)	نسبت بلال به کل Ear to total ratio
۳۰ درصد آب قابل دسترس خاک 30% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	212.3	3.78	22.68	4.51	42.84
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	208.2	3.48	20.32	4.27	42.81
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	203.3	3.46	20.44	4.23	43.00
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	198.6	3.22	18.98	4.08	46.22
	۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	191.0	3.13	19.09	3.96	47.21
LSD %5	-	4.80	0.28	2.14	0.06	2.08
۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک 50% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	191.8	2.51	19.79	3.98	42.01
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	198.1	2.96	20.77	4.08	42.02
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	196.3	2.85	21.11	4.12	39.09
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	190.2	2.42	20.25	3.99	41.51
	۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	182.2	2.18	18.47	3.81	44.73
LSD %5	-	4.70	0.41	1.29	0.12	1.17
۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک 70% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	174.5	2.10	17.07	3.65	47.43
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	180.0	2.14	17.64	3.73	47.15
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	183.9	2.48	18.35	3.83	47.08
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	176.4	2.19	18.69	3.74	49.08
	۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	170.8	2.00	17.61	3.63	49.77
LSD %5	-	4.78	0.33	0.41	0.06	1.22

شاخص سطح برگ

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه در سطح احتمال خطای یک درصد و اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تغذیه و آبیاری بر صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد

آب قابل دسترس خاک (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۷۸) در تیمار مصرف ۱۰۰ درصد نیتروژن و کمترین میزان آن (۳/۱۳) در تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی ملایم)، بالاترین مقدار شاخص سطح برگ (۲/۹۶) در تیمار ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست بود. همچنین در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی شدید)، تیمار تغذیه ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بیشترین مقدار شاخص سطح برگ (۲/۴۸) را داشت و کمترین مقدار آن (۲/۰۰) به تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست تعلق داشت. به نظر می‌رسد که در شرایط تنش‌های خشکی (ملایم و شدید)، تیمارهای تلفیقی (۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست)، به سبب برخورداری کافی از عناصر غذایی به‌ویژه عنصر نیتروژن، کاهش دمای تاج‌پوشش و به علت باقی ماندن رطوبت در زمان طولانی‌تر در پای بوته و تأخیر در حادث شدن تنش خشکی، رشد و توسعه گیاه بیشتر شده و منجر به افزایش شاخص سطح برگ ذرت شد. در مطالعه بررسی اثر کاربرد کودهای آلی، شیمیایی و زیستی بر شاخص‌های رشد، عملکرد و کیفیت ذرت دانه‌ای بیان شد که حداکثر شاخص سطح برگ با مصرف تلفیقی کود ورمی‌کمپوست، نیتروژن خالص و مایکوریزا حاصل شد (Dahpahlavan, 2022). افزایش عناصر غذایی ناشی از کاربرد تلفیقی کود آلی و شیمیایی و جذب آن توسط گیاه از عوامل افزایش شاخص سطح برگ است. همچنین، مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت (جدول ۵) نشان داد که هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، شاخص سطح برگ در الگوی کاشت کف جوی نسبت به روش رأس پشته بیشتر بود، به‌طوری‌که بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۶۱) در تیمار آبیاری مطلوب (آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد آب قابل دسترس خاک) و کشت در کف جوی و کمترین میزان آن (۲/۰۲) در تیمار تنش خشکی شدید (آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک) و کشت در رأس پشته اتفاق افتاد. یافته‌های طهماسبی و همکاران (Tahmasebi et al., 2022) نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ ذرت دانه‌ای در روش کشت کف جوی حاصل شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر محل کشت برای ارتفاع بوته

Table 5- Mean comparison of planting place effect for plant height

محل کشت planting place	ارتفاع بوته Plant height (cm)
رأس پشته On ridge	187.81
کف جوی In furrow	193.31
LSD %5	1.07

طول بلال

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه در سطح خطای یک درصد و اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت در سطح خطای پنج درصد بر صفت طول بلال معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه بر صفت طول بلال (جدول ۴) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد آب قابل دسترس خاک (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین طول بلال (۲۲/۶۸ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد نیتروژن و کمترین میزان آن (۱۸/۹۸ سانتی‌متر) در تیمار تلفیقی ۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی ملایم)، حداکثر طول بلال (۲۱/۱۱ سانتی‌متر) مربوط به تیمار تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بود. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی شدید)، بیشترین طول بلال (۱۸/۶۹ سانتی‌متر) به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کمترین طول بلال (۱۷/۰۷ سانتی‌متر) به تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن تعلق داشت. لذا، به نظر می‌رسد که در شرایط آبیاری مطلوب و تغذیه ۱۰۰ درصد شیمیایی نسبت به تیمارهای تغذیه تلفیقی و آلی صرف، صفت طول بلال به جهت دسترسی آسان به عنصر نیتروژن و تأثیر بر فرایند فتوسنتز و توسعه رشد سلولی، بیشتر بود. امّا در شرایط تنش

خشکی ملایم و شدید، تیمارهای تلفیقی نسبت به تیمار شیمیایی صرف، به جهت حفظ رطوبت بیشتر و تعدیل تنش کم آبی و همچنین، انجام فتوسنتز بهتر و با مدت زمان بیشتر و در اختیار قرار دادن مواد پرورده بیشتر به گیاه، بهتر بودند. نصراله زاده و همکاران (Nasrollahzade Asl et al., 2017)در آزمایش خود در ذرت گزارش دادند که در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، طول بلال کاهش یافت. سید زوار و همکاران (Seyedzavar et al., 2015) اظهار کردند که تنش خشکی سبب کاهش قابل توجهی در اندازه بلال شد و با اثر بر فتوسنتز برگ موجب کاهش تولید مواد پرورده، رشد سلولی و طول بلال گردید. علاوه‌برآن، مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت (جدول ۶) نشان داد که هم در شرایط آبیاری مطلوب و هم در شرایط تنش رطوبتی (تنش خشکی ملایم و تنش خشکی شدید)، بیشترین طول بلال مربوط به کشت کف جوی بود. بدین گونه که در آبیاری مطلوب، بیشترین طول بلال (۲۱/۲۴ سانتی‌متر) مربوط به کشت کف جوی و کمترین طول بلال (۱۹/۳۵ سانتی‌متر) مربوط به کشت در رأس پشته بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی ملایم)، حداکثر طول بلال (۲۰/۸۳ سانتی‌متر) به‌روش کشت کف جوی و حداقل طول بلال (۱۹/۳۲ سانتی‌متر) به کشت در رأس پشته تعلق داشت. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد آب قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، بیشترین صفت طول بلال (۱۸/۳۰ سانتی‌متر) به کشت کف جوی و کمترین طول بلال (۱۷/۴۵ سانتی‌متر) به کشت رأس پشته مربوط بود. در پژوهشی با مطالعه اثر روش‌های کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت شیرین گزارش شد که در روش کشت کف فارو به‌دلیل بهره بردن بیشتر گیاه از منابع رطوبتی و عناصر غذایی و استقرار کمتر املاح نمکی، صفات رشدی گیاه از قبیل اندازه و طول بلال افزایش یافت (Faridi et al., 2013).

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری × محل کشت برای شاخص سطح برگ، طول بلال و قطر بلال

Table 6- Mean comparison of interaction effect of irrigation × planting place for leaf area index, ear length and ear diameter

آبیاری بعد از مصرف Irrigation after consumption	محل کشت Planting place	شاخص سطح برگ Leaf area index	طول بلال Ear length (cm)	قطر بلال Ear diameter (cm)
۳۰ درصد آب قابل دسترس خاک 30% soil available water	رأس پشته On ridge	3.21	19.35	4.10
	کف جوی In furrow	3.61	21.24	4.33
LSD %5	-	0.17	1.35	0.04
۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک 50% soil available water	رأس پشته On ridge	2.28	19.32	3.91
	کف جوی In furrow	2.89	20.83	4.08
LSD %5	-	0.26	0.81	0.07
۷۰ درصد آب قابل دسترس خاک 70% soil available water	رأس پشته On ridge	2.02	17.45	3.66
	کف جوی In furrow	2.35	18.30	3.75
LSD %5	-	0.21	0.26	0.03

قطر بلال

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه، اثر برهم‌کنش رژیم آبیاری و روش کشت و همچنین اثر برهم‌کنش تغذیه و روش کاشت بر صفت قطر بلال در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه بر صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۴) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد آب قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین قطر بلال (۴/۵۱ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد نیتروژن و کمترین قطر بلال (۳/۹۶ سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد کمپوست به دست آمد. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)، حداکثر قطر بلال (۴/۱۲ سانتی‌متر) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کمترین قطر بلال (۳/۸۱

سانتی‌متر) در ۱۰۰ درصد کمپوست بود. همچنین، در شرایط آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، بیشترین قطر بلال (۳/۸۳ سانتی‌متر) در تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کمترین آن (۳/۶۳ سانتی‌متر) در ۱۰۰ کمپوست بود. مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و روش کشت (جدول ۵) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین قطر بلال (۴/۳۳ سانتی‌متر) در کشت در کف جوی و کمترین قطر بلال (۴/۱۰ سانتی‌متر) در کشت در رأس پشته بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)، حداکثر قطر بلال (۴/۰۸ سانتی‌متر) در کشت کف جوی و حداقل قطر بلال (۳/۹۱ سانتی‌متر) در کشت رأس پشته بود. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، حداکثر قطر بلال (۳/۷۵ سانتی‌متر) در کشت کف جوی و حداقل آن (۳/۶۶ سانتی‌متر) در کشت رأس پشته بود. همچنین، مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تغذیه و روش کشت (جدول ۷) نشان داد که بیشترین قطر بلال (۴/۱۵ سانتی‌متر) به ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین قطر بلال (۳/۷۲ سانتی‌متر) به ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته متعلق بود. آقایی و همکاران (Aqaei et al., 2021) در مطالعه‌ای در ذرت دانه‌ای بیان نمودند که اثر تنش خشکی بر صفت قطر بلال معنی‌دار بود و با اعمال تنش خشکی، قطر بلال کاهش یافت به‌طوری‌که حداکثر قطر بلال در تیمار آبیاری مطلوب و حداقل آن در تیمار تنش شدید مشاهده شد.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تغذیه × روش کشت برای قطر بلال

Table 7- Mean comparison of the interaction effect of nutrition × planting place for ear diameter

تغذیه Nutrition	محل کشت Planting place	قطر بلال Ear diameter (cm)
۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	رأس پشته On ridge	3.91
	کف جوی In furrow	4.15
۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	رأس پشته On ridge	3.95
	کف جوی In furrow	4.11
۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	رأس پشته On ridge	3.97
	کف جوی In furrow	4.15
۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	رأس پشته On ridge	3.89
	کف جوی In furrow	3.98
۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	رأس پشته On ridge	3.72
	کف جوی In furrow	3.81
LSD %5	-	0.17

عملکرد خشک برگ

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت بر صفت عملکرد خشک برگ در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت بر صفت عملکرد خشک برگ به‌روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۸) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین عملکرد خشک برگ (۴۵۱۳ کیلوگرم در هکتار) در

۱۰۰ درصد نیتروژن و کشت در کف جوی و کمترین عملکرد خشک برگ (۲۲۸۲ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته حاصل شد. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد آب قابل دسترس خاک (تنش خشکی ملایم)، حداکثر عملکرد خشک برگ (۴۰۳۵ کیلوگرم در هکتار) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت کف جوی و حداقل عملکرد خشک برگ (۲۱۸۸ کیلوگرم در هکتار) در ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته بود. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (تنش خشکی شدید)، حداکثر عملکرد خشک برگ (۲۵۱۸ کیلوگرم در هکتار) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و حداقل عملکرد خشک برگ (۱۵۵۲ کیلوگرم در هکتار) در ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته حاصل شد. با توجه به اینکه در شرایط آبیاری مطلوب و عدم تنش خشکی، تیمارهای تلفیقی کود شیمیایی و آلی عملکردهای مناسب و نزدیک به تیمار شیمیایی صرف داشتند که هم از لحاظ اقتصادی و هم حفظ محیط زیست نسبت به کود شیمیایی صرف بهتر هستند، لذا با این وجود می‌توان حتی در شرایط آبیاری متعارف از تیمارهای تلفیقی استفاده کرد و مقدار مصرف کود شیمیایی نیتروژن دار (اوره) را کاهش داد که کاهش هزینه‌ها و سلامتی بوم‌نظام زراعی را هم به دنبال خواهد داشت. همچنین اگر کشت‌وکار ذرت با هدف تولید علوفه باشد، میزان ماده خشک و صفت وزن خشک برگ اهمیت زیادی دارد، لذا هر عاملی که این صفات را بهبود بخشد، بر کیفیت علوفه ذرت نیز اثر خواهد داشت. در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، در تیمارهای تغذیه تلفیقی و کشت در کف جوی، عملکرد خشک برگ بیشتر از تیمارهای شیمیایی و آلی صرف بود. در پژوهشی با بررسی اثر کاربرد تلفیقی کودهای شیمیایی، زیستی و آلی (دامی) بر خصوصیات رشدی ذرت علوفه‌ای گزارش شد که بین تیمارهای کود شیمیایی، ۵۰ درصد شیمیایی + ۵۰ درصد آلی از لحاظ صفات عملکرد خشک برگ، عملکرد علوفه تر، عملکرد علوفه خشک و عملکرد کیفی علوفه اختلاف آماری معنی‌دار مشاهده نشد (Ghoochi et al., 2013).

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری × تغذیه× روش کشت بر عملکرد خشک برگ، ساقه و بلال، عملکرد تر کل و عملکرد خشک کل

Table 8- Mean comparison of the interaction effect of irrigation × nutrition × planting place for leaf, stem, and ear dry yield, total fresh yield, and total dry yield

آبیاری بعد از مصرف Irrigation after consumption	تغذیه Nutrition	محل کشت Planting place	عملکرد خشک برگ Leaf dry yield (kg.ha^{-1})	عملکرد خشک ساقه Stem dry yield (kg.ha^{-1})	عملکرد خشک بلال Ear dry yield (kg.ha^{-1})	عملکرد تر کل Total fresh yield (kg.ha^{-1})	عملکرد خشک کل Total dry yield (kg.ha^{-1})
۳۰ درصد آب قابل دسترس 30% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	رأس پشته On ridge	4114	9585	10170	77764	23877
		کف جوی In furrow	4513	10208	11126	83975	25847
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	رأس پشته On ridge	4023	9011	9658	73778	22692
		کف جوی In furrow	4137	9197	10178	76026	23877
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	رأس پشته On ridge	3842	8454	9229	69879	21526
		کف جوی In furrow	3966	8698	9606	72245	22271
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	رأس پشته On ridge	3112	6820	8539	59454	18472
		کف جوی In furrow	3213	7056	8814	61434	19083
	۱۰۰ درصد کمپوست	رأس پشته On ridge	2282	6261	7429	50863	15725

	(N_5) 100% compost (N_5)	کف جوی In furrow	2399	6514	7729	53001	16389
LSD %5	-	-	238.9	508.8	506.1	1580.7	419.9
۵۰ درصد آب قابل دسترس 30% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	رأس پشته.. On ridge	3039	7339	7551	60517	17930
		کف جوی In furrow	3155	7793	7890	63689	18839
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	رأس پشته On ridge	3157	7364	7688	61351	18210
		کف جوی In furrow	3362	7878	8085	65192	19326
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	رأس پشته On ridge	3634	7597	7268	62448	18499
		کف جوی In furrow	4035	8290	7867	67185	20193
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	رأس پشته On ridge	2700	6662	6590	54010	15925
		کف جوی In furrow	2818	6932	6995	56623	16746
	۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	رأس پشته On ridge	2099	4691	5466	40950	12256
		کف جوی In furrow	2188	5010	5887	43727	13085
LSD %5	-	-	364.7	330.8	474.4	2529.3	875.9
۷۰ درصد آب قابل دسترس 30% soil available water	۱۰۰ درصد نیتروژن (N_1) 100% N (N_1)	رأس پشته On ridge	1980	3813	5231	38249	11025
		کف جوی In furrow	2099	4009	5512	40291	11620
	۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست (N_2) 75% N + 25% compost (N_2)	رأس پشته On ridge	2110	4015	5464	40211	11589
		کف جوی In furrow	2215	4287	5789	42689	12292
	۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست (N_3) 50% N + 50% compost (N_3)	رأس پشته On ridge	281	4484	6014	44417	12780
		کف جوی In furrow	2518	4771	6484	47223	13774
	۲۵ درصد نیتروژن + ۷۵ درصد کمپوست (N_4) 25% N + 75% compost (N_4)	رأس پشته On ridge	1807	3823	5491	38549	11121
		کف جوی In furrow	1859	3966	5751	40109	11576
	۱۰۰ درصد کمپوست (N_5) 100% compost (N_5)	رأس پشته On ridge	1552	3560	5129	35779	10242
		کف جوی In furrow	1668	3808	5389	37767	10865
LSD %5	-	-	278.1	332.2	385.4	2367.7	678.0

عملکرد خشک ساقه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش سه‌گانه آبیاری، تغذیه و روش کشت بر عملکرد خشک ساقه در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت (جدول ۸) به‌روش برش‌دهی فیزیکی نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس خاک (شاهد بدون تنش خشکی)؛ بیشترین عملکرد ساقه (۱۰۲۰۸ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد نیتروژن و روش کشت کف

جوی و کمترین عملکرد خشک ساقه (۶۲۶۱ کیلوگرم در هکتار) در تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و روش کشت رأس پشته حاصل شد. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)؛ بیشترین عملکرد خشک ساقه (۸۲۹۰ کیلوگرم در هکتار) به ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین مقدار آن (۴۶۹۱ کیلوگرم در هکتار) به ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته مربوط بود. همچنین در شرایط اعمال آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، بیشترین عملکرد خشک ساقه (۴۷۷۱ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین مقدار آن (۳۵۶۰ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته مربوط بود. از آنجایی‌که در شرایط آبیاری مطلوب (شاهد بدون تنش خشکی)، به‌واسطه عدم محدودیت رطوبت، تیمار تغذیه شیمیایی صرف نسبت به تیمارهای تلفیقی و کود آلی صرف، عملکرد خشک ساقه بیشتری داشت، ولی در شرایط اعمال تنش‌های ملایم و شدید، تیمارهای تلفیقی نسبت به سایر تیمارها، ساقه‌های قطور، توپر و بلندقدتر و عملکرد خشک ساقه بیشتری داشتند، می‌توان اظهار نمود که با کاربرد مواد آلی، افزایش قابلیت دسترسی گیاه به رطوبت و مواد غذایی و متعاقباً افزایش رشد و فتوسنتز به سبب بالارفتن سطح برگ؛ عملکرد خشک ساقه در تیمار تغذیه تلفیقی کود نیتروژن با کمپوست بقایای نیشکر، افزایش یافت. در مطالعه‌ای، پوراسماعیل و همکاران (Pooresmaeil et al., 2019) در ارزیابی اثر مدیریت تلفیقی کود و بقایای گیاهی بر عملکرد کمّی و کیفی علوفه ذرت گزارش کردند که بیشترین وزن خشک ساقه در مرحله شیری شدن دانه، به تیمار تغذیه تلفیقی تعلق داشت.

عملکرد خشک بلال

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت بر صفت عملکرد خشک بلال در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت (جدول ۸) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین عملکرد خشک بلال (۱۱۱۲۶ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد نیتروژن و روش کشت کف جوی و کمترین مقدار آن (۷۴۲۹ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد کمپوست و روش کشت رأس پشته حاصل شد. در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)، عملکرد خشک بلال در تیمارهای تلفیقی شیمیایی + کمپوست بقایای نیشکر بیشتر بود، به نحوی که بیشترین عملکرد خشک بلال (۸۰۵۸ کیلوگرم در هکتار) به ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست مربوط بود. همچنین، در شرایط آبیاری پس از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، بیشترین عملکرد خشک بلال (۶۴۸۴ کیلوگرم در هکتار) از ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین مقدار آن (۵۱۲۹ کیلوگرم در هکتار) در ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته بود. در مطالعه حاضر مشاهده شد که تنش خشکی (ملایم و شدید) در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد خشک بلال شد. با این تفاسیر، در چنین شرایطی به‌کارگیری نظام تغذیه‌ای تلفیقی به‌خصوص نظام ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی، سبب افزایش عملکرد خشک بلال ذرت شد. به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، نظام تلفیقی مذکور در مقایسه با نظام تمام شیمیایی و کشت در رأس پشته، عملکرد خشک بلال را به‌ترتیب به‌میزان ۵ و ۱۹/۳۲ درصد افزایش داد. در گزارش برخی محققین آمده است که کاربرد کود آلی سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش خشکی شد و افزایش رشد و عملکرد گیاهان زراعی را در پی داشت. مثلاً شیر خانی و همکاران (Shirkhani et al., 2019) با بررسی اثر کودهای زیستی و شیمیایی بر عملکرد کمّی و کیفی ذرت در شرایط آبیاری مطلوب و تنش خشکی عنوان کردند که تنش خشکی، عملکرد دانه را کاهش داد، امّا در شرایط تنش خشکی، مصرف کود آلی (ورمی‌کمپوست) منجر به افزایش عملکرد دانه بلال شد.

عملکرد تر کل علوفه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت بر صفت عملکرد تر کل علوفه در سطح خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت به‌روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۸) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین عملکرد تر کل علوفه (۸۳۹۷۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۱۰۰ درصد نیتروژن و روش کشت کف جوی و کمترین مقدار آن (۵۰۸۶۳ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۱۰۰

درصد کمپوست و روش کشت در رأس پشته بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)، حداکثر عملکرد تر کل علوفه (۶۷۱۸۵ کیلوگرم در هکتار) از ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی بود و حداقل مقدار آن (۴۰۹۵۰ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در پشته متعلق بود. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، حداکثر عملکرد تر کل علوفه (۴۷۲۲۳ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی و کمترین مقدار آن (۳۵۷۷۹ کیلوگرم در هکتار) به تیمار ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته مربوط بود. در آزمایش حاضر مشاهده شد که تنش خشکی (ملایم و شدید) در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد تر کل علوفه شد، ولی در چنین شرایطی استفاده از نظام تغذیه‌ای تلفیقی به‌ویژه ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست، سبب افزایش عملکرد تر کل علوفه شد، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، نظام تغذیه‌ای مذکور توانست به ترتیب به‌میزان ۱۰ و ۱۹ درصد عملکرد خشک کل علوفه نسبت به تیمار شیمیایی صرف را افزایش دهد. احتمال آن می‌رود که در شرایط آبیاری مرسوم و مدیریت تغذیه‌ای تمام شیمیایی به‌دلیل راحتی جذب و تأمین شدن مناسب‌تر نیتروژن برای گیاه از منبع شیمیایی در مرحله‌ای از رشد که سرعت جذب نیتروژن توسط گیاه ذرت بالا است، برداشت نیتروژن با کمیت و کیفیت بهتری اتفاق می‌افتد که در نتیجه، منتج به افزایش عملکرد علوفه در تیمارهای شیمیایی می‌گردد، امّا چون تیمارهای آلی به‌تنهایی نمی‌توانند جوابگوی میزان جذب مورد نیاز گیاه در زمان لازم باشد، لذا عملکرد در این سیستم تغذیه‌ای پایین تر بوده است. امّا دلیل رجحان و برتری تیمارهای تلفیقی به تیمار تمام شیمیایی در شرایط تنش خشکی (ملایم و شدید)؛ احتمالاً به واسطه ذخیره و نگهداشت رطوبت ناشی از کمپوست بقایای نیشکر و الگوی کف جوی در مدت زمان بیشتر و رها شدن آرام آرام عناصر غذایی در طی فصل رشد و تأثیر هم‌افزایی کودهای تلفیقی (شیمیایی و آلی) و اثرپذیری منفی تیمار تمام شیمیایی از این حیث، می‌تواند از عوامل افزایش عملکرد در تیمار ترکیبی کمپوست و شیمیایی باشد. تنش خشکی علاوه‌بر کاهش شاخص سطح برگ، سبب کاهش فشار تورژسانس سلول می‌شود که این عمل از طریق باقی ماندن آب کمتر درون سلول، از حجم سلول می‌کاهد که در نهایت، منجر به کاهش وزن سلول و کاهش عملکرد علوفه می‌شود (Haji Hasani Asl et al., 2010). در مطالعه‌ای قندعلی و همکاران (Varnaseri Ghandali et al., 2018) با بررسی عملکرد و اجزاء عملکرد علوفه علف قناری (*Phalaris canariensis* L.) در پاسخ به سطوح مختلف آبیاری، کودهای آلی، شیمیایی و تلفیقی اظهار کردند که مصرف کودهای دامی و ورمی‌کمپوست، بیشترین اثر را در بهبود عملکرد علوفه تر علف قناری داشت و همچنین، عنوان نمودند که استفاده تلفیقی کودهای شیمیایی و آلی نسبت به کاربرد کودهای شیمیایی به‌تنهایی، اثر مثبتی بر عملکرد علوفه داشت.

عملکرد خشک کل علوفه

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت بر صفت عملکرد خشک کل علوفه در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری، تغذیه و روش کشت به‌روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۸) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بیشترین عملکرد خشک کل علوفه (۲۵۸۴۷ کیلوگرم در هکتار) در ۱۰۰ درصد نیتروژن و روش کشت کف جوی و کمترین مقدار آن (۱۵۷۲۵ کیلوگرم در هکتار) از ۱۰۰ درصد کمپوست و روش کشت در رأس پشته حاصل شد. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی ملایم)، حداکثر عملکرد خشک کل علوفه (۲۰۱۹۳ کیلوگرم در هکتار) به ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست متعلق بود و حداقل عملکرد خشک کل (۱۲۲۵۶ کیلوگرم در هکتار) متعلق به ۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته بود. همچنین در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، حداکثر عملکرد خشک کل علوفه (۱۳۷۷۴کیلوگرم در هکتار) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و حداقل مقدار آن (۱۰۲۴۲ کیلوگرم در هکتار) در۱۰۰ درصد کمپوست و کشت در رأس پشته بود. در آزمایش حاضر مشاهده شد که تنش خشکی (ملایم و شدید) در مقایسه با شرایط عدم تنش خشکی، موجب کاهش عملکرد خشک کل شد. با این وجود در چنین شرایطی، استفاده از سیستم تغذیه‌ای تلفیقی به‌ویژه ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست، سبب افزایش عملکرد خشک کل گردید، به‌طوری‌که در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، ترکیب مذکور توانست به‌ترتیب به‌میزان

۱۱/۲۱ و ۲۰ درصد عملکرد خشک کل علوفه نسبت به تیمار شیمیایی صرف را افزایش دهد. به‌طور کلی، در شرایط آبیاری مطلوب، تیمار تغذیه شیمیایی، بیشترین عملکرد خشک کل علوفه را داشت و تیمارهای تغذیه تلفیقی در رتبه‌های بعدی قرار داشتند، امّا در شرایط تنش خشکی ملایم و شدید، تیمارهای تغذیه تلفیقی نسبت به تیمارهای شیمیایی و آلی صرف، عملکرد بالاتری داشتند. همچنین، در همه رژیم‌های آبیاری، تیمارهای تغذیه تلفیقی ثبات عملکردی مناسبی داشتند، ولی در شرایط اعمال تنش خشکی، عملکرد خشک کل علوفه، تیمار شیمیایی صرف کاهش یافت و ثبات عملکردی پایین تری داشت. به‌طوری‌که میزان عملکرد خشک کل علوفه در تیمار تغذیه ۱۰۰ درصد شیمیایی و کشت در کف جوی در شرایط تنش خشکی شدید نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، حدود ۵۲ درصد کاهش یافت، ولی میزان عملکرد خشک کل علوفه در تیمار تلفیقی ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست و کشت در کف جوی در شرایط تنش خشکی شدید نسبت به شرایط آبیاری مطلوب، حدود ۳۹ درصد کاهش یافت که نشان‌دهنده این است که کاربرد کودهای آلی از قبیل کود کمپوست بقایای نیشکر با حفظ و ماندگاری رطوبت و عناصر غذایی، باعث تعدیل اثر منفی تنش خشکی شد.

پژوهش‌ها نشان داده است که مصرف کودهای آلی از قبیل کمپوست‌ها به‌صورت تلفیقی با کودهای شیمیایی در مقایسه با کاربرد جداگانه آن‌ها رشد و عملکرد گیاهان زراعی را افزایش داده است (Varnaseri Ghandali et al., 2018). احتمالاً کود کمپوست بقایای نیشکر از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب و عناصر غذایی و افزایش هورمون‌های تنظیم‌کننده رشد و فعالیت ریزجانداران موجود در خاک، باعث افزایش رشد و عملکرد و اجزاء عملکرد ذرت شده است. به نظر می‌رسد که در گیاهان تحت شرایط آبیاری مطلوب، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ بیشتر موجب ایجاد منبع فیزیولوژیک کافی جهت استفاده هر چه بیشتر از تشعشع دریافتی و تولید ماده خشک بیشتر می‌شود که با نتایج صافی و همکاران (Safi et al., 2022) مطابقت دارد.

در آزمایشی، مشتطی و همکاران (Moshatati et al., 2019) با ارزیابی اثر کود دامی و زئولیت بر عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی بیان کردند که تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزا عملکرد گندم شد، ولی در شرایط تنش خشکی، مصرف کود دامی و زئولیت موجب کاهش اثر تنش خشکی شده و عملکرد دانه را افزایش داد. در مطالعه دیگری، سیمری زاده و همکاران (Seimarizade et al., 2020) در بررسی اثر ورمی‌کمپوست بر عملکرد گندم در شرایط تنش گرمایی انتهای فصل در اهواز گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در مصرف ۲۰ تن در هکتار کود آلی ورمی‌کمپوست حاصل شد که آن را ناشی از افزایش خلل فرج و ذخیره رطوبت بیشتر و پایداری عناصر غذایی و تحریک شدن ریز موجودات سودمند خاک در منطقه فعال ریشه دانستند که منجر به افزایش جذب عناصر غذایی، توسعه تاج‌پوشش، جذب نور بیشتر و متعاقباً افزایش فتوسنتز و افزایش دوره پر شدن دانه و در نهایت، عملکرد دانه افزایش یافت. در پژوهش دیگری، طهماسبی و همکاران (Tahmasebi et al., 2022) طی مطالعه واکنش صفات عملکردی ذرت دانه‌ای به کاربرد کود کمپوست بقایای نیشکر و روش کشت اظهار نمودند که بیشترین عملکرد دانه با مصرف ۳۰ تن در هکتار کود کمپوست و روش کشت در کف جوی حاصل شد. همچنین، در آزمایشی صافی و همکاران (Safi et al., 2022) با ارزیابی اثر کمپوست بقایای نیشکر بر رشد و عملکرد دانه تریتیکاله (*Triticosecale wittmack*) تحت تنش خشکی داشتند، بیان کردند که با توجه به اینکه در کود کمپوست، عناصر غذایی به‌تدریج و آهستگی آزاد می‌شود و در طول دوره زندگی در اختیار گیاه قرار می‌گیرد و علاوه‌برآن هدرروی و از دسترس خارج شدن عناصر غذایی موجود در آن کمتر اتفاق می‌افتد، حتی در شرایط آبیاری کامل و عدم وجود تنش خشکی، تیمارهای با کاربرد ۳۰ و ۴۰ تن در هکتار کمپوست بقایای نیشکر، باعث افزایش صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص سطح برگ، تعداد سنبله در مترمربع و تعداد دانه در سنبله گیاه گردید.

نسبت بلال به کل

تجزیه واریانس نشان داد که اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه بر صفت نسبت بلال به عملکرد خشک کل علوفه، در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار است (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش آبیاری و تغذیه به‌روش برش‌دهی فیزیکی (جدول ۴) نشان داد که در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۳۰ درصد رطوبت قابل دسترس (شاهد بدون تنش خشکی)، بالاترین نسبت بلال به کل (۴۷/۲۱ درصد) به تیمار۱۰۰ درصد کمپوست متعلق بود و پایین‌ترین نسبت آن (۴۲/۸۱ درصد) در ۷۵ درصد نیتروژن + ۲۵ درصد کمپوست بود. در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۵۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش

خشکی ملایم)، بیشترین نسبت بلال به کل عملکرد خشک (۷۲/ ۴۴ درصد) در ۱۰۰ درصد کمپوست و کمترین آن (۳۹/۰۹ درصد) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بود. همچنین، در شرایط آبیاری بعد از تخلیه ۷۰ درصد رطوبت قابل دسترس (تنش خشکی شدید)، حداکثر نسبت بلال به کل عملکرد خشک (۴۹/۷۷ درصد) در ۱۰۰ درصد کمپوست بود و حداقل آن (۴۷/۰۸ درصد) در ۵۰ درصد نیتروژن + ۵۰ درصد کمپوست بود. به‌طور کلی، در تیمارهای با عملکرد خشک کل بیشتر، درصد بلال به کل کمتر شد و بالعکس در تیمارهای با عملکرد خشک کل کمتر، درصد بلال به کل بیشتر بود. به عبارت دیگر، در هر سه رژیم آبیاری، تیمارهای آلی صرف موجب بهبود نسبت بلال به کل ماده خشک شدند. به نظر می‌رسد که کمپوست بقایای نیشکر از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک و هوادهی بهتر به ریشه و افزایش توان جذب آب و نگه‌داری طولانی مدت آن، منجر به افزایش توان فتوسنتزی گیاه و تجمع مواد در بلال گردید. در آزمایش ورناصری قندعلی و همکاران (Varnaseri Ghandali et al., 2018) گزارش شد که کمترین نسبت گل آذین به کل ماده خشک در رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد و ۸۰ درصد نیاز آبی و بیشترین نسبت آن در رژیم آبیاری ۶۰ درصد نیاز آبی مشاهد شد که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. همچنین در آزمایش ایشان، حداکثر نسبت گل آذین به کل ماده خشک در تیمارهای کودی شیمیایی، ورمی‌کمپوست + شیمیایی، دامی + شیمیایی و شاهد و کمترین آن در تیمار کود دامی و ورمی‌کمپوست مشاهده شد که با نتایج مطالعه حاضر نیز مطابقت نداشت.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در آبیاری مطلوب، حداکثر مقدار صفات شاخص سطح برگ، ارتفاع بوته، طول بلال، قطر بلال، عملکرد خشک برگ، عملکرد خشک ساقه، عملکرد خشک بلال، عملکرد کل تر علوفه و عملکرد خشک کل علوفه در سیستم تغذیه شیمیایی صرف مشاهده شد و اعمال تنش خشکی باعث کاهش صفات فوق گردید. هر چند در شرایط آبیاری مطلوب و عدم تنش خشکی، کاربرد کود شیمیایی نیتروژن دار باعث افزایش عملکرد کل علوفه خشک و سایر صفات گیاه ذرت گردید، امّا در شرایط اعمال تنش خشکی ملایم و شدید، تیمارهای تلفیقی به‌ویژه تیمار تلفیقی ۵۰ درصد کود شیمیایی نیتروژن‌دار + ۵۰ درصد کود آلی کمپوست بقایای نیشکر و روش کشت در کف جوی نسبت به تیمارهای شیمیایی و آلی صرف و کشت در رأس پشته، با فراهمی رطوبت و هم‌افزایی عناصر غذایی (به‌واسطه کاربرد هم‌زمان کود شیمیایی و کمپوست) و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، صفات مورد بررسی افزایش یافته و عملکرد بیشتری داشتند. لذا، با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه به‌طور کلی، به نظر می‌رسد که در شرایط تنش خشکی و کمبود منابع آبی و حتی در شرایط متعارف و بدون تنش، کاربرد مقادیر بهینه کود آلی کمپوست بقایای نیشکر به‌عنوان یک نهاده آلی بوم سازگار، می‌تواند خصوصیات رشدی و عملکردی علوفه ذرت را بهبود بخشد و علاوه‌برآن، باعث کاهش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در زراعت این گیاه و کاهش اثر منفی کودهای شیمیایی بر محیط زیست و همچنین، کاهش هزینه‌های تولید زارعین شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله از معاونت آموزشی و تحصیلات تکمیلی و معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان که قسمتی از هزینه‌های اجرای این آزمایش را تأمین کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

1. Ahmadpoor Sefidkoohi, A., Sepanlou, M., & Bahmanyar, M. (2012). The effect of long application of organic and inorganic fertilizer on the amount of N, P and K and growth characteristics of wheat. *Journal of Agriculture Science and Sustainable Production*, *23*(3), 71-86. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.5897/AJAR11.1969
2. Alizadeh, A. (2004). *Soil, Water, Plant Relationship*. Emam Reza University Press. Mashhad, Iran. (In Persian)
3. Aqaei Sagzabadi, P., Weisany, W., & Dianat, M. (2021). Effect of nano silicic potassium on growth and yield of maize (*Zea mays* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(2), 331-345. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2019.2719.1715
4. Chattha, M.U., Hassan, M.U., Barbanti, L., Chattha, M.B., Khan, I., Usman, M., & Nawaz, M. (2019). Composted

sugarcane by-product press mud cake supports wheat growth and improves soil properties. *International Journal of Plant Production*, *13*(3), 241-249. https://doi.org/10.1007/s42106-019-00051-x

5. Dahpahlavan, S., Farnia, A., Jafarzadeh Kenarsari, M., & Nakhjavan, S. (2022). Evaluation of growth indices, yield and quality of Simon grain corn under the influence of biological, organic and chemical fertilizers to achieve healthy food production. *Journal of Plant Ecophysiology*, *13*(47), 60-75. (In Persian with English abstract).
6. Dastbandan Nejad, S., Saki Nejad, T., & Lack, S. (2010). Studying the effect of drought stress and different levels of potassium fertilizer on K^+ accumulation in corn. *Nature and Science*, *8*, 23-27. (In Persian with English abstract)
7. Davani, D.M., Nabipoor, M., & Roshanfekr-Dezfooli, D.H. (2016). Effect of auxin, cytokinin and planting pattern on grain yield and salt tolerance indicators of maize. *Journal of Crop Production*, *9*(3), 191-209. (In Persian with English abstract). https://10.22092/sppj.2018.118940
8. Dehghan, M., Balouchi, H.R., Yadavi, A.R., & Safikhani, F. (2017). Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, *19*, 40-56. (In Persian with English abstract)
9. Dinler, B.S., Demir, E., & Kompe, Y.O. (2014). Regulation of auxin, abscisic acid and salicylic acid levels by ascorbate application under heat stress in sensitive and tolerant maize leaves. *Acta Biologica Hungarica*, *65*(4), 469-80. https://doi.org/10.1556/ABiol.65.2014.4.10
10. Faridi, F., Ramroudi, M., Galavi, M., Siahsar, B.A., & Khavari Khorasani, S. (2013). Effects of planting method on agronomic characteristics, yield and yield components of sweet and super sweet corn (*Zea mays* L.) varieties under saline conditions. *Journal of Agroecology*, *5*(2), 188-197. (In Persian with English abstract)
11. Ghoochi, E., Mohsenabadi, Z.G., Ehteshami, S.M.R., & Forghani, A. (2013). Integrated application of chemical, manure and biological fertilizers on growth characteristics of forage corn in Rasht region. *Cereal Research*, *3*(2), 143-154. (In Persian with English abstract)
12. Goda, D. (2019). Response of wheat to integrated nutrient management: A review. *Journal of Plant Sciences and Research*, *6*, 1-8.
13. Haji Hasani Asl, N., Moradi Aghdam, A., Shirani Rad, A.H., Hosseini, N., & Rassaei Far, M. (2010). Effect of drought stress on forage yield and agronomical characters of millet, sorghum and corn in delay cropping. *Journal of Crop Improvement*, *2*, 63-74. (In Persian with English abstract)
14. MAJ. (2021). *Agricultural Statistics: Agronomic Products*, 2020-2021. Center for Information and Communication Technology of Agricultural Jihad. Tehran, Iran. 100 p. (In Persian)
15. Majidian, M., Ghalavand, A., Karimian, N., & Kamgar Haghighi, A.A. (2008). Effects of moisture stress, nitrogen fertilizer, manure and integrated nitrogen and manure fertilizer on yield, yield components and water use efficiency of SC 704 corn. *Journal of Water and Soil Science*, *12*(45), 417-432. (In Persian with English abstract)
16. Marraccini, E., Debolini, M., Di Bene, C., & Bonari, E. (2012). Factors affecting soil organic matter conservation in Mediterranean hillside winter cereals-legumes cropping systems. *Italian Journal of Agronomy*, *7*, 283-292. https://doi.org/10.4081/ija.2012.e38
17. Moaieri, M. (2018). *Irrigation of Corn in Khuzestan*. Publication of Agricultural Education, Karaj, Iran. (In Persian)
18. Momeni, S. (2011). Effect of seed priming with salicylic acid and polyethylene glycol, and plant salmonella with salicylic acid on drought resistance of maize (*Zea mays* L.). M.Sc. Thesis for Seeds Science and Technology. Birjand University, Iran. (In Persian)
19. Moshatati, A., Khodaei Joghan, A., Siadat, S.A., Mousavi, S.H., & Rezaei, M. (2019). The effect of cattle manure and zeolite on bread wheat yield under drought stress condition. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(4), 1179-1188. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2019.2124.1527
20. Mutegi, E.M., Kung'u, J.B., Muna, M., Pieter, P., & Mugendi, D.N. (2012). Complementary effects of organic and mineral fertilizers on maize production in the smallholder farms of Meru South District, Kenya. *Agricultural Sciences*, *3*(2), 221-229. https://doi.org/10.4236/as.2012.32026
21. Namazi, E., Lack, S., & Fatahi Nejad, E. (2015). Effect of vermicompost and chemical nitrogen fertilizer application on the various functioning of maize seeds. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *3*(3), 263-268. https://doi.org/10.18006/2015.3(3).261.268
22. Nasrollahzade Asl, V., Moharramnejad, S., Yusefi, M., Bandehhagh, A., & Ibrahimi, L. (2017). Evaluation of

grain yield of maize (*Zea mays* L.) hybrides under water limitation. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *27*(2), 85-96. (In Persian with English abstract)

23. Pooresmail, H.A., Dehmardeh, M., & Ghanbari, A. (2019). Evaluation of quantitative and qualitative performance of corn forage 260 under the combined management of fertilizer and plant residues. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(4), 861-879. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/gsc.v16i4.72820
24. Sabahi, H., Ghalavand, A., & Modares-Sanavi, S.A.M. (2008). Impacts of fertilization systems on nitrogen loss and yield of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, *11*(2), 232-237.
25. Safi, S.N., Moshatati, A., Gharineh, M.H., & Khodaei-Joghan, A. (2022). The response of physiologic and qualitative traits of triticale to sugarcane residue compost under drought stress condition. *Journal of Crop Production*, *15*(2), 53-74. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/EJCP.2022.19356.2443
26. Seimarizade, S., Moshatati, A., Bakhshandeh, A., Khodaei Joghan, A., & Koochekzadeh, A. (2021). The effect of vermicompost on yield and yield components of wheat under terminal heat stress conditions in Ahwaz. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *14*(4), 1139-1145. (In Persian with English abstract). 20.1001.1.22287604.1400.14.4.21.4
27. Seyedzavar, J., Norouzi, M., Aharizad, S., & Bandehhagh, A. (2015). Relationship between yield and yield components of maize hybrids under different irrigation. *Journal of Crop Ecophysiology*, *9*(1), 83-108. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2020.3384.1853
28. Shirkhani, A., Nasrolahzadeh, S., & Zehtab Salmasi, S. (2019). Effect of biofertilizers and chemical fertilizers on yield and seed quality of corn under normal irrigation and drought stress conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(3), 781-791. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22077/escs.2018.542.1332
29. Soleimanifard, A., & Naseri, R. (2016). The effects of irrigation regimes and planting patterns on seed yield and some agronomic traits of maize (S.C. 604). *Journal of Crop Ecophysiology*, *10*(1), 201-212. (In Persian with English abstract)
30. Tahmasebi, M., Gharineh, M.H., Moshatati, A., & Khodaei-Joghan, A. (2022). The response of morphological and physiological traits and grain yield of corn to planting method and sugarcane residue compost. *Journal of Crop Production and Processing*, *12*(1), 31-44. (In Persian with English abstract)
31. Varnaseri Ghandali, V., Rezvani Moghaddam, P., & Khorramdel, S. (2016). Investigation of yield and yield components of canary seed forage (*Phalaris canariensis* L.) in response to different levels of irrigation, organic and chemical fertilizers and their integration. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *14*(3), 526-538. (In Persian with English abstract)
32. Yazdi Motlagh, A., Khavari Khorasani, S., Bakhtiari, S., & Musa-Abadi, J. (2012). Effects of planting methods on morpho-physiological traits, yield and yield components of forage corn (*Zea mays* L.) cultivars in saline condition. *Journal of Agroecology*, *4*(4), 327-334. (In Persian with English abstract)
33. Zadeh-omidi, F., & Marashi, S.K. (2019). Effect of amount of sugarcane compost and nitrogen on quantitative and qualitative yield of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, *14*(54), 12-20. (In Persian with English abstract)

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 391-402

Evaluation of Effect of Sowing Date and Nitrogen Fertilizer Application on Nitrogen Productivity of Camelina (*Camelina sativa* L.)

Farzad Mondani[1*], Mohsen Pashaei[2] and Danial Kahrizi[3]

1 and 2- Associated Professor of Crop Ecology and M.Sc. Student, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran, respectively.
3- Professor of Molecular Genetics and Genetic Engineering, Department of Biotechnology, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
(*- Corresponding author's Email: f.mondani@razi.ac.ir)

Received: 17-04-2023
Revised: 27-06-2023
Accepted: 10-07-2023
Available Online: 10-07-2023

How to cite this article:
Mondani, F., Pashaei, M., & Kahrizi, D. (2024). Evaluation of effect of sowing date and nitrogen fertilizer application on nitrogen productivity of camelina (*Camelina sativa* L.). *Journal of Agroecology*, *16*(2), 391-402. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.82003.1154

Introduction

Currently, more than 90% of the edible oil needed in Iran is supplied through imports from other countries. This amount of oil import is not suitable for a country with high potential and capacity to produce agricultural products. Therefore, it is necessary to increase the production of oilseeds in the country. Camelina (*Camelina sativa* L.) is a new and unique oilseed plant for Iran. This oil plant is part of the Brassicaceae family, and it has been shown in various tests that it has much less water needs and more resistance to spring cold than other oil plants, especially canola. Therefore, considering the importance of self-sufficiency in oil production in the country and the introduction of crops that can have a good yield in the dry climate of most parts of the country, this research aims to evaluate the effect of sowing date and nitrogen fertilizer application on the nitrogen productivity of camelina as a new crop was implemented in the crop rotation with most of the rainfed crops.

Materials and Methods

This study was conducted in order to investigate the effect of sowing date and nitrogen fertilizer application on the nitrogen capture and use efficiency of camelina under the conditions of rainfed fields in the climatic conditions of Kermanshah city in 2018-2019. A split plots experiment was conducted based on the randomized complete blocks in three replicates at the research farm of the Campus of Agriculture and Natural Resources at Razi University. The main factor was the sowing date (October 25, November 9, and November 21), and the secondary factor was nitrogen fertilizer application (0, 50, 100, 150 kg.ha^{-1}). The implementation of the sowing date treatment was based on the occurrence of effective rainfall, and the source of nitrogen fertilizer application was 46% urea fertilizer. The nitrogen fertilizer was applied at three stages (at the end of the six-leaf stage, at the end of the stem elongation stage, and at the beginning of the grain filling stage). The plant was harvested on each sowing date according to the physiological maturity (browning of 90% of pods). The evaluated traits were grain protein percentage, grain protein yield, nitrogen harvesting index nitrogen capture and use efficiency, and

https://doi.org/10.22067/agry.2023.82003.1154

nitrogen productivity.

Results and Discussion

The results showed that the treatments of sowing date and nitrogen fertilizer application had significant effects on the evaluated traits. In the maximum fertilizer application treatment, compared to the control condition, the grain protein percentage and grain protein yield increased by 39.0% and 128.8%, respectively. The highest nitrogen capture efficiency (0.81 kg of total plant nitrogen.kg^{-1} of soil nitrogen) and nitrogen use efficiency (11.4 kg of grain.kg^{-1} of nitrogen) was observed on the November 9 sowing date and the lowest of these belonged to the November 21 sowing date. The increase in the amount of nitrogen fertilizer application decreased the nitrogen capture efficiency (64.8 %), nitrogen use efficiency (63.7 %), and nitrogen productivity (51.3 %) in the treatment of 150 kg of nitrogen application per hectare compared to the treatment of no nitrogen application.

Conclusion

The results showed that most of the investigated traits of camelina were observed in the sowing date of mid-November, and the delay in the sowing date led to a decrease in these traits. The highest nitrogen capture efficiency, nitrogen use efficiency, and nitrogen productivity were observed in the treatments with the lowest amount of nitrogen fertilizer application and the control treatments. In general, the results of this research showed that under the climatic conditions of the Kermanshah region, it is better to sow the camelina in the rain-fed fields in the middle of November, and because of the undeniable effects of using nitrogen fertilizer on improving the grain yield, but if the environmental risks of excessive use of chemical fertilizers are considered, it is better to application nitrogen fertilizer in the minimum amount the plant's needs.

Keywords: Grain protein yield, Nitrogen capture efficiency, Nitrogen harvesting index, Nitrogen use efficiency

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۴۰۲-۳۹۱

ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن در کاملینا (*Camelina sativa* L.)

فرزاد مندنی[1*]، محسن پاشایی[2] و دانیال کهریزی[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۰۶
تاریخ پذیرش: ۲۰/۰۴/۱۹

چکیده

این مطالعه به‌منظور بررسی تأثیر تاریخ کاشت و کود نیتروژن بر کارآیی جذب و مصرف نیتروژن گیاه کاملینا در شرایط مزرعه دیم تحت شرایط اقلیمی شهرستان کرمانشاه در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه رازی انجام شد. فاکتور کرت اصلی، تاریخ کاشت (سوم آبان، ۱۸ آبان و ۳۰ آبان ماه) و فاکتور کرت فرعی، سطوح کود نیتروژن (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) بود. صفات مورد ارزیابی عبارت از درصد پروتئین دانه، عملکرد پروتئین دانه، شاخص برداشت نیتروژن و کارآیی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن بودند. نتایج نشان داد که تاریخ کاشت و کود نیتروژن بر صفات مورد بررسی تأثیرگذار بودند. در تیمار حداکثر مصرف کود نسبت به شاهد، درصد و عملکرد پروتئین دانه به‌ترتیب ۳۹/۰ و ۱۲۸/۸ درصد افزایش یافتند. بیشترین میزان کارآیی جذب (۰/۸۱ کیلوگرم نیتروژن کل گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) و مصرف نیتروژن (۱۱/۴ کیلوگرم دانه بر کیلوگرم نیتروژن) مربوط به تاریخ کاشت ۱۸ آبان و کمترین آن در تاریخ کاشت ۳۰ آبان مشاهده شد. افزایش میزان مصرف کود نیتروژن باعث کاهش کارآیی جذب (۶۴/۸ درصد)، مصرف (۶۳/۷ درصد) و بهره‌وری (۵۱/۳ درصد) نیتروژن در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در مقایسه با تیمار عدم مصرف نیتروژن شد. به‌طور کلی، نتایج این مطالعه نشان داد که بازدهی صفات مورد ارزیابی در تاریخ کاشت دوم بالاتر بود و با افزایش میزان مصرف نیتروژن، بهره‌وری نیتروژن کاملینا به‌تدریج کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت نیتروژن، عملکرد پروتئین دانه، کارآیی جذب نیتروژن، کارآیی مصرف نیتروژن

مقدمه

هم‌اکنون بیش از ۹۰ درصد روغن مصرفی مورد نیاز کشور از طریق واردات از سایر کشورها تأمین می‌شود و فقط ۱۰ درصد این نیاز در داخل تولید می‌گردد. این میزان واردات روغن برای کشوری با پتانسیل و ظرفیت بالای تولید محصولات کشاورزی مناسب نیست، در این راستا به نظر می‌رسدکه باید میزان تولید دانه‌های روغنی درکشور افزایش یابد. همچنین، براساس آمار منتشره سالیانه مبلغی به میزان ۳/۳ میلیارد دلار صرف هزینه واردات نهاده‌های دامی و روغنی از سایر کشورها می‌شود (MAJ, 2019). با توجه به افزایش سریع جمعیت و تحت تأثیر قرار دادن روند رشد و توسعه جوامع بشری، بیشتر کشورهای در حال توسعه از نظر تولیدات منابع غذایی با کمبود

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشیار اکولوژی گیاهان زراعی و دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران.
۳- استاد مهندسی ژنتیک و ژنتیک مولکولی، گروه بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: f.mondani@razi.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.82003.1154

شدید مواجه هستند. از طرفی، با توجه به نیازهای غذایی انسان به انواع مواد غذایی مانند نشاسته، پروتئین و روغن، توجه زیادی به کشت گیاهان روغنی معطوف شده است (Nouriyani, 2015).

کشور ایران با میانگین بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر در سال یکی از کشورهای کمربند خشک کره زمین است، درحالی‌که میانگین بارندگی کشور کمتر از یک سوم میزان بارندگی نرمال (۷۵۰ میلی‌متر) است، فقدان بارندگی مناسب در سال‌های اخیر مشکل کشور را بیش از هر زمانی حاد کرده است. به همین دلیل، استفاده از آب‌های زیرزمینی نیز روز به روز افزایش پیدا کرده است و از طرفی، این منابع در حال افول می‌باشند (Aghakhani et al., 2013). براساس آمار جهاد کشاورزی در سال ۱۳۹۸، از مجموع ۱۲ میلیون هکتار اراضی قابل کاشت در ایران ۴۸/۲ درصد آن مربوط به اراضی دیم و ۵۱/۸ درصد آن مربوط به اراضی آبی می‌باشد (MAJ, 2019). با توجه به شرایط محیطی کشور و تغییر اقلیم پیش رو، اهمیت کشت دیم روز به روز بیشتر می‌شود، بنابراین با توجه به ظرفیت بسیار خوب دیم‌زارهای کشور برای خودکفایی در محصولات راهبردی، شناسایی پتانسیل‌های تولید دیم‌زارها امری ضروری است.

در ایران، اراضی زراعی مساعد برای کاشت گیاهان دانه روغنی وجود دارد. گیاهان رایج روغنی شامل آفتابگردان (*Helianthus annuus*)، کلزا (*Brassica napus*) و سویا (*Glycine max*) با توجه به فواید کاشت آن‌ها هرکدام دارای عیوبی نیز می‌باشند، مانند آفتابگردان و کلزا که نیاز آبی و کودی بالای دارند و همچنین، حساس به بیماری‌ها و آفات می‌باشند. بنابراین، نیاز به محصولات دانه روغنی جدید با سازگاری‌های بهتر بیشتر احساس می‌شود (Hashemi Tabaar et al., 2007). دانه‌های روغنی پس از غلات، دومین ذخایر غذایی جهان را تشکیل می‌دهند و علاوه‌بر اسیدهای چرب حاوی منابع غنی پروتئین نیز می‌باشند که می‌توان از کنجاله آن‌ها به‌منظور تغذیه دام‌ها و طیور هم استفاده کرد (Soleimanzade et al., 2013).

کاملینا (*Camelina sativa* L.) برای ایران یک گیاه دانه روغنی جدید و منحصربه‌فرد محسوب می‌شود. این گیاه روغنی جزء خانواده براسیکاسه[1] است. کاملینا یک گیاه یکساله با ساقه راست با طول ۳۰ تا ۱۲۰ سانتی‌متر است. برگ‌های باریک و نوک تیز دارد که به‌صورت متناوب روی ساقه قرار می‌گیرند. میوه‌ها از نوع خورجینک و گلابی شکل بوده که حاوی ۸ تا ۱۰ عدد دانه می‌باشد و در هنگام رسیدگی به رنگ زرد یا قهوه‌ای تغییر می‌کند (Gugel et al., 2006). روغن این گیاه به‌دلیل دارا بودن آلفا–توکوفرول‌ها و میزان ویتامین E بالا نیاز به هیچگونه افزودنی برای افزایش ماندگاری ندارد و به‌علاوه به دلیل بالا بودن اسیدهای چرب اشباع، می‌تواند به‌عنوان غذایی با کیفیت بالا در ژیم تغذیه‌ای بشر در نظر گرفته شود (Ghamkhar et al., 2018).

کاملینا دارای خواص زراعی منحصربه‌فردی است که به‌صورت پایداری احتیاجات خاک را کاهش می‌دهد و رشد علف‌های هرز را کنترل و یا آن‌ها را از بین می‌برد و مقاومت بالایی به خشکی و هجوم آفات و امراض دارد. همچنین به دماهای بالا در زمان گل‌دهی نیز مقاومت دارد که در نتیجه می‌تواند به‌عنوان یک محصول پوششی مورد استفاده قرار گیرد (Fröhlich et al., 2005). کشت این گیاه در انواع بافت خاک حتی خاک‌های سبک و شنی و خاک‌های دارای مواد مغذی پایین نیز به‌خوبی امکان‌پذیر است (Dobre & Jurcoane, 2011). همچنین دارای احتیاجات آبی بسیار کمتر و مقاومت به سرمای بهاره بیشتری نسبت به سایر گیاهان روغنی به‌خصوص کلزا دارد.

تعیین تاریخ کاشت مناسب از اولین اهداف توسعه کشت گیاهان جدید در یک منطقه است. مطالعات به‌منظور یافتن تاریخ کاشت برای هر محصول در مناطق مختلف موجب بهره‌وری بیشتر از عوامل محیطی، منابع آب و خاک و اثرات متقابل آن‌ها می‌شود. تاریخ کاشت مطلوب باعث انطباق بهتر دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با دما، طول روز و تشعشع خورشیدی متفاوت می‌گردد و به این صورت، رشدونمو گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Tabad et al., 2017). در یک پژوهش، کاشت کاملینا در ماه آوریل (فروردین ماه) عملکرد دانه را در مقایسه با تاریخ کاشت اواسط مارس (اسفند ماه) ۳۴ درصد افزایش داد (Obeng et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که تاریخ کاشت ۱۸ مارس تأثیر بسیار زیادی در بهره‌گیری بیشتر گیاه کاملینا از فاکتورهای محیطی نظیر بارندگی و درجه حرارت دارد (Neupane et al., 2020).

استفاده بهینه از کودهای شیمیایی به‌خصوص نیتروژن به‌عنوان ضروری‌ترین عنصر مورد نیاز گیاه، یکی از مهم‌ترین رویکردهای تولید به شمار می‌رود. مقدار مصرف بهینه نیتروژن به عوامل زیادی از جمله

/10.22067/agry.2023.82003.1154"
https://doi.org/10.22067/agry.2023.82003.1154

میزان نیترات موجود در خاک، زمان مصرف، مدیریت مزرعه، شرایط آب‌وهوایی، مدیریت آبیاری و کشت قبلی بستگی دارد. همچنین، به دلیل پایین بودن جذب این عنصر که به‌طور متوسط درسطح جهانی ۳۰ تا ۵۰ درصد است، هر گونه افزایش در کارآیی مصرف نیتروژن منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش سود اقتصادی می‌شود (Mirzashahi & Nourgholipour, 2020). محققین دیگر، اثر کاربرد کود نیتروژن را بر کارآیی مصرف کود و محتوای پروتئین دانه گیاه کاملینا مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که کارآیی مصرف نیتروژن با افزایش میزان نیتروژن مصرفی به‌تدریج کاهش یافت و در مقادیر مصرف بالاتر این عنصر، میزان پروتئین دانه افزایش یافت (Jankowski et al., 2019). در مطالعه‌ای گزارش شد که مصرف کود نیتروژن تا ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه گیاه کاملینا داشت که این میزان بین ژنوتیپ‌های مختلف متفاوت بود (Jiang & Caldwell, 2016). همچنین مشخص شد که مصرف کود نیتروژن منجر به بهبود عملکرد دانه و میزان پروتئین اندام‌های هوایی گیاه می‌گردد (Jarecki, 2021). بنابراین، با توجه به اهمیت خودکفایی در تولید روغن در کشور و معرفی محصولات زراعی که در شرایط اقلیم خشک اکثر نقاط کشور بتوانند بازدهی مناسبی داشته باشند، این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن گیاه کاملینا به‌عنوان یک محصول زراعی جدید در برنامه تناوب زراعی با اکثر محصولات دیم اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۹- ۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه (با عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا) انجام شد. براساس تقسیم‌بندی اقلیمی، این منطقه جزو اقلیم سرد و نیمه خشک قرار دارد. منطقه مورد نظر دارای متوسط بارندگی سالیانه ۴۴۴/۷ میلی‌متر، متوسط درجه حرارت سالیانه ۱۴/۳ درجه سانتی‌گراد و حداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق سالیانه به‌ترتیب ۴۴/۱ و ۲۷- درجه سانتی‌گراد است. آمار و اطلاعات هواشناسی به‌کار رفته در این طرح از ایستگاه هواشناسی کرمانشاه (واقع در فرودگاه شهید اشرفی اصفهانی) اخذ گردید. این ایستگاه در ۴۷ درجه و ۹ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی واقع شده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۱۹/۸ متر است (جدول ۱). قبل از اجرای آزمایش نمونه‌برداری از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک تهیه و به‌منظور تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه آب و خاک ارسال شد (جدول ۲).

جدول ۱- میانگین برخی پارامترهای هواشناسی در طی دوره رشد گیاه کاملینا

Table 1- The average of some meteorological parameters during the Camelina growing season

ماه Month	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May	خرداد June
جمع بارش Total rainfall (mm)	52.5	111.9	19.4	39.2	146.3	91.7	40	0.01
میانگین دما Average temperature (°C)	10.1	5.9	4.4	3.7	9.7	11.2	17.7	25.3
میانگین تبخیر Average evaporation (mm)	2.1	0	0	0	0	2.1	6	11.6

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2- Physical and chemical properties of the soil at the experiment site

عمق Depth (cm)	بافت خاک Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	وزن مخصوص ظاهری Bulk density (g cm^{-3})	ماده آلی Organic matter (%)	آهک CaO (mg.kg^{-1})	نیترات NO_3^- (mg.kg^{-1})	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	اسیدیته pH
0-30	لوم سیلتی Silty loam	25.2	59.4	15.4	1.08	1.1	29.5	19.9	470	11	7.3

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. عامل‌های آزمایش عبارت

بودند از تاریخ کاشت (سوم آبان ماه، ۱۸ آبان ماه و ۳۰ آبان ماه) که به‌عنوان عامل کرت اصلی و مقادیر کاربرد کود نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) که به‌عنوان عامل کرت فرعی در نظر گرفته شدند. انتخاب تاریخ کاشت براساس وقوع بارندگی مؤثر (۲۰ میلی‌متر) صورت گرفت. مصرف کود در سه مرحله (به‌صورت مصرف سرک در انتهای مرحله شش برگی، انتهای مرحله طویل شدن ساقه و ابتدای مرحله پرشدن دانه‌ها) انجام پذیرفت. نیتروژن مورد استفاده در این مطالعه از منبع کود اوره دارای ۴۶ درصد نیتروژن بود. بذر کاملینا رقم سهیل از شرکت دانش‌بنیان بیستون شفا تهیه شد. جهت آماده‌سازی زمین، شخم توسط گاوآهن انجام شد. هر کرت فرعی شامل ۱۰ ردیف کاشت به‌فاصله ۲۵ سانتی‌متر و به‌طول پنج متر بود. جهت جلوگیری از آب‌شویی نیتروژن فاصله بین کرت‌های فرعی ۱/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی نیز دو متر در نظر گرفته شد. مقدار بذر استفاده شده ۱۴/۴ کیلوگرم در هکتار و کاشت آن نیز به‌صورت دستی صورت پذیرفت و تراکم مطلوب مزرعه ۲۰۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. کنترل علف‌های هرز مزرعه به‌صورت وجین دستی و در یک مرحله صورت گرفت و در طول فصل رشد از هیچ‌گونه آفت‌کش و علف‌کشی استفاده نشده است.

برداشت در هر تاریخ کاشت با توجه به زمان رسیدگی گیاه (قهوه‌ای شدن ۹۰ درصد غلاف‌ها در خرداد ماه) صورت گرفت (Gesch et al., 2015). بدین منظور، از هر کرت پس از حذف اثر حاشیه‌ای، مساحتی به اندازه دو مترمربع (به‌صورت کف‌بر) برداشت گردید و سپس، نمونه‌ها در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت در آون قرار داده شدند. پس از خشک شدن نمونه‌ها به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه، دانه‌ها از کاه و کلش جدا گردید. به‌منظور اندازه‌گیری نیتروژن درون اندام‌های گیاه از روش کجلدال استفاده شد (Kjeldahl, 1883). سپس، به‌منظور محاسبه کارآیی جذب (NUpE[۱])، کارآیی مصرف (NUtE[۲])، بهره‌وری (NUE[۳]) و شاخص برداشت نیتروژن (NHI[۴]) از معادله‌های زیر استفاده شد (Huggins & Pan, 1993):

معادله (۱)

$$NUpE = AN\ (kg.ha^{-1}) / TN\ (kg.h^{-1})$$

معادله (۲)

$$NUtE = GY\ (kgha^{-1}) / AN\ (kg.ha^{-1})$$

معادله (۳)

$$NUE = NNpe \times NUtE$$

معادله (۴)

$$NHI = Ng / TN$$

که در آن‌ها، AN: نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN: کل نیتروژن فراهم خاک و مصرف شده، Ng: نیتروژن جذب شده در دانه و GY: عملکرد دانه کاملینا است. در انتها، داده‌ها با استفاده از برنامه SAS نسخه ۹/۴ تجزیه‌وتحلیل شدند. اطلاعات مستخرج از آزمایش به‌وسیله آنالیز واریانس (ANOVA) تحلیل و میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد از نظر آماری مقایسه شده‌اند، همچنین برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel نسخه ۲۰۱۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

درصد پروتئین دانه

نتایج این بررسی نشان داد که اثر تاریخ کاشت، کاربرد کود نیتروژن و برهم‌کنش آن‌ها بر درصد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین پروتئین دانه متعلق به تاریخ کاشت دوم و تیمار ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌میزان ۳۱/۰ درصد و کمترین آن متعلق به تاریخ کاشت سوم و مصرف ۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌میزان ۱۵/۹ درصد بود (شکل ۱).

به نظر می‌رسد که کاربرد کود نیتروژن تأثیر قابل توجهی بر میزان نیتروژن موجود در اندام‌های هوایی گیاه داشته باشد، زیرا در شرایطی که میزان نیتروژن قابل جذب خاک در محدوده فراهم و مطلوب باشد، اکثر گیاهان زراعی در این شرایط بدون هیچ محدودیتی اقدام به جذب نیتروژن می‌کنند. در تحقیقی دیگر گزارش شد که کود نیتروژن اثر معنی‌داری بر مقدار پروتئین دانه دارد و با افزایش میزان کود تا۱۶۰ کیلوگرم در هکتار درصد پروتئین به‌میزان حدود نه درصد افزایش یافت (Jankowski et al., 2019).

023.82003.1154"
https://doi.org/10.22067/agry.2023.82003.1154
org/10.22067/agry.2023.82003.1154

Nitrogen productivity
۴- Nitrogen harvest index

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مرتبط با کارآیی مصرف نیتروژن کاملینا

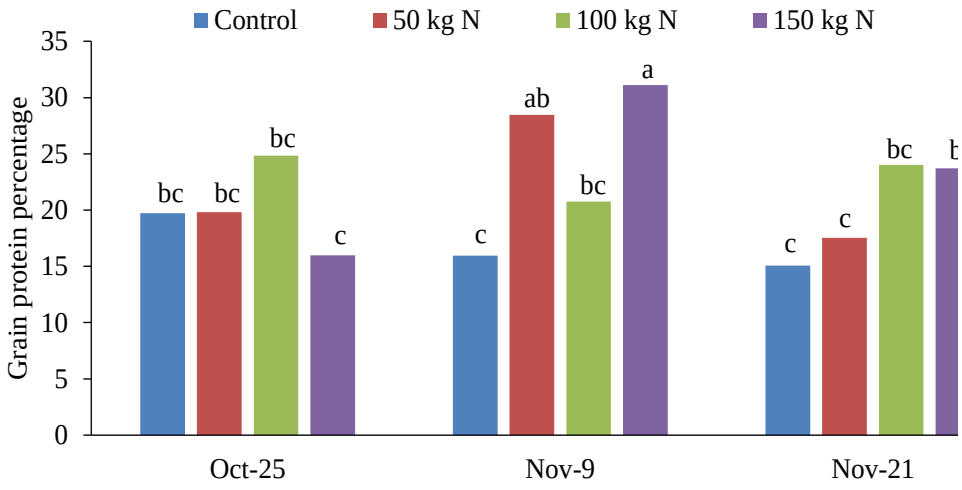
Table 3- Analysis of variance of the measured characteristics related to the nitrogen use efficiency in Camelina

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares					
		درصد پروتئین دانه Grain protein percentage	عملکرد پروتئین دانه Grain protein yield	شاخص برداشت نیتروژن N Nitrogen harvest index	کارآیی جذب نیتروژن Nitrogen capture efficiency	کارآیی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	بهره‌وری نیتروژن Nitrogen productivity
تکرار Replication (R)	2	16.3^{ns}	2101.4^{ns}	31.1^{ns}	0.181^{ns}	6.5^{ns}	12.3^{ns}
تاریخ کاشت Sowing date (S)	2	63.7*	20347.5**	457.8*	0.417*	75.1*	5.2^{ns}
R × S	4	1.4^{ns}	3690.8^{ns}	151.6^{ns}	0.142^{ns}	46.4^{ns}	14.9^{ns}
نیتروژن N (N)	3	85.5**	9710.2*	157.3^{ns}	0.569**	168.1***	54.3**
N × S	6	80***	8295*	230.1^{ns}	0.102^{ns}	30.5^{ns}	9^{ns}
خطا Error	18	0.309	2264.2	97.9	0.080	16.3	7.7
ضریب تغییرات CV (%)		15.5	35	23.5	35	36	21.9

ns، * و **: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the probability level of $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively.

همچنین مشخص شد که تاریخ کاشت اثر معنی‌داری بر مقدار پروتئین دارد و در تاریخ‌های کاشت تأخیری به‌دلیل هم‌زمان شدن مراحل انتهایی رشد با درجه حرارت‌های بالا انتهای فصل رشد، سرعت پر شدن دانه‌ها افزایش می‌یابد و میزان ترکیبات پروتئینی نسبت به روغن افزایش می‌یابند (Neupane et al., 2020). محققین دیگر نیز بیان نمود که با عبور از تاریخ‌های کاشت اولیه (۱۰ شهریور تا ۲۰ مهر) درصد پروتئین دانه گیاه کلزا به‌میزان ۲۵ درصد افزایش یافت که به‌دلیل برخورد مراحل انتهایی رشد با دماهای بالا بود (Fallah Heki et al., 2011).



شکل ۱- اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر درصد پروتئین دانه کاملینا

Fig. 1- The effect of sowing date and application of nitrogen fertilizer on camellia grain protein percentage

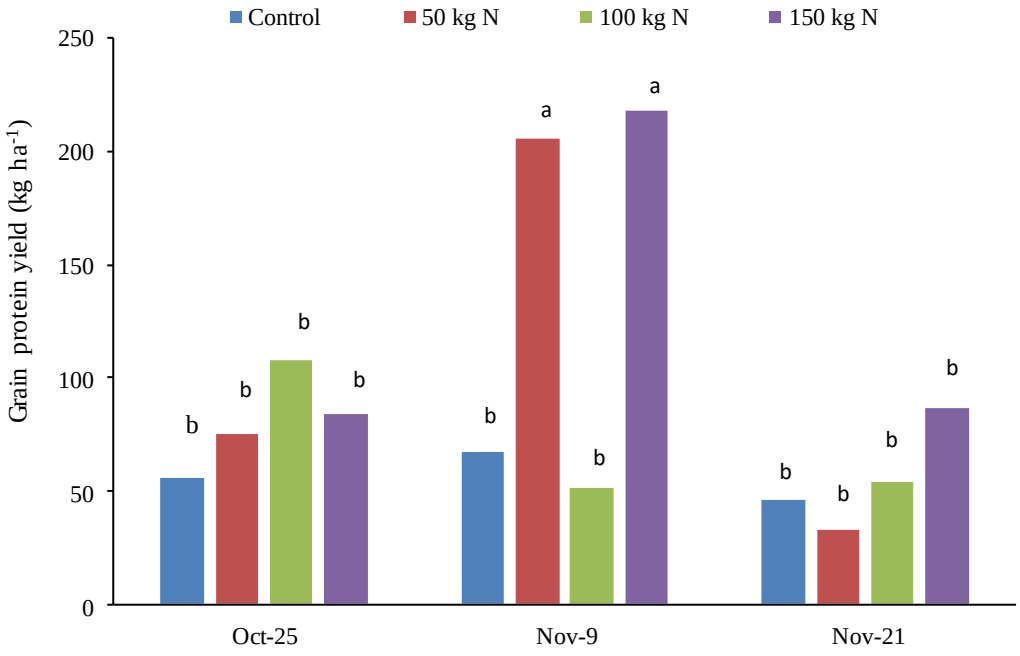
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار ندارند (p≤0.05)

Means followed by the seme latter, are not significantly different (p≤0.05).

عملکرد پروتئین دانه

اثر تاریخ کاشت، مصرف کود و برهم‌کنش آن‌ها بر عملکرد پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان عملکرد پروتئین دانه متعلق به تاریخ کاشت دوم و کاربرد ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار (۲۱۷/۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن متعلق به تاریخ کاشت سوم و مصرف ۱۰۰ کیلوگرم کود در هکتار (۳۲/۰ کیلوگرم در هکتار) بود (شکل ۲). با فاصله گرفتن از تاریخ کاشت مطلوب، درصد پروتئین دانه کاهش یافت. به نظر می‌رسد که دلیل این موضوع مطلوب‌تر بودن شرایط آب‌وهوایی در مرحله رشد زایشی گیاه در تاریخ کاشت دوم در مقایسه با تاریخ‌های کاشت دیگر باشد، به‌علاوه در تاریخ کاشت ۱۸ آبان، عملکرد دانه نیز بیشتر بود (نتایج گزارش نشده است) که منجر به بهبود عملکرد پروتئین دانه در واحد سطح شد.

عملکرد پروتئین دانه با دور شدن از تاریخ‌های کاشت مطلوب کاهش پیدا می‌کند که به نظر می‌رسد، علت آن تفاوت در عملکرد دانه در بین تاریخ‌های کاشت باشد، به این صورت که در تاریخ‌های کاشت اولیه تعداد دانه در خورجین، وزن هزار دانه و تعداد غلاف‌ها نسبت به تاریخ‌های کاشت دیرتر، بیشتر می‌باشد (Valipour et al., 2010). محققین دیگر نیز بیان کردند که اثر تاریخ کاشت بر عملکرد پروتئین در گیاه کاملینا متفاوت و وابسته به تنوع محیط است (Obeng et al., 2019). در تحقیقی دیگر نیز گزارش شده است که کاربرد کود نیتروژن در کاشت گیاه کاملینا اثر معنی‌داری بر میزان عملکرد پروتئین دانه دارد و با افزایش میزان کاربرد کود تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار پروتئین نیز افزایش یافت (Jarecki, 2021).



شکل ۲- اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر عملکرد پروتئین دانه کاملینا

Fig. 2- The effect of sowing date and application of nitrogen fertilizer on camellia grain protein yield

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌دار ندارند ($p\leq0.05$)

Means followed by the seme latter, are not significantly different ($p\leq0.05$)

جدول ٤- اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده مرتبط با کارآیی مصرف نیتروژن کاملینا

Table 4- The effect of sowing date and application of nitrogen fertilizer on the measured characteristics related to the nitrogen use efficiency in Camelina

		درصد پروتئین دانه Grain protein percentage (%)	عملکرد پروتئین دانه Grain protein yield (kg ha^{-1})	شاخص برداشت نیتروژن Nitrogen harvest index (%)	کارآیی جذب نیتروژن Nitrogen uptake efficiency (kg kg^{-1})	کارآیی مصرف نیتروژن Nitrogen utilization efficiency (kg kg^{-1})	بهره‌وری نیتروژن N Nitrogen productivity (kg N absorb^{-1})
تاریخ کاشت Sowing date	سوم آبان October 25	20.08^{b}	80.4^{ab}	39.4^{b}	0.59^{b}	7.8^{b}	12.2^{a}
	۱۸ آبان November 9	24.07^{a}	135.4^{a}	49^{a}	0.81^{a}	11.4^{a}	13.4^{a}
	۳۰ آبان November 25	20.07^{b}	54.8^{b}	37.4^{b}	0.44^{c}	6.6^{b}	12.3^{a}
کود نیتروژن N fertilizer	شاهد Control	16.9^{b}	56.5^{b}	42.8^{a}	0.91^{a}	14.5^{a}	15.8^{a}
	50 kg	21.9^{a}	104.2^{ab}	38.1^{a}	0.69^{ab}	9.3^{b}	13.5^{ab}
	100 kg	23.2^{a}	70.9^{b}	47.5^{a}	0.53^{c}	5^{c}	10.8^{c}
	150 kg	23.5^{a}	129.3^{a}	39.5^{a}	0.32^{d}	5.8^{c}	10.6^{c}

* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حرف مشترک هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف معنی‌دار نمی‌باشند.

* According to Duncan's test, the means with similar letters in each column are not significantly different at the probability level of $p\leq0.05$.

شاخص برداشت نیتروژن

نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر شاخص برداشت نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳)، به نحوی که بیشترین شاخص برداشت نیتروژن (۴۹/۱ درصد) متعلق به تاریخ کاشت دوم و کمترین آن (۳۷/۴ درصد) در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد (جدول ۴). نتایج این بررسی همچنین نشان داد که مصرف کود نیتروژن و برهم‌کنش مصرف کود نیتروژن و تاریخ کاشت بر شاخص برداشت نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۳). در مطالعه‌ای دیگر مشخص شد که شاخص برداشت نیتروژن تحت تأثیر کاربرد کود نیتروژن قرار نگرفت (Valipour et al., 2010).

کارآیی جذب نیتروژن

اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر کارآیی جذب نیتروژن معنی‌دار بود، با این وجود اثر برهم‌کنش آن‌ها بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین میزان کارآیی جذب نیتروژن (۰/۸۱کیلوگرم نیتروژن کل گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) مربوط به تاریخ کاشت دوم و کمترین آن (۰/۴۴ کیلوگرم نیتروژن کل گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین میزان کارآیی جذب نیتروژن (۰/۹۱ کیلوگرم نیتروژن کل گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) مربوط به شرایط عدم مصرف نیتروژن و کمترین آن (۰/۳۲ کیلوگرم نیتروژن کل گیاه بر کیلوگرم نیتروژن خاک) متعلق به تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار بود (جدول ۴). در شرایطی که محتوای نیتروژن خاک پایین باشد، اکثر گیاهان اقدام به جذب حداکثر نیتروژن از خاک کنند، ولی با افزایش میزان نیتروژن خاک ارتباط غیر مستقیمی بین میزان جذب نیتروژن و محتوی نیتروژن خاک شکل می‌گیرد که این موضوع سبب کاهش کارآیی جذب نیتروژن کاملینا در تیمارهای کاربرد بالاتر نیتروژن شد. محققین دیگر نیز بیان کردند که کارآیی جذب نیتروژن تحت اثر کاربرد کود نیتروژن کاهش یافت (Fallah Heki et al., 2011; Daneshmand et al., 2007). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که مقادیر متفاوت کود نیتروژن بر کارآیی جذب نیتروژن گیاه کلزا اثر معنی‌داری داشت و با افزایش میزان مصرف کود کارآیی جذب نیتروژن نیز کاهش یافت (Seyyedi et al., 2013). گزارش شده است که در سطوح بالای کاربرد نیتروژن، نیتروژن تجمع یافته

در اندام‌ها هم‌راستا با مصرف آن نیست، در مقابل وجود برخی خصوصیات زراعی و ژنتیکی گیاه می‌تواند تفاوت موجود در کارآیی جذب نیتروژن را توجیه کند (Hosseini et al., 2013). همچنین گزارش شده است که اکثر محصولات زراعی در شرایط کاربرد نیتروژن بالا، مقدار قابل توجهی از نیتروژن مصرف شده در خاک را جذب نکرده و به عبارتی از دست می‌دهند که منجر به کاهش کارآیی جذب نیتروژن می‌شود (Daneshmand et al., 2007).

کارآیی مصرف نیتروژن

نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت و کاربرد کود نیتروژن بر کارآیی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود، ولی برهم‌کنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۳). بیشترین کارآیی مصرف نیتروژن (۱۱/۴ کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن) مربوط به تیمار تاریخ کشت دوم و کمترین آن (۶/۶ کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن) مربوط به تاریخ کاشت سوم بود (جدول ۴). بیشترین میزان کارآیی مصرف نیتروژن (۱۴/۵ کیلوگرم دانه برکیلوگرم نیتروژن) متعلق به تیمار عدم مصرف کود نیتروژن و کمترین آن نیز در تیمارهای کاربرد ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم کود در هکتار مشاهده شد (جدول ۴). همان‌گونه که نتایج این بررسی نشان داد، بیشترین کارآیی جذب نیتروژن متعلق به تیمار عدم کاربرد این کود بود و با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارآیی جذب نیتروژن نیز کاهش یافت. کارآیی جذب نیتروژن به نحوی نشان‌دهنده میزان نیتروژن جذب شده توسط ریشه‌ها و تجمع یافته در اندام‌های مختلف گیاه می‌باشد که در ادامه گیاه از نیتروژن موجود در بافت‌های خود به کمک فرایند فتوسنتز ماده خشک تولید می‌کند. یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعه کارآیی جذب نیتروژن بررسی ارتباط بین تولید ماده خشک توسط گیاه و وضعیت جذب و مصرف نیتروژن است. به نظر می‌رسد که مقدار کارآیی جذب نیتروژن تابعی از میزان تولید وزن خشک توسط گیاه باشد، به‌طوری‌که با افزایش وزن گیاه، کمیت کارایی مصرف نیتروژن نیز بهبود می‌یابد. از دیگر دلایل کاهش کارآیی مصرف نیتروژن در شرایط مصرف بالاتر این عنصر، عدم وجود رابطه خطی بین کود مصرفی و افزایش عملکرد دانه می‌باشد، زیرا مطابق با قانون بازده نزولی میچرلیخ با افزایش مقدار کاربرد کود، عملکرد به همان نسبت افزایش می‌یابد (Sarmadnia & Koocheki, 1999). در تحقیقی دیگر مشخص شد که کارآیی مصرف نیتروژن تحت تأثیر کود نیتروژن قرار گرفت و با افزایش میزان مصرف کود، این ویژگی کاهش یافت (Wysocki et al., 2013). همچنین گزارش شده است که کارآیی مصرف نیتروژن در گیاه کاملینا با افزایش میزان کاربرد کود مصرفی (۱۳۰- ۱۶۰ کود در هکتار) روند کاهشی در پیش گرفت (Jankowski et al., 2019). در مطالعه‌ای دیگر گزارش شد که با افزایش میزان کود تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار برای گندم زمستانه میزان کارآیی مصرف نیتروژن کاهش یافت (Valipour et al., 2010).

بهره‌وری نیتروژن

اثر تاریخ کاشت و برهم‌کنش تاریخ کاشت و مقدار کاربرد کود نیتروژن بر بهره‌وری نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۳). کود نیتروژن اثر معنی‌داری بر بهره‌وری نیتروژن در گیاه کاملینا داشت (جدول ۳)، به نحوی که بیشترین میزان آن (۱۵/۸کیلوگرم عملکرد دانه بر کیلوگرم نیتروژن) متعلق به تیمار عدم مصرف کود و کمترین آن (۱۰/۶ کیلوگرم عملکرد دانه بر کیلوگرم نیتروژن) در تیمار مصرف ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار مشاهده شد که البته از این نظر این تیمار تفاوت معنی‌داری با تیمار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن نداشت (جدول ۴). واکنش بهره‌وری نیتروژن کاملینا نسبت به مصرف کود نیتروژن شبیه به کارایی جذب و مصرف نیتروژن بود، به گونه‌ای که با افزایش مصرف نیتروژن کارایی جذب و مصرف نیتروژن کاهش نمود. از آنجایی‌که بهره‌وری نیتروژن از طریق حاصل‌ضرب کارآیی جذب نیتروژن در کارآیی مصرف فیزولوژیک نیتروژن به‌دست می‌آید و به نحوی بیانگر این مطلب است که به‌ازای میزان نیتروژن مصرف شده و فرآهم در خاک چه میزان ماده خشک توسط گیاه تولید شده است، لذا با توجه به نتایج صفات مؤثر بر محاسبه این صفت این نتیجه دور از ذهن نبود. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد که میزان کاربرد کود نیتروژن به‌شکل معنی‌داری بر بهره‌وری نیتروژن گندم اثر داشت و با افزایش کاربرد نیتروژن تا ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار بهره‌وری نیتروژن گیاه را کاهش یافت (Hosseini et al., 2013). همچنین بیان شده است که مقدار مصرف نیتروژن در گیاه عدس (۴۰ کیلوگرم در هکتار) بر کارآیی بهره‌وری تأثیر معکوسی گذاشت (Bannayan et al., 2019).

نتیجه‌گیری

در این آزمایش، تأثیر سه تاریخ کاشت و چهار تیمار کود نیتروژن در شرایط دیم بر پروتئین دانه و صفات مرتبط با کارآیی کود نیتروژن (کارآیی جذب، مصرف، بهره‌وری و شاخص برداشت نیتروژن) گیاه دانه روغنی کاملینا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیشتر مقدار صفات مورد بررسی کاملینا در تاریخ کاشت اواسط آبان ماه مشاهده شد و تأخیر در کاشت موجب کاهش میزان این صفات شد. با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن درصد و عملکرد پروتئین دانه بهبود یافت. بیشترین میزان کارآیی جذب، مصرف و بهره‌وری نیتروژن در تیمارهایی با کمترین مقدار کود و شاهد مشاهده شد. به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان داد که تحت شرایط آب‌وهوایی شهرستان کرمانشاه بهتر است گیاه کاملینا در اواسط آبان ماه در دیم‌زارها کاشته شود و علی‌رغم اثرات غیرقابل انکار مصرف کود نیتروژن بر بهبود عملکرد دانه گیاه، ولی در صورت در نظر گرفتن مخاطرات زیست‌محیطی مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی، بهتر است در صورت امکان مصرف کود نیتروژن در حد نیاز گیاه و در حداقل میزان صورت گیرد.

References

1. Aghakhani, A., Feizi, M., Solhi, M., & Ramezani, M. (2013). Water desalination for agriculture, necessity, importance and limitations. *Land Management Journal*, *1*, 17-31.
2. Bannayan, M., Yaghoubi, F., Rashidi, Z., & Bardehji, S. (2019). Effect of different nitrogen levels on yield components, yield and nitrogen use efficiency of two lentil cultivars in rainfed conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, *10*(1), 155-170. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.59699
3. Daneshmand, A.R., Shiranirad, Nourmohammadi, A.H., Zareei, G., & Daneshian, J. (2007). Effect of water stress and different levels of nitrogen fertilizer on seed yield and its components, nitrogen uptake and water use and nitrogen utility efficiency in two rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, *8*, 323-342. (In Persian with English abstract)
4. Dobre, P., & Jurcoane, S. (2011). Camelina crop-opportunities for a sustainable agriculture. Scientific Papers-Series A, *Agronomy*, *54*, 420-424.
5. Fallah, H.M.H., Yadavi, M.H., A.R., Movahhedi Dehnavi, M., & Balouchi, H.R. (2011). Evaluation of oil, protein and grain yield of canola cultivars in different planting date in yasouj region. *Electronic Journal of Crop Production*, *4*(2), 207-222. (In Persian with English abstract)
6. Fröhlich, A., & Rice, B. (2005). Evaluation of *Camelina sativa* oil as a feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 21(1), 25-31.
7. Ghamkhar, K., Croser, J., Aryamanesh, N., Campbell, M., Kon'kova, N., & Francis, C. (2019). Camelina (*Camelina sativa* L.) as an alternative oilseed: molecular and ecogeographic analysis. *Genome*, *53*(7), 558-567.
8. Gesch, R.W., & Johnson, J.M.F. (2015). Water use in camelina? Soybean dual croppingsystems. *Agronomy Journal*, 107, 1098-1104.
9. Gugel, R.K., & Falk, G.K.C. (2006). Agronomic and seed quality evaluation of *Camelina sativa* in western Canada. *Canadian Journal of Plant Science*, 86, 1047-1058.
10. Hashemi Tabaar, M., Akbari, A., & Karim, M.H. (2007). Study of agriculture-industry interactions in Iran's economy: A case study of oilseeds. *Journal of Agricultural Sciences and Industries*, *21*(2), 3-10. (In Persian with English abstract)
11. Hosseini, R.S., Galeshi, A., Kalateh, M., & Zahed, M. (2013). The effect of nitrogen rate on nitrogen use efficiency index in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *11*(2), 300-306. (In Persian with English abstract)
12. Huggins, D.R., & Pan, W.L. (1993). Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*, *85*(4), 898-905. https://doi.org/10.2134/agronj1993.00021962008500040022x
13. Jankowski, K.J., Sokolski, M., & Kordan, B. (2019). Camelina: Yield and quality response to nitrogen and sulfur fertilization in Poland. *Industrial Crops and Products*, *141*, 111776. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111776
14. Jarecki, W. (2021). Reaction of camelina (*Camelina sativa* (L.) Crantz) to different foliar fertilization. *Agronomy*, *11*(1), 185. https://doi.org/10.3390/agronomy11010185
15. Jiang, Y., & Caldwell, C.D. (2016). Effect of nitrogen fertilization on camelina seed yield, yield components, and

downy mildew infection. *Canadian Journal of Plant Science*, *96*(1), 17-26. https://doi.org/10.1139/cjps-2014-0348

16. Kjeldahl, J. (1883). A new method for the estimation of nitrogen in organic compounds. *Fresenius' Zeitschrift für Analytische Chemie*, *22*(1), 366-382. https://doi.org/10.1007/BF01338151
17. Mirzashahi, K., & Nourgholipour, F. (2020). Investigation of rate and method of nitrogen application on nitrogen use efficiency and seed yield of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Crop Physiology Journal*, *12*(47), 45-63. (In Persian with English abstract). http://cpj.ahvaz.iau.ir/article-1-1345-fa.html
18. Neupane, D., Solomon, J.K., Mclennon, E., Davison, J., & Lawry, T. (2020). Camelina production parameters response to different irrigation regimes. *Industrial Crops and Products*, *148*, 112286. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112286
19. Nouriyani, H. (2015). Effect of different nitrogen levels on yield, yield components and some quality characteristics of two cultivars of rapeseed (*Brassica napus* L.). *Isfahan University of Technology- Journal of Crop Production and Processing*, *5*(16), 233-241. http://jcpp.iut.ac.ir/article-1-2376-fa.html. (In Persian)
20. Obeng, E., Obour, A.K., Nelson, N.O., Moreno, J.A., Ciampitti, I.A., Wang, D., & Durrett, T.P. (2019). Seed yield and oil quality as affected by *Camelina* cultivar and planting date. *Journal of Crop Improvement*, *33*(2), 202-222. https://doi.org/10.1080/15427528.2019.1566186
21. Sarmadnia, G., & Koocheki, A. (1999). *Physiology of Crop Plants*. Academic Jihad (Mashhad University), Iran. p. 400.
22. Seyyedi, S.M., Ghorbani, R., Rezvani Moghaddam, P., & Nassiri Mahallati, M. (2013). Nitrogen use efficiency and harvest index in black seed (*Nigella sativa* L.) at different weed competition durations. *Journal of Plant Production (Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources)*, *20*(1), 141-155. (In Persian with English abstract)
23. Soleimanzade, H., Khaliliaqdam, N., & Mir Mahmudi, T. (2013). Effects of nitrogen fertilizer on yield and agronomical traits of safflower varieties in Moghan region. *Journal of Research in Crop Sciences*, *5*(19), 29-40. (In Persian with English abstract)
24. Ministry of Agriculture Jihad (MAJ). (2019). *Jihad Agriculture Organization of Kermanshah Province*. Retrieved from http://sjkob.ir/amalkard/1/amarnamehj1-98-99-sh.pdf. (In Persian)
25. Tabad, M.A., Ayobnejadegan Jerm, B., Kohnepooshi, Z., & Asadi Gakieh, M. (2017). Effect of spring planting date on morpho-physiological traits of safflower genotypes in Kermanshah, Iran. *Agroecology Journal*, *12*(4), 27-37. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22034/aej.2017.528659
26. Valipour, A., Bandehhagh, A., & Fateh Esfandiary, S. (2010). Effect of planting date and different N-P-K ratios on grain yield and nitrogen use efficiency in wheat under Ahvaz weather conditions. *Plant Productions*, *33*(1), 33-47. (In Persian with English abstract). https://journals.scu.ac.ir/article_12217_d23029862b2482dccf9fb99ace668b99.pdf
27. Wysocki, D.J., Chastain, T.G., Schillinger, W.F., Guy, S.O., Karow, R.S. (2013). Camelina: Seed yield response to applied nitrogen and sulfur. *Field Crops Research*, *145*, 60-66. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.02.009

Journal of Agroecology
Homepage: http://agry.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No. 2, 2024, p. 403-420

Estimating the Yield Gap of Irrigated Wheat(*Triticum aestivum* L.) in Lorestan Province, Iran, the Modeling Approach

Kourosh Heidari[1], Mashallah Daneshvar[2*], Sajjad Rahimi-Moghaddam[2] and Aliheidar Nasrollahi[3]

1 and 2- Ph.D. Student and Assistant Professor, Department of Production Engineering and Plant Genetic, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran, respectively.
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Khorramabad, Iran.
(*- Corresponding author's Email: daneshvar.m@lu.ac.ir)

Received: 23-02-2023
Revised: 29-05-2023
Accepted: 06-06-2023
Available Online: 06-06-2023

How to cite this article:
Heidari, K., Daneshvar, M., Rahimi-Moghaddam, S., & Nasrollahi A. (2024). Estimating the yield gap of irrigated wheat in Lorestan province, Iran, using the modeling approach. *Journal of Agroecology*, *16*(2), 403-420. (In Persian with English abstract).
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81319.1148

Introduction

Removing the gap between the yield that is currently obtained by farmers and the yield that can be obtained by using the best water, soil, and crop management practices (yield gap) is the key solution to overcoming the nutritional challenge of the growing world population. Wheat has played an important role in the economy and food security of the world over the history. Considering the importance of the wheat crop in food security and human feeding, as well as the importance of Lorestan province in producing wheat crop in Iran, the current research was carried out using the modeling method in order to estimate the yield gap of irrigated wheat agro-ecosystems of Lorestan province.

Materials and Methods

The current research was conducted in 6 locations in Lorestan province, Iran (Aleshtar, Aligudarz, Borujerd, Khorramabad, Kuhdasht, and Pol-e Dokhtar). To evaluate the APSIM-wheat model for the Chamran cultivar, some independent field experiments were used under different treatments, including planting date, irrigation, and nitrogen regimes. nRMSE, d-index, and MBE indices were used to evaluate the crop model. Then, the management, soil, and climate data of the studied locations were collected. To find the most optimal sowing date, an initial simulation experiment set was performed. After obtaining the optimal sowing date for different locations, the attainable yield (85% of the potential yield) was simulated. Finally, from the difference between attainable yield and actual yield, the total yield gap for the locations was obtained. Also, the contribution of different management practices, including nitrogen, irrigation, and other reducing and limiting factors, was calculated from the total yield gap. In the current research, OriginPro software was used for all statistical analysis and drawing of figures.

Results and Discussion

The results of the model calibration showed that the APSIM-wheat model was able to simulate the days to flowing, biomass, and grain yield accurately. The normalized root mean square error for days to flowering, biomass, and grain yield was 5.13, 5.29, and 7.87%, respectively. The model validation results of the model also showed that the model simulates the grain yield well (10.3%). In the initial simulation, the best production potential (8433 kg ha^{-1}) was related to the October 15 sowing date. Attainable, water-limited, and nitrogen-limited yields were equal to 7179.2, 6302.7, and 4212.5 kg ha^{-1} in Lorestan province. Across different locations, the water-limited yield ranged from 1.4722 to 2.7448 kg ha$^{-1,}$ followed by attainable yield (from 6537.5 to 7982.7 kg ha^{-1}) and nitrogen-limited (from 2.2 3850 to 4414.5 kg ha^{-1}). The total yield gap of irrigated wheat in Lorestan province was equal to 4177.5 kg ha^{-1}. The results also showed that, in general, throughout the studied locations and years, the contribution of nitrogen, water, and other reducing and limiting factors in Lorestan

province was equal to 69, 22, and 10% of the total yield gap. There were many changes among different locations in terms of the total yield gap in Lorestan province so it varied from 2661.8 kg ha^{-1} (Pol-e Dokhtar) to 5608.4 kg ha^{-1} (Aligudarz). In terms of yield gap due to water limitation, the highest amount was related to Pol-e Dokhtar (31%), and the lowest value was related to Khorramabad city (14%). For the yield gap caused by nitrogen limitation, Aligudarz had the largest share (77%), while the lowest share of this limitation was obtained for Khorramabad (59%). The maximum share of the yield gap caused by other limiting and reducing factors was also recorded in Khorramabad (27%), while its lowest value was calculated in Aligudarz and Aleshtar (without restrictions).

Conclusion

In general, the total yield gap of irrigated wheat in agro-ecosystems of Lorestan province is equal to 59%. Also, the results revealed that the largest share of the total yield gap is related to the lack of optimal application of nitrogen management (time of nitrogen application), and if the optimal management of nitrogen fertilizer is applied, the total yield gap will be significantly reduced at all studied locations in Lorestan province.

Keywords: APSIM-wheat model, Calibration and validation, Water and nitrogen management, Yield reducing and limiting factors

نشریه بوم شناسی کشاورزی
Homepage: http://agry.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۴۲۰-۴۰۳

برآورد خلأ عملکرد گندم آبی(*Triticum aestivum L.*) استان لرستان با استفاده از روش مدلسازی

کوروش حیدری[۱]، ماشااله دانشور[۲*]، سجاد رحیمی مقدم[۲] و علی‌حیدر نصرالهی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۴
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

چکیده

این مطالعه در شش منطقه الشتر، الیگودرز، بروجرد، خرم آباد، کوهدشت و پلدختر جهت برآورد خلأ عملکرد گندم آبی(*Triticum aestivum L.*) در بوم‌نظام‌های زراعی استان لرستان به انجام رسید. به منظور شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل، آب محدود و نیتروژن محدود گندم آبی از مدل APSIM-wheat استفاده شد. بدین منظور داده‌های مربوط به مدیریت، خاک، آب و هوا و گیاه از منابع مختلف مطالعه جمع آوری شد. مدل گیاهی قبل از استفاده، تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به عملکرد واقعی نیز از ادارات جهاد کشاورزی هر شهرستان و استان به دست آمد. نتایج نشان داد که خلأ عملکرد کل در گندم آبی استان لرستان برابر با ۴۱۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار می باشد. همچنین، در سراسر مناطق و سال‌های مورد بررسی سهم خلأ عملکرد مربوط مدیریت نیتروژن، آب و سایر عوامل کاهنده و محدود کننده عملکرد در سطح استان لرستان برابر با ۶۸، ۲۲ و ۱۰ درصد خلأ عملکرد کل بود. تغییرات زیادی در بین مناطق مختلف از لحاظ خلأ کل در سطح استان لرستان وجود داشت به طوری که از ۲۶۶۱/۸ کیلوگرم در هکتار در پلدختر تا ۵۶۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار در الیگودرز متغیر بود. در حال حاضر خلاء عملکرد کل گندم آبی در بوم‌نظام‌های زراعی استان لرستان برابر با ۵۹ درصد می‌باشد. بیشترین سهم خلأ عملکرد کل مربوط به عدم مدیریت بهینه (زمان مصرف) کود نیتروژن می‌باشد که در صورت به کارگیری مدیریت بهینه کود نیتروژن خلأ عملکرد کل در سطح همه مناطق مورد بررسی در استان لرستان به طور قابل توجهی کاهش خواهد پیدا کرد.

کلمات کلیدی: عوامل کاهنده عملکرد، عوامل محدود کننده عملکرد، مدل APSIM-wheat، مدیریت آب، مدیریت نیتروژن، اعتبار سنجی

مقدمه

براساس گزارش سازمان ملل متحد پیش‌بینی شده است که در سال ۲۰۲۵ جمعیت هفت میلیارد نفری حاضر از مرز هشت میلیارد نفر خواهد گذشت، بدون اینکه تولید موادغذایی در کشورهایی که با رشد جمعیت مواجه‌اند افزایش یابد. از سوی دیگر، افزایش قیمت‌های موادغذایی به ویژه بعد از سال ۲۰۰۶ منجر به تشدید ناامنی غذایی در جهان گردید. در سال ۲۰۰۷، نزدیک به ۷۵ میلیون نفر بر تعداد گرسنگان جهان افزوده شد و تعدادشان به ۹۲۳ میلیون نفر رسید (Sarlio-Lahteenkorva & Lahelma, 2008). بعد از انقلاب سبز و تحولات صورت گرفته در علم کشاورزی که منجر به افزایش عملکرد گندم در واحد سطح در مزارع کشاورزان گردید، عوامل متعددی سیر صعودی عملکرد را به حالت سکون تبدیل کرد و یا با کاهش آن، محدودیت‌هایی را به وجود آورد (Lobell et al., 2009).

۱ و ۲- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
۳- استادیار گروه علوم آب، دانشکده کشاورزی ، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: daneshvar.m@lu.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/agry.2023.81319.1148

ظرفیت نهایی تولید غذا در جهان بر اثر محدودیت مساحت زمین های مناسب و منابع آب در دسترس جهت تولید محصولات زراعی و همچنین محدودیت‌های بیوفیزیکی مربوط به رشد گیاهان زراعی، محدود می‌شود. کمی‌سازی ظرفیت تولید در واحد سطح مزارع فعلی جهت تحقیقات توسعه و سرمایه‌گذاری و همچنین جهت کمک به کشاورزان منطقه در اتخاذ تصمیم‌های مناسب زراعی ضروری است (van Ittersum et al., 2013). از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع بدست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به وسیله‌ی استفاده از بهترین ار قام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه بدست آید (خلأ عملکرد) راهکار کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است (Hochman et al., 2013). آنالیز خلأ عملکرد[1] گیاهان زراعی یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه را فراهم می آورد، که یک جزء مهم در طراحی راهبردی تامین غذا در مقیاس منطقه ای، ملی و جهانی است (van Wart et al., 2013). باتوجه به افزایش نگرانی‌ها درخصوص امنیت غذایی در سال‌های اخیر، انجام مطالعات در زمینه خلأ عملکرد امری ضروری است. به منظور افزایش تولید و کارایی مصرف انرژی به‌ویژه در کشورهای که هنوز در زمینه تولید گیاهان زراعی خلأ عملکردی زیادی دارند، نیاز است که آنالیز خلأ عملکرد انجام و دلایل محدودکننده آن شناسایی شوند. روش-های متفاوتی از جمله استفاده از روش‌های آماری، استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدلسازی بررسی آنالیز خلأ عملکرد گیاهان زراعی وجود دارد. با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به راحتی اثرات مدیریت کشاورزی را بر روی بهره‌وری محصولات زراعی در یک محیط محاسبه نمود (Brisson et al., 2003; Deihimfard et al., 2015). این ابزارها همچنین جهت انتخاب گیاه و رقم مناسب برای یک منطقه، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تنوع و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه مورد استفاده قرار می‌گیرند. مدل‌های گیاهی می‌توانند رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی را به صورت بلند مدت شبیه‌سازی کنند و همچنین برای بررسی پاسخ محصولات به تغییرات محیطی، ژنتیکی و روش‌های مدیریتی بسیار مناسب هستند (Rahimi-Moghaddam et al., 2018, 2019).

گندم در طول تاریخ و تمدن بشر نقش مهمی در اقتصاد و امنیت غذائی جهان داشته است. این گیاه یکی از سه غله مهم گندم، ذرت و برنج می‌باشد که بیشترین تولید دانه را دارد (FAO, 2023). گندم نان گیاهی است که در محیط‌های مختلف در سراسر جهان کشت می‌شود و تقریبا ۲۰ درصد انرژی و ۲۵ درصد نیازهای پروتئینی جمعیت جهان را تأمین می کند (Reddy & Hodges, 2000). بالغ بر ۶/۲ میلیون هکتار از اراضی زراعی کشور ایران زیر کشت گندم است. از این مقدار حدود ۲/۱ میلیون هکتار به کشت گندم آبی و ۴/۱ میلیون هکتار آن به کشت گندم دیم اختصاص دارد (Iranian Ministry of Agriculture, 2021). استان لرستان یکی از مناطقی از کشور می‌باشد که از نظر تولید گندم دارای جایگاه ویژه‌ای می‌باشد به طوری که سطح زیرکشت گندم آبی در استان برابر با ۵۲۵۶۴ هکتار با متوسط عملکرد ۳/۳ تن در هکتار می‌باشد (Iranian Ministry of Agriculture, 2021). با توجه به مطالب مطرح شده و همچنین بر اساس اهمیت گیاه گندم در امنیت غذایی و تغذیه انسان و همچنین اهمیت استان لرستان در تولید گیاه گندم در سطح کشور این مطالعه با تکیه بر روش مدلسازی در راستای برآورد خلأ عملکرد گندم آبی استان لرستان به انجام رسید.

مواد و روش ها

مناطق مورد مطالعه

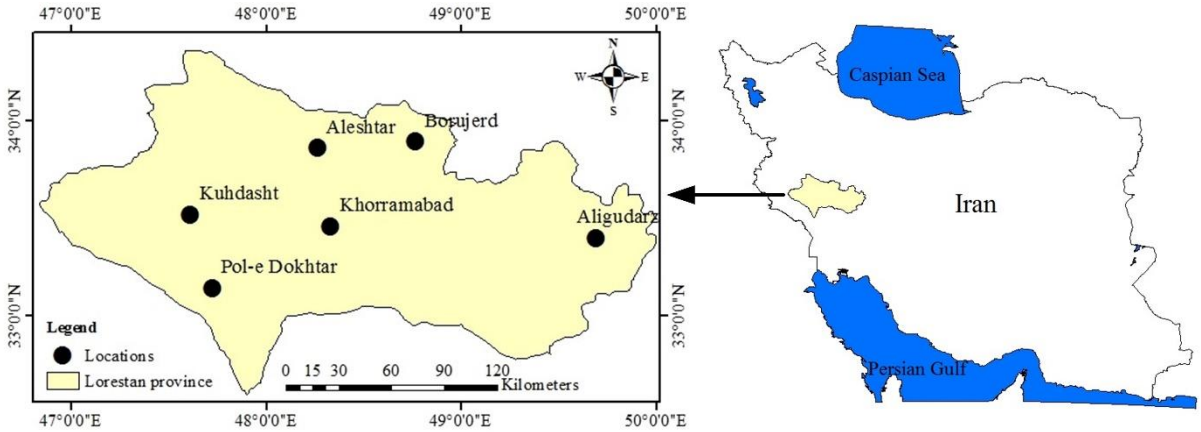
این تحقیق در سطح بوم‌نظام‌های گندم آبی استان لرستان صورت گرفت. این استان از نظر جغرافیای در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی و با وسعتی معادل ۲۸۰۶۴ در جنوب غرب ایران واقع شده است. مساحت کل اراضی استان لرستان ۴۹۸۸۸۳ هکتار و از این مقدار ۵۲۵۶۴ هکتار اراضی گندم آبی می باشد (Iranian Ministry of Agriculture, 2021). برای تحقیق حاضر شش شهرستان شامل خرم آباد، بروجرد، کوهدشت، پلدختر، الشتر و الیگودرز مورد بررسی قرار گرفتند که معیار انتخاب آن‌ها بر اساس میزان سطح زیر کشت گندم آبی، تنوع اقلیمی و توزیع و پوشش مناسب در سطح استان بود (جدول ۱).

داده‌های مورد نیاز

داده‌های بلندمدت آب و هوایی شامل تشعشع خورشیدی (مگاژول در متر مربع)، دماهای کمینه (درجه سانتی‌گراد) و بیشینه (درجه

1- Yield Gap Analysis

سانتی‌گراد) و بارش (میلی‌متر) مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی استان لرستان از سازمان هواشناسی استان تهیه شد. در ایستگاه‌های هواشناسی کشور، مقدار تابش روزانه ثبت نمی شود، با در اختیار داشتن تعداد ساعت آفتابی، تابش روزانه با استفاده از رابطه آنگستروم (Prescott, 1940) به‌صورت زیر تخمین زده شد:



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد مطالعه در استان لرستان.

Fig. 2. Geographical position of the study areas in Lorestan province.

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی و مدیریتی مناطق مورد مطالعه.

Table 1- Climatic and management properties of the study areas.

مناطق Locations	سطح زیرکشت (هکتار) Cultivated area (ha)	اقلیم Climate	ارتفاع Elevation (m)	میانگین دمای سالانه Annual mean temperature (°C)	بارندگی تجمعی سالانه Annual cumulative rainfall (mm)	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer (kg ha^{-1})	تعداد آبیاری Irrigation number	سال‌های بررسی شده Study years
الشتر Aleshtar	3600	سرد Cold	1638	13.5	450	126.1	7	2001-2019
الیگودرز Aligudarz	6500	سرد Cold	1995	12.6	402.1	126.6	8	1993-2019
بروجرد Borujerd	4500	سرد Cold	1574	14.9	486.3	123.6	4	1993-2019
خرم‌آباد Khorramabad	5000	معتدل Temperate	1147	16.5	486.2	121.7	7	1992-2019
کوهدشت Kuhdasht	5600	معتدل Temperate	1195	16	369.8	124.4	8	2001-2019
پلدختر Pol-e Dokhtar	2500	خیلی گرم Very warm	658	23	378.4	251.7	7	2001-2019

معادله (۱)
$$R_s = \left(a + b\,\frac{n}{N}\right) R_a$$

در این معادله، R_s تابش روزانه (مگاژول در مترمربع)، n تعداد ساعات آفتابی، N طول روز و R_a تابش فرازمینی[1] و پارامترهای a و b ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند. مقدار پارامترهای a و b برای مناطق مختلف به ترتیب برابر با ۰/۲۵ و ۰/۵ در نظر گرفته شد (Allen et al., 1988). افزون بر این داده‌ها، اطلاعات تکمیلی از جمله اطلاعات مربوط به مدیریت آبیاری و کوددهی گیاه گندم (تعداد آبیاری و مقدار کود نیتروژن) در قالب پرسشنامه از کشاورزان استان و همچنین اطلاعات مربوط به میزان عملکرد واقعی اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی تهیه شد (جدول ۱). برای اینکار تعداد کشاورزان گندم کار از سازمان جهاد کشاورزی گرفته شد و بر اساس فرمول کوکران[2] تعداد پرسشنامه یا در واقع حجم نمونه آماری لازم برای این تحقیق

1- Extraterrestrial radiation

2- Cochran

بدست آمد:

معادله (۲)

$$n = \frac{\frac{Z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N}(\frac{Z^2 pq}{d^2} - 1)}$$

در این معادله n حجم نمونه آماری، N حجم جامعه آماری، d اشتباه مجاز برابر با ۰/۰۵، z مقدار متغیر نرمال با سطح اطمینان ۱-α است. در آزمون دودامنه مقدار z برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر ۱/۹۶ و برای سطح اطمینان ۹۹ درصد برابر ۲/۵۸ است که در این مطالعه برابر با ۱/۹۶ بود. همچنین p نسبت برخورداری از صفت مورد نظر و q (1-p) نسبت عدم برخورداری از صفت مورد نظر است که در این مطالعه مقدار p و q برابر با ۰/۰۵ بود. در نهایت به طور میانگین در هر شهرستان ۵۰ پرسشنامه تکمیل شد.

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مناطق مورد مطالعه.

Table 2- Soil properties of study areas.

مناطق Locations	وزن مخصوص ظاهری خاک Bulk density (g cm^{-3})	ظرفیت آب خاک در نقطه پژمردگی Soil Water content at wilting point (cm^3 cm^{-3})	ظرفیت خاک در نقطه ظرفیت مزرعه Soil water content at field capacity (cm^3 cm^{-3})	ظرفیت آب خاک در نقطه اشباع Saturation water content (cm^3 cm^{-3})	ماده آلی خاک Soil organic matter (%)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})
الشتر Aleshtar	1.28	0.242	0.395	0.515	1.28	سیلتی رسی Silty clay	7.1	1.1
الیگودرز Aligudarz	1.31	0.237	0.388	0.507	1.16	سیلتی رسی لوم Silty clay loam	7.4	1.4
بروجرد Borujerd	1.30	0.258	0.402	0.515	0.88	سیلتی لوم Silty loam	6.9	1.3
خرم‌آباد Khorramabad	1.28	0.231	0.392	0.518	1.23	سیلتی رسی لوم Silty clay loam	7.3	1.2
کوهدشت Kuhdasht	1.34	0.259	0.396	0.500	0.98	رسی Clay	7.2	1.8
پلدختر Pol-e Dokhtar	1.38	0.062	0.286	0.475	1.01	سیلتی لوم Silty loam	7.0	2.1

داده‌های خاک از منابع مختلف شامل مقالات، مطالعات تفضیلی نیمه تفضیلی خاکشناسی ایران، آزمایشگاه‌های خاکشناسی در سطح شهرستان، گزارشات سازمان خوار و بار جهانی و سایت جهانی اطلس خلأ عملکرد (https://www.yieldgap.org/Iran) به دست آمد. داده‌های خاک این گزارشات شامل برخی از صفات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی شامل بافت خاک (درصد رس، سیلت وشن)، وزن مخصوص ظاهری، اسیدیته خاک، میزان کربن آلی و هدایت الکتریکی بودند. از این داده‌ها برای تخمین ظرفیت نگهداری آب خاک در نقطه پژمردگی دائم، مزرعه و اشباع با استفاده از مدل SPAW[1] (Saxton & Willey, 2006) استفاده گردید (جدول ۲).

1- Soil-Plant-Air-Water

شبیه‌سازی عملکرد

به منظور تعیین خلأهای اقلیمی در منطقه مورد آزمایش و شبیه-سازی رشد و نمو گندم به همراه تولید کمی آن متأثر از تیمارهای آبیاری و نیتروژن از شبیه‌ساز نظام‌های تولید محصولات زراعی (APSIM[1]) تحت مدیریت‌های مختلف زراعی استفاده شد (Holzworth et al., 2014). این شبیه‌ساز پارامترهای اقلیمی و گیاهی را بطور روزانه بررسی می‌کند. مدل APSIM توسط موسسه APSRU[2] در استرالیا طراحی شده و از قدرت بالایی برای شبیه-سازی رشد و نمو گیاه گندم برخوردار است و اثرات عوامل مدیریتی مختلف از جمله کود نیتروژن و آب را در سطوح مزرعه با دقت بالا شبیه‌سازی می‌کند. این مدل، سرعت رشد روزانه گیاه را با تبدیل تابش خورشیدی دریافت شده به ماده خشک گیاهی با استفاده از پارامتر کارایی مصرف نور[3] شبیه‌سازی می‌کند. میزان نور دریافت شده توسط کانوپی (تاج پوشش) گیاه بر اساس شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود که این شاخص تحت تأثیر دمای روزانه و تنش‌های آب و نیتروژن قرار دارد. کارایی مصرف نور نیز در مدل تحت تاثیر مرحله نموی، دما و تنش‌های آب و نیتروژن قرار دارد. مدل APSIM-wheat نموّ فنولوژیکی گیاه را با توجه به دمای تجمعی و طول روز شبیه‌سازی می‌کند. ماده خشک تولیدی روزانه با ضرایبی به اندام‌های مختلف تخصیص داده می‌شود. در این مدل همچنین معادلات مربوط به تبخیر خاک، تعرق گیاه، زهکشی و رواناب برای شبیه‌سازی بیلان آب به صورت روزانه در مراحل مختلف گیاه در نظر گرفته شده است (Holzworth et al., 2014).

برای شبیه‌سازی مطلوب در شرایط تنش رطوبتی و و نیتروژن، شرایط مختلف رطوبتی خاک باید به درستی شبیه‌سازی گردد. بنابراین مدل در شرایط بهینه و محدودیت رطوبتی و مقادیر نیتروژن نیاز به ارزیابی دارد، که خود شامل واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. برای واسنجی مدل APSIM-wheat برای رقم چمران (به عنوان رقم غالب در بوم‌نظام‌های گندم آبی استان لرستان) توسط دیهیم‌فرد (Deihimfard, 2011) استفاده شد که انجام شده است (جدول ۳). همچنین با توجه به اینکه مدل برای بررسی خلأ عملکرد نیتروژن و آب محدود مورد استفاده قرار گرفت از آزمایشاتی که تحت این شرایط و برهمکنش بین آن‌ها انجام شدند (Baygi Madani et al., 2012 ; et al., 2017; Enayatgholizadeh et al., 2011، (جدول ۴) نیز برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد تا مشخص شود مدل قابلیت شبیه سازی این اثرات و برهمکنش بین آن‌ها را دارد. برای ارزیابی مدل و مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه گیری از شاخص های آماری nRMSE: مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (Wallach & Goffinet, 1987)؛ d-index: شاخص توافق ویلموت (Willmott, 1982) و MBE: میانگین انحراف خطا (Willmott & Matsuura, 2005) با توجه به رابطه‌های زیر استفاده شد:

معادله ۳

$$nRMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}}$$

معادله ۴

$$d\text{-index} = 1.0 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)2}{\sum_{i=1}^{n}(|Si-\bar{O}|+|Oi-\bar{O}|)2}\right]$$

معادله ۵

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Si-Oi)}{n}$$

که در این روابط n: تعداد مشاهدات؛ Oi: داده مشاهده شده؛ Si: داده شبیه سازی شده و $\bar{O}$: میانگین داده مشاهده شده می‌باشند. مقادیر شاخص مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده در بازه‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ درصد به ترتیب نشان‌دهنده‌ی وضعیت عالی، خوب و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰ درصد بیانگر عدم کارا بودن مدل می باشد. مقدار شاخص توافق ویلموت بین صفر تا یک متغیر است که میزان انطباق میان داده‌های مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و نزدیک بودن مقدار این شاخص به یک بیانگر نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر واقعی و در حقیقت کارکرد بهتر مدل است. میانگین انحراف خطا برآورد کم و بیش از حد مدل را نشان می‌دهد که از منفی بی نهایت تا مثبت بی نهایت متغیر است و دقت مدل با نزدیک شدن مقدار میانگین انحراف خطا به صفر افزایش می‌یابد.

علاوه بر شاخص‌های ذکرشده، از ضریب تبیین برای اندازه‌گیری دقت مدل نیز در مطالعه حاضر بهره‌گیری شد. ضریب تبیین نسبت پراکندگی بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد (Mendenhall et al., 1996). در صورت وجود تطابق کامل رگرسیونی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، مقدار ضریب تبیین برابر با یک بوده و با کاهش مقدار این شاخص، درصد کمتری از تغییرات داده‌ها توسط خط رگرسیونی توجیه می‌شود در صورت عدم وجود هیچگونه رابطه‌ای رگرسیونی مقدار ضریب تبیین صفر خواهد بود. بنابراین این ضریب بین صفر و یک متغیر می‌باشد که نزدیک بودن به یک نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی صفت مورد نظر می‌باشد. همچنین در این تحقیق از خط یک به یک نیز بهره گرفته شد که نزدیک بودن خط یک به یک به خط رگرسیون نشان-

1- The Agricultural Production Systems sIMulator
2- The Agricultural Production Systems Research Unit
3- Radiation Use Efficiency (RUE)

دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی می‌باشد.

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی رقم چمران در مدل APSIM-wheat (Deihimfard, 2011).

Table 3- Genetic coefficients of the Chamran cultivar in APSIM-wheat model (Deihimfard, 2011).

ضریب Coefficient	مقدار Value	واحد Unit
نیاز حرارتی تا پایان مرحله جوانه‌زنی Thermal time at the end of juvenile stage	380	°Cd
نیاز حرارتی تا مرحله گل‌انگیزی Thermal time at floral initiation stage	500	°Cd
نیاز حرارتی از شروع پر شدن دانه تا رسیدگی Thermal time from start grain filling to maturity	545	°Cd
حساسیت به طول روز Vernalization sensitivity	3.5	-
حساسیت به بهاره‌سازی Photoperiod sensitivity	2.5	-
تعداد دانه به ازای هر گرم ساقه Number of grains per gram of stem	22.5	Kernel/g stem
بیشینه وزن دانه Maximum grain size	0.044	g

جدول ٤- آزمایشات مورد استفاده برای اعتبارسنجی مدل APSIM-wheat برای رقم چمران.

Table 4- Field experiments used APSIM-wheat validation for the Chamran cultivar.

آزمایش Experiment	منطقه و سال آزمایش Location and year of experiment	طرح آزمایشی/تیمارها Experiment design/treatments	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیای Latitude	ارتفاع Elevation (m)	میانگین دمای سالانه Annual mean temperature (°C)	بارندگی تجمعی سالانه Annual cumulative rainfall (mm)
مندنی و همکاران/ Madani et al., 2012	اهواز/ Ahvaz/2007 and 2008	اسپلیت پلات بر اساس طرح بلوک های کامل با سه تکرار/ سطوح نیتروژن و آبیاری Split split-plot arrangement based on randomized complete block design with three replications / Nitrogen × irrigation	49.60	31.26	151	26.2	235.7
بیگی و همکاران Baygi et al., 2017	نیشابور/ Neyshabur/2014	اسپلیت پلات بر اساس طرح بلوک های کامل با سه تکرار/ سطوح تاریخ کاشت و ارقام Factorial experiment based on randomized complete block design with three replications / Sowing date × cultivar فاکتوریل بر اساس طرح بلوک های کامل با چهار تکرار/ سطوح ارقام و نیتروژن Factorial experiment based on randomized complete block design with four replications / Cultivar × nitrogen	58.76	36.23	1250	14.4	236.7

تعیین و تحلیل خلأ عملکرد

برای تعیین عملکرد واقعی، از اطلاعات واقعی عملکرد گیاه گندم در سطح استان لرستان استفاده شد. به این منظور، اطلاعات مربوط به عملکرد واقعی کشاورزان استان لرستان به تفکیک شهرستان، از

ادارات جهاد کشاورزی هر شهرستان و استان دریافت شد. جهت تعیین عملکرد پتانسیل نیز همانطور که قبلا بیان شد از مدل APSIM-wheat استفاده گردید. در این سطح با توجه به میزان تشعشع، درجه حرارت، غلظت CO_2 و ویژگی‌های گیاه زراعی تعیین می‌شود. بنابراین میزان تولید در دوره آماری بلندمدت با توجه به اطلاعات هواشناسی موجود و با در نظر گرفتن عدم وجود تنش‌های زنده و غیرزنده شبیه‌سازی شد. با توجه به محدودیت در تجهیزات و همچنین تولید مقرون به صرفه در سیستم‌های کشت فشرده، عملکرد کشاورزان در بهترین حالت تنها ۷۵ تا ۸۵ درصد عملکرد پتانسیل است (Espe et al., 2016; van Ittersum et al., 2013 ; Hochman et al., 2013). بر این اساس، تنها ۸۵ درصد از مقادیر عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده در این تحقیق در محاسبات خلأ عملکرد در نظر گرفته شد که به آن عملکرد قابل دستیابی گفته می‌شود.

عملکرد آب محدود، با توجه به میزان آب در دسترس برای گیاه تعیین شد. به این منظور اطلاعات مربوط به میزان آبیاری طی فصل رشد گیاه گندم با کمک پرسشنامه از کشاورزان تهیه شد و میزان عملکرد با توجه به آب دریافتی توسط گیاه (بارش‌های صورت گرفته طی فصل رشد و آبیاری انجام شده توسط کشاورز) و با کمک مدل تعیین شد. بدین منظور آبیاری‌های در طول فصل رشد در مراحل مختلف گندم پخش گردید و آبیاری زمانی صورت گرفت که محتوای رطوبت خاک کمتر از ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه بود. عملکرد نیتروژن محدود، نیز با توجه به میزان نیتروژن در دسترس برای گیاه تعیین شد. به‌این منظور اطلاعات مربوط به میزان و زمان کاربرد کود نیتروژن طی فصل رشد گیاه گندم با کمک پرسشنامه از کشاورزان تهیه شد و میزان عملکرد با توجه به نیتروژن دریافتی توسط گیاه (تجزیه ماده آلی خاک و کود نیتروژن بکار برده شده توسط کشاورز) و با کمک مدل تعیین گردید. برای تعیین بهترین تاریخ کاشت یک آزمایش شبیه سازی اولیه در چهار تاریخ کاشت (۱۵ مهر، ۱ آبان، ۱۵ آبان و ۳۰ آبان) در بازه کشت گندم در مناطق مورد مطالعه در شرایط پتانسیل انجام شد. پس از استخراج مقادیر عملکرد گیاه گندم در سطوح یاد شده، میزان خلأ عملکرد در سطح قابل دستیابی، آب محدود و نیتروژن محدود محاسبه به صورت زیر محاسبه شد:

$$Y_{GT} = Y_A - Y_a$$ معادله (۶)

$$YG_W = Y_A - Y_W$$ معادله (۷)

$$YG_N = Y_A - Y_N$$ معادله (۸)

در معادلات بالا (۱) Y_{GT} خلأ عملکرد کل، Y_A عملکرد قابل دستیابی (عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط عدم محدودیت‌ها)، Y_a عملکرد واقعی کشاورزان (به دست آمده از آمار سازمان جهاد کشاورزی و پرسشنامه) هستند. YG_W میزان خلأ عملکرد آب محدود و Y_W میزان عملکرد آب محدود (عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط محدودیت رطوبتی یعنی تحت مدیریت آبیاری کشاورزان) است. YG_N خلأ عملکرد ناشی از نیتروژن و Y_N میزان عملکرد نیتروژن محدود (عملکرد شبیه‌سازی شده در شرایط محدودیت کوددهی یعنی مدیریت کشاورزان) است. با داشتن خلأهای عملکرد ناشی از آب محدود، نیتروژن و کل می توان خلأ عملکرد ناشی از سایر عوامل محدود کننده (سایر عناصر غذایی، شوری و غیره) و کاهنده (علف هرز، حشرات آفت و بیماری ها) را طبق رابطه زیر به دست آورد:

$$YG_O = Y_{GT} - (YG_W + YG_N)$$ معادله (۹)

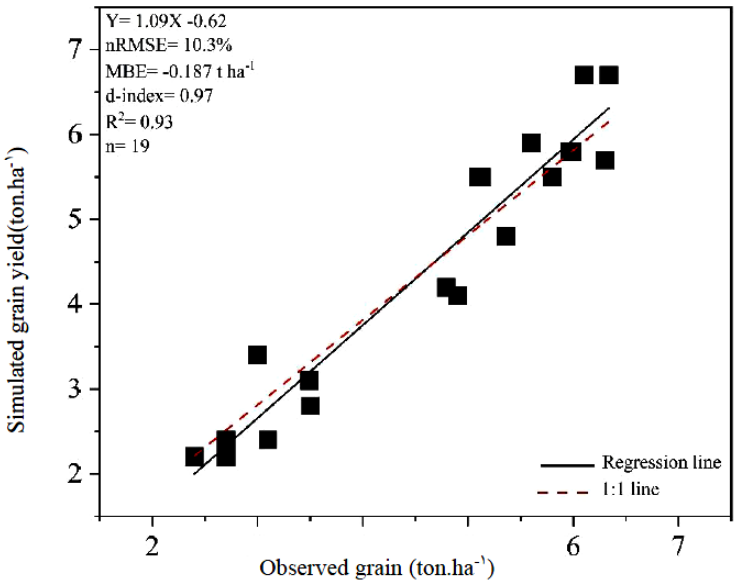
YG_O خلأ عملکرد ناشی از سایر عوامل محدود کننده و کاهنده می‌باشد. در مطالعه حاضر، برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم افزار OriginPro (Seifert, 2014) استفاده گردید.

نتایج و بحث

ارزیابی مدل APSIM -wheat

نتایج اعتبارسنجی مدل بیانگر دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه تحت مدیریت، تیمارها (آب و نیتروژن) و مناطق مختلف بود (شکل ۲). مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده برای صفت عملکرد دانه برابر با ۱۰/۳ درصد و شاخص توافق ویلموت برابر با ۰/۹۷ بود. همچنین میانگین انحراف خطا برای صفت مذکور برابر با ۰/۱۸۷- تن در هکتار بود که نشان‌دهنده یک مقدار کم برآورد مدل برای این صفت بود (شکل ۲). واسنجی دقیق مراحل فنولوژیک، بیلان نیتروژن و آب در نهایت موجبات پیش‌بینی دقیق اثرات مختلف آب و نیتروژن را بر روی عملکرد دانه فراهم می‌آورد. مطالعات مختلف نیز نشان می‌دهند که مدل APSIM می‌تواند عملکرد دانه محصولات مختلف زراعی را بخوبی شبیه‌سازی کند. به عنوان مثال، متوسط ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال‌شده و شاخص توافق ویلموت برای عملکرد دانه ذرت در آزمایش رحیمی مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam et al., 2018) به ترتیب برابر با

۰/۷۷، ۹/۸ درصد و ۰/۸۴ بود و نشان داده شد که مدل APSIM در پیش‌بینی رشد و عملکرد دانه ذرت تحت تیمارهای مختلف نیتروژن، رقم و آبیاری از اعتبار کافی برخوردار است. کپونگور (Kpongor, 2007) قدرت مدل APSIM در پیش‌بینی عملکرد دانه سورگوم نسبت به کود نیتروژن و فسفر تحت دو سیستم متفاوت مدیریتی در غنا را خوب ارزیابی کردند (ضریب تبیین برابر با ۰/۸۱ بود). در تحقیقی گزارش شد که مدل APSIM برای یک مجموعه داده از ۱۲ کشور، مجموعه‌ای از خاک‌ها، روش‌های مدیریتی و محصولات مختلف در آسیا مورد بررسی قرار گرفت که مدل توانست به خوبی عملکرد دانه محصولات مختلف از جمله گندم، ذرت (Zea mays)، سویا(Glycine max) و کلزا (Brassica napus) را به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۷۹، ۰/۸۵، ۰/۵۳ و ۰/۷۱ شبیه‌سازی کند (Gaydon et al., 2017). همانطور که در جدول ۴ مشخص می باشد ارزیابی مدل تحت شرایط مناطق مختلف و تیمارهای مختلف مدیریتی از جمله آب، نیتروژن و تاریخ کاشت بوده است. بنابراین با توجه به کارکرد مناسب مدل می‌توان از این مدل ارزیابی شده برای تعیین خلأ عملکرد در مناطق مختلف بهره گرفت.



شکل ۲- نتایج اعتبارسنجی مدل APSIM-wheat برای رقم چمران با استفاده از مطالعات مندنی و همکاران (Madani et al., 2012)، بیگی و همکاران (Baygi et al., 2017) و عنایت‌قلی‌زاده و همکاران (Enayatgholizadeh et al., 2011).

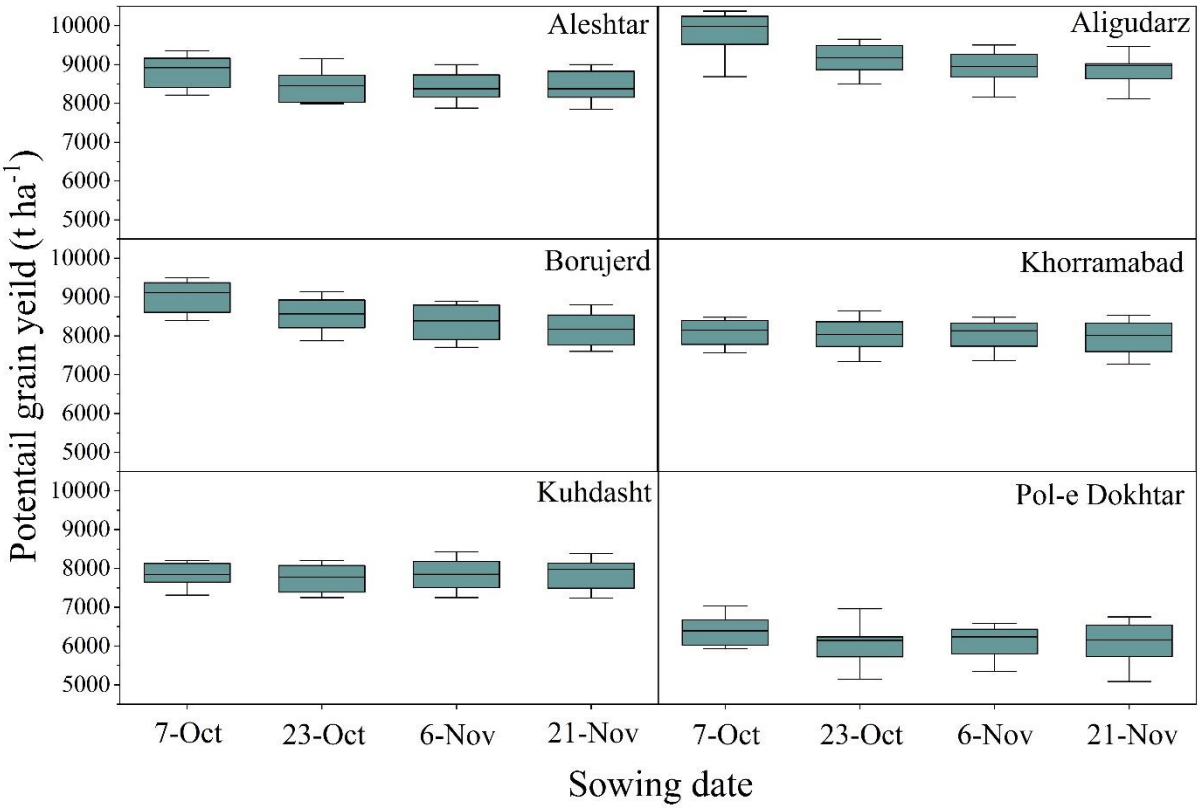
Fig. 2. APSIM-wheat model validation for the Chamran cultivar using Madani et al. (2012), Baygi et al. (2017), and Enayatgholizadeh et al. (2011) studies.

عملکرد پتانسیل مناطق مختلف تحت تاریخ های کاشت مختلف

به طور کلی عملکرد پتانسیل گندم آبی در استان لرستان تحت تاریخ کاشت‌های مختلف برابر با ۸۱۲۴/۳ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳). همچنین عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مختلف متفاوت بود به طوری که در سراسر تاریخ کاشت‌ها عملکرد از ۶۱۵۱/۹ کیلوگرم در هکتار در منطقه پلدختر تا ۹۱۵۸/۴ کیلوگرم در منطقه الیگودرز متغیر بود. در بین تاریخ کاشت‌های مختلف بیشترین عملکرد در سراسر مناطق مختلف در تاریخ کاشت ۱۵ مهر با ۸۴۳۳ کیلوگرم هکتار به دست آمد. در سراسر مناطق مختلف، عملکرد دانه گندم آبی در تاریخ کاشت‌های ۱، ۱۵ و ۳۰ آبان به ترتیب برابر با ۸۰۷۷/۷، ۸۰۴۰/۴ و ۷۹۶۸/۲ کیلوگرم در هکتار بود. در بین برهمکنش‌های مختلف بالاترین عملکرد (۹۸۱۷/۳ کیلوگرم در هکتار) در برهمکنش منطقه الیگودرز و تاریخ کاشت ۱۵ مهر بود. همچنین کمترین میزان عملکرد (۶۰۱۴/۴ کیلوگرم در هکتار) در برهمکنش منطقه پلدختر و تاریخ کاشت ۱ آبان شبیه‌سازی شد (شکل ۳). در زمینه برتری عملکرد پتانسیل در منطقه الیگودرز و تاریخ کاشت ۱۵ مهر این موضوع را می توان به طول دوره رشد بیشتر در منطقه

الیگودرز (۲۳۴ روز) نسبت به سایر مناطق (۲۰۷ روز) و همچنین طول دوره رشد بیشتر در تاریخ کاشت ۱۵ مهر (۲۲۴ روز) نسبت به سایر تاریخ کاشت‌ها (۲۰۷ روز) اشاره نمود. در واقع طول دوره رشد بیشتر باعث فتوسنتز بیشتر و افزایش ساخت ماده خشک می‌شود که این ماده خشک در نهایت باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردد. بسیاری از مطالعات نشان‌دهنده ارتباط مثبت طول دوره رشد بیشتر و عملکرد بالاتر هستند (Rahimi-Moghaddam et Amiri et al., 2021 ; al., 2021).

با توجه به اینکه در بین تاریخ کاشت‌های مختلف، تاریخ کاشت ۱۵ مهر برترین تاریخ کاشت از لحاظ عملکرد پتانسیل در سراسر مناطق بود این تاریخ کاشت به عنوان تاریخ کاشت بهینه برای شبیه‌سازی بعدی جهت محاسبه عملکرد قابل دستیابی، آب محدود و نیتروژن محدود استفاده شد.



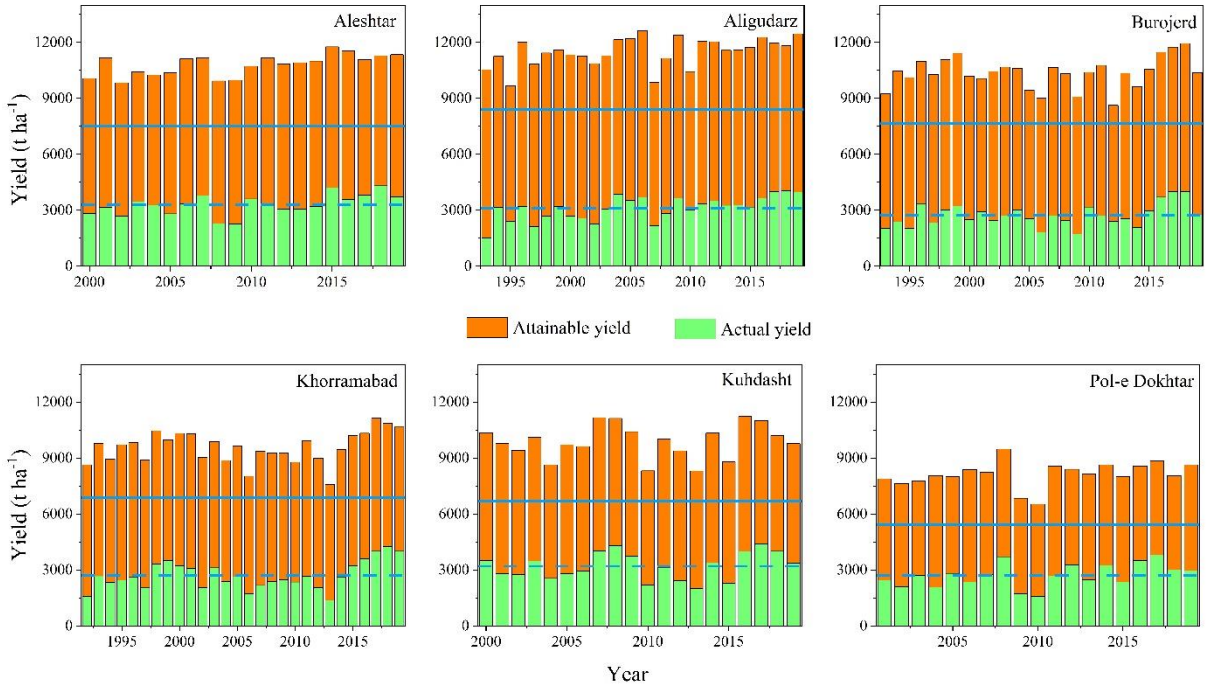
شکل ۳- عملکرد پتانسیل گندم در مناطق موردمطالعه و تاریخ‌های کاشت مختلف.

Fig. 3. Potential grain yield in the study areas under different sowing dates.

عملکردهای واقعی، قابل دستیابی، آب محدود و نیتروژن محدود در مناطق مختلف

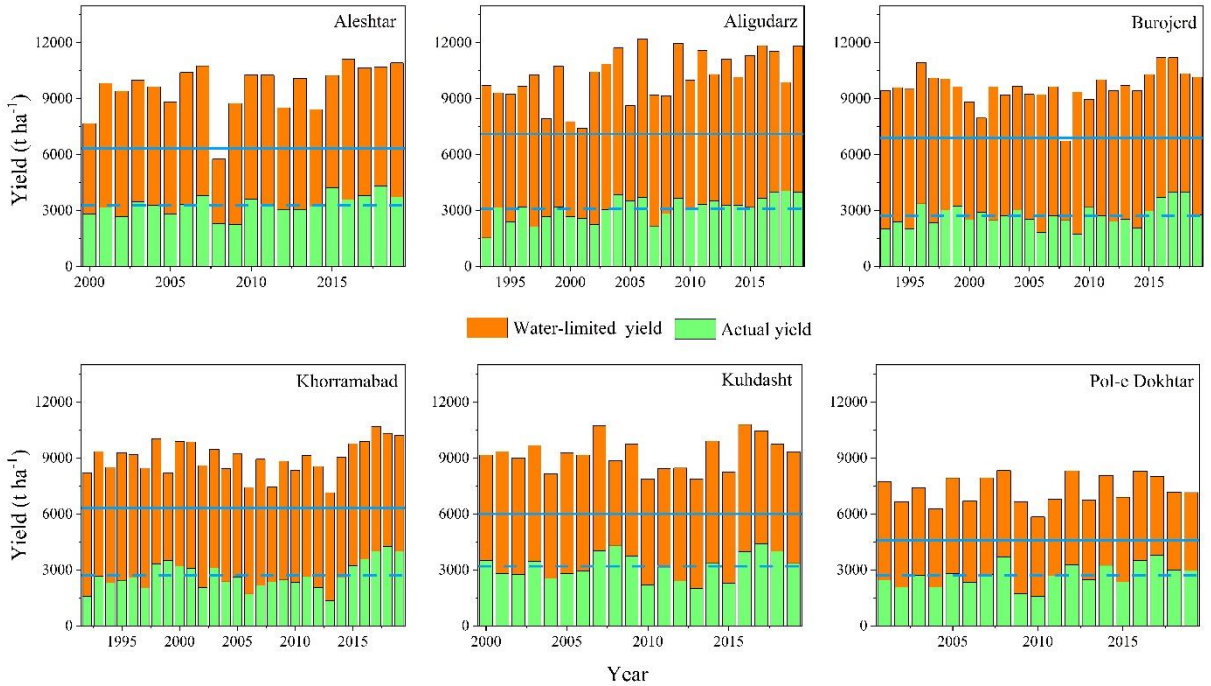
بطور کلی عملکرد واقعی، قابل دستیابی، آب محدود و نیتروژن محدود در سراسر استان لرستان برابر با ۲۹۷۷/۳، ۷۱۷۹/۲، ۶۳۰۲/۷ و ۴۲۱۲/۵ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴، ۵ و ۶). این عملکردها در بین مناطق و سال‌های مختلف بسیار متفاوت بودند به طوری که بیشترین عملکرد واقعی (۴۴۰۲/۲ کیلوگرم در هکتار) در منطقه کوهدشت در سال ۱۳۹۶ بود و کمترین (۱۳۶۰/۹ کیلوگرم در هکتار) میزان آن در منطقه خرم‌آباد در سال ۱۳۹۲ بود (شکل ۴). بالاترین عملکرد قابل دستیابی (۹۰۱۱/۴ کیلوگرم در هکتار) در منطقه الیگودرز و سال ۱۳۷۲ بود و کمترین (۴۹۵۵/۱ کیلوگرم در هکتار) میزان آن در منطقه پلدختر و سال ۱۳۸۹ بود (شکل ۴). همچنین از نظر تغییرات عملکرد آب محدود ، عملکرد از ۳۴۷۳/۵ کیلوگرم در هکتار (منطقه الشتر و سال ۱۳۸۷) تا ۸۵۰۶/۲ کیلوگرم در هکتار (منطقه الیگودرز و سال ۱۳۸۵) متغیر بود در حالی که این تغییرات برای عملکرد نیتروژن محدود از ۲۹۵۲/۳ کیلوگرم در هکتار (در منطقه الشتر در سال

۱۳۸۷) تا ۴۷۱۵/۷ کیلوگرم در هکتار (منطقه خرم آباد در سال ۱۳۸۷) متغیر بود (شکل ۵ و ۶). بطور کلی در سراسر مناطق مختلف تغییرات در میزان عملکرد آب محدود (از ۴۷۲۲/۱ تا ۷۴۴۸/۲ کیلوگرم در هکتار) نسبت به عملکرد قابل دستیابی (از ۶۵۳۷/۵ تا ۷۹۸۲/۷ کیلوگرم در هکتار) و نیتروژن محدود (از ۳۸۵۰/۲ تا ۴۴۱۴/۵ کیلوگرم در هکتار) بسیار بیشتر بود (شکل ۴، ۵ و ۶). همانطور که در شکل ۴ مشخص می باشد عملکرد واقعی در استان برابر با ۲۹۷۷/۴ کیلوگرم در هکتار می باشد این در حالی است که عملکرد قابل دستیابی برابر با ۷۱۷۹/۲ و بنابراین نشان می دهد که در استان لرستان عملکرد پتانسیل بیشتر می‌باشد. این در حالی است که برای کشورهای دیگر نیز عملکردهای قابل دستیابی بالا می باشد. به عنوان مثال در کشورهای مانند چین و انگلستان عملکرد های قابل دستیابی به ترتیب برابر با ۸/۶ و ۱۰/۴ تن در هکتار می‌باشد (Chapagain & Good, 2015). تغییرات بالای بین مناطق و سال-های مختلف می‌تواند مربوط به تغییرات فاکتورهای اقلیمی (دما، بارندگی و تشعشع) باشد. به عنوان مثال بالاترین و کمترین عملکرد قابل دستیابی در الیگودرز و پلدختر به دست آمد که به ترتیب بیشترین و کمترین دما را در طول فصل رشد دارند (جدول ۱). تغییرات بیشتر عملکرد آب محدود نسبت به عملکرد قابل دستیابی و نیتروژن محدود را می‌تواند به تاثیر بیشتر فاکتور آبیاری به نیتروژن دانست. بسیاری از گزارشات نیز نشان می‌دهند که تغییرات آب و بارندگی می‌توانند در عملکرد دانه محصولات زراعی بسیار بالا باشد (Rahimi-Moghddam et al., 2019,2021).



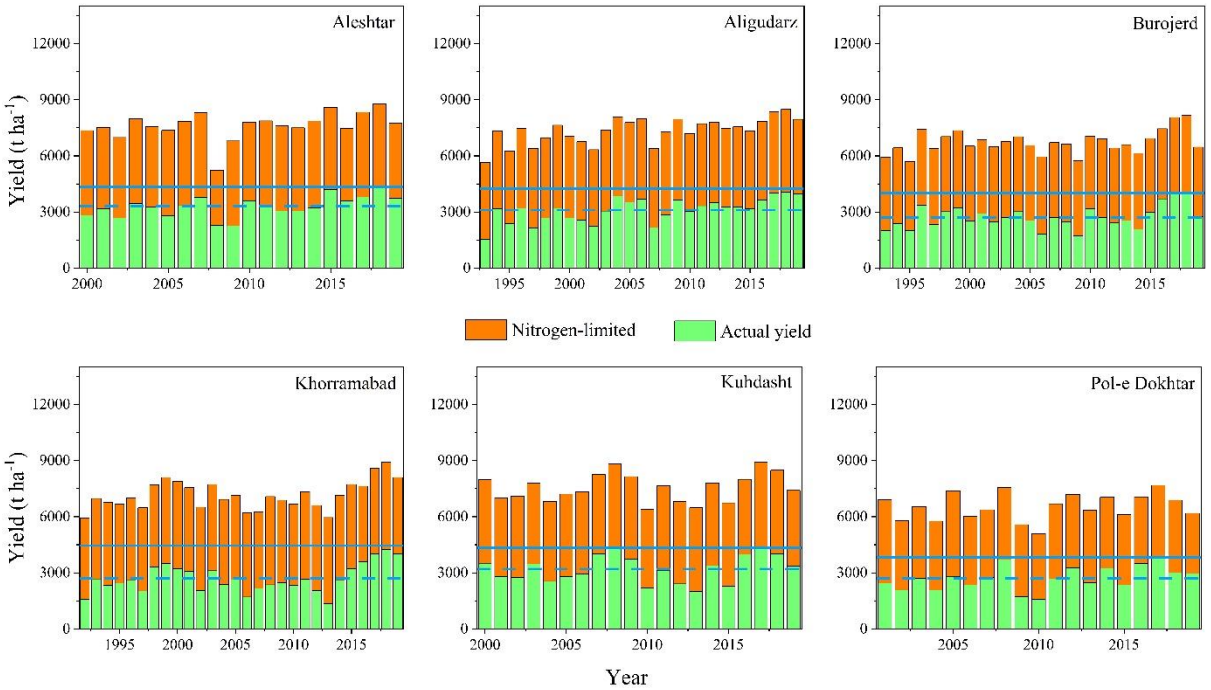
شکل ٤- عملکردهای واقعی و قابل دستیابی گندم در مناطق موردمطالعه و سال‌های مختلف. توجه کنید که خط ممتد نشان دهنده میانگین عملکرد قابل دستیابی و خط چین بیانگر میانگین عملکرد واقعی در سال های مورد مطالعه می باشد.

Fig. 4. Wheat actual and attainable yields in the study areas under different years. Note that the continuous and dashed lines represent the main attainable and actual yields in the study years, respectively.



شکل ۵- عملکردهای واقعی و آب محدود گندم در مناطق موردمطالعه و سال‌های مختلف. توجه کنید که خط ممتد نشان دهنده میانگین عملکرد قابل دستیابی و خط چین بیانگر میانگین عملکرد واقعی در سال های مورد مطالعه می باشد.

Fig. 5. Wheat actual and water-limited yields in the study areas under different years. Note that the continuous and dashed lines represent the main attainable and actual yields in the study years , respectively.

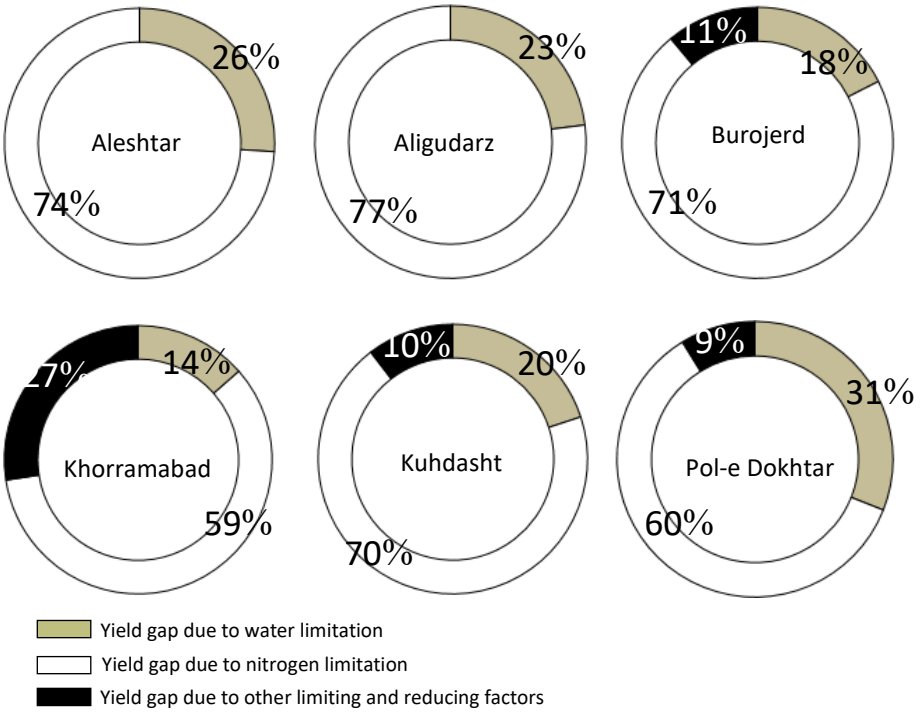


شکل ٦- عملکردهای واقعی و نیتروژن محدود گندم در مناطق موردمطالعه و سال‌های مختلف. توجه کنید که خط ممتد نشان دهنده میانگین عملکرد قابل دستیابی و خط چین بیانگر میانگین عملکرد واقعی در سال های مورد مطالعه می باشد.

Fig. 6. Wheat actual and nitrogen-limited yields in the study areas under different years. Note that the continuous and dashed lines represent the main attainable and actual yields in the study years, respectively.

خلأهای عملکرد در مناطق مختلف

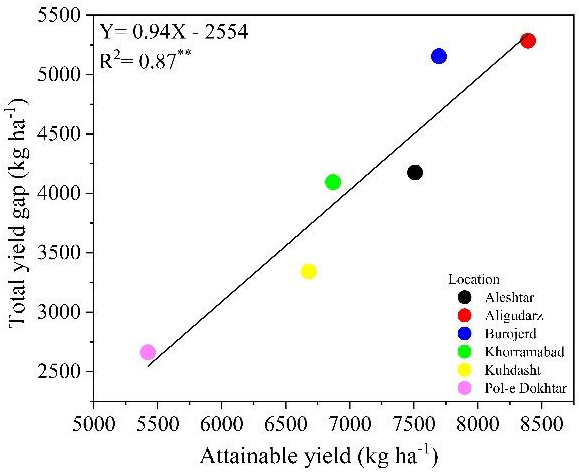
نتایج نشان داد که خلأ عملکرد در گندم آبی استان لرستان به مقدار قابل توجهی وجود دارد به طوری که در سراسر مناطق و سال-های مورد بررسی میزان کل خلأ عملکرد گندم آبی برابر با ۴۱۷۷/۵ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (شکل ۴، ۵ و ۶). نتایج همچنین نشان داد که تغییرات زیادی در بین مناطق مختلف از لحاظ خلأ کل در سطح استان لرستان وجود داشت به طوری که از ۲۶۶۱/۸ کیلوگرم در هکتار (پلدختر) تا ۵۶۰۸/۴ کیلوگرم در هکتار (الیگودرز) متغیر بود (شکل ۴، ۵ و ۶). همچنین از لحاظ سهم مدیریت‌های مختلف در خلأ عملکرد کل تفاوت اساسی وجود داشت. به طور کلی در سراسر مناطق و سال-های مورد بررسی سهم مدیریت نیتروژن، آب و سایر عوامل کاهنده و محدود کننده عملکرد در سطح استان برابر با ۶۸، ۲۲ و ۱۰ درصد بود (شکل ۷). از لحاظ سهم مدیریت‌های مختلف در خلأ عملکرد در مناطق مورد بررسی نیز تفاوت قابل توجهی وجود داشت. به عنوان مثال در زمینه خلأ عملکرد آب محدود بالاترین میزان مربوط به شهرستان پلدختر (۳۱ درصد) و کمترین مقدار آن مربوط به شهرستان خرم آباد (۱۴ درصد) بود. برای خلأ عملکرد نیتروژن محدود شهرستان الیگودرز بیشترین سهم (۷۷ درصد) را به خود اختصاص داد در حالی کمترین سهم این محدودیت برای شهرستان خرم آباد (۵۹ درصد) به دست آمد. بیشینه سهم خلأ عملکرد ناشی از سایر عوامل محدود کننده و کاهنده عملکرد نیز در منطقه خرم آباد (۲۷ درصد) ثبت گردید در حالی کمترین مقدار آن در منطقه الیگودرز و الشتر (بدون محدودیت) محاسبه شد (شکل ۷).



شکل ۷- درصد خلأهای عملکرد آب محدود، نیتروژن محدود و سایر عوامل محدود کننده و کاهنده در مناطق مختلف.

Fig. 7. The percentage of yield gaps caused by water limitation, nitrogen limitation, and other limiting and reducing factors in different locations.

نتایج مشخص نمود که عملکرد قابل دستیابی بالاتر منجر به خلأ عملکرد بیشتر شد. آنالیز رگرسیون بین خلأ عملکرد کل و عملکرد قابل دستیابی نشان داد که آن‌ها به طور معنی دار و مثبتی با یکدیگر رابطه دارند و عملکرد قابل دستیابی ۸۷ درصد از تغییرات مکانی را توجیه نمود (شکل ۸).



شکل ۸- رگرسیون بین خلأ عملکرد کل و عملکرد قابل دستیابی

Fig. 8. Regression between total yield gap and attainable yield

در واقع این موضوع نشان می‌دهد که مناطقی با عملکرد واقعی کمتر یا عملکرد قابل دستیابی بیشتر دارای خلأ عملکرد بیشتر و همچنین پتانسیل بیشتری برای افزایش تولید در شرایط حال حاضر را دارند. تغییرات مکانی از نظر خلأ عملکرد کل برای محصولات مختلف گزارش شده است. به عنوان مثال برای گیاه نخود ۵۰، ۲۸ و ۴۹ درصد خلأ عملکرد به ترتیب برای جنوب استرالیا (Mawalagedera et al., 2022)، مرکز هندوستان (Gireesh et al., 2019) و اتیوپی (van Loon et al., 2018) گزارش شده است. در مدلسازی پتانسیل و خلأ عملکرد گندم آبی در ایران گزارش شد که کشاورزان فقط ۳۸ درصد از عملکرد پتانسیل گندم آبی دست یافته‌اند و در همه‌ی مناطق کشور خلأ عملکرد ۶۲ درصد و در صورتی که کشاورزان در ایران با اعمال مدیریت زراعی مناسب در مزارع آبی بتوانند به ۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل دست یابند، عملکرد این محصول به ۷ تن در هکتار خواهد رسید (Zahed et al., 2019). همانطور که نتایج نشان داد از نظر منابع مختلف خلأ عملکرد در سراسر مناطق، خلأ عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن بیشترین مقدار را داشت این خلأ بیشتر مربوط به توزیع نیتروژن بود. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود میزان کاربردی نیتروژن در مناطق مختلف کم نیست اما با توجه به اطلاعات به دست آماده از کشاورزان، بیشتر کشاورزان مناطق مورد مطالعه، نیتروژن کاربردی را در دو مرحله کاشت و همچنین زمان پنجه زنی بکار می‌برند بنابراین در مراحل انتهایی گیاه با تنش نیتروژن مواجه می‌شود و میزان عملکرد کاهش پیدا کند. کمبود نیتروژن در طول نمو سنبلچه می‌تواند موجب مرگ و میر تعدادی از سنبلچه‌ها شود. در تحقیقی نشان داده شد کمبود نیتروژن باعث کاهش سنبلچه‌ها می‌شود ،همچنین کمبود نیتروژن در مرحله ساقه‌دهی و گلدهی باعث چروکیده شدن دانه‌ها و کاهش وزن هزار دانه از ۴۰ گرم به ۳۲ گرم می‌شود (Hiroshi et al., 2007). حجارپور و همکاران (Hajjarpoor et al., 2015) با بررسی خلأ عملکرد گندم آبی در گرگان گزارش کردند که مصرف بهینه کودهای نیتروژن باعث رفع ۲۵ درصد خلأ عملکرد می شود. خلأ عملکرد آب محدود ،کمتر از نیتروژن بود که علت آن تعداد آبیاری بالا در مناطق مورد بررسی بود. البته در برخی از مناطق میزان آن نسبتا بالا بود که علت آن مربوط به دمای منطقه مورد مطالعه بود. به عنوان مثال همانطور که در جدول ۱ دیده می شود تعداد آبیاری در شهرستان پلدختر در منطقه بروجرد بیشتر بود در حالی که در این منطقه میزان خلأ عملکرد آب محدود بیشتر بود که ناشی از دمای بالاتر منطقه پلدختر نسبت به بروجرد بود. در زمینه خلأ عملکرد ناشی از سایر عوامل محدود کننده و کاهنده کمترین میزان را در بین خلأهای عملکرد مختلف به خود اختصاص داد. با این وجود در برخی مناطق مقدار قابل توجهی را به خود اختصاص داد. بنابراین پرداختن

به سایر عوامل مانند کنترل علف های هرز، آفات و بیماری ها و همچنین بهبود روش‌های مکانیزه کاشت و حاصلخیزی خاک می‌تواند به کاهش این خلأ عملکرد و به موازت آن کاهش خلأ عملکرد کل در منطقه خرم آباد کمک کند. خالقانی (Khaleghani, 2008) گزارش کرد که عدم مدیریت مناسب علف های هرز در مزارع کشور منجر به کاهش ۲۳ درصدی عملکرد می‌شود. از طرفی دیگر شهبازی و بشارتی (Shahbazi & Besharati, 2013) گزارش کردند که ۶۳، ۴۲ و ۲۱ درصد از اراضی کشاورزی کشور به ترتیب با کمبود موادآلی، فسفر و پتاسیم مواجه هستند.

نتیجه گیری

نتایج نشان داد که مدل APSIM-wheat توانست رشد، نمو و عملکرد گیاه گندم آبی رقم چمران را تحت شرایط مختلف مدیریتی شامل تیمارهای آبیاری، نیتروژن و تاریخ کاشت را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند. نتایج نشان داد که در حال حاضر در بوم‌نظام‌های زراعی گندم آبی لرستان عملکرد قابل دستیابی برابر با ۷۱۷۹/۲ است. این در حالی هست که کشاورزان در حال حاضر ۴۱ درصد عملکرد قابل دستیابی را تولید می‌کنند. به بیان دیگر، در حال حاضر خلاء عملکرد کل گندم آبی در بوم‌نظام‌های زراعی استان لرستان برابر با ۵۹ درصد می‌باشد. همچنین نتایج مشخص کرد که بیشترین سهم خلأ عملکرد کل مربوط به عدم کاربرد مدیریت بهینه کود نیتروژن می‌باشد که در صورت به کارگیری مدیریت بهینه کود نیتروژن ،خلأ عملکرد کل در سطح همه‌ی مناطق مورد بررسی در استان لرستان به طور قابل توجهی کاهش پیدا خواهد کرد. نتایج بیان داشت که مدیریت بهینه آبیاری در مناطق گرم، اهمیت بیشتری در کاهش خلأ عملکرد دارد و در برخی مناطق مانند شهرستان خرم آباد مدیریت سایر عوامل کاهنده و محدود کننده عملکرد (علف های هرز، بیماری و آفات) می‌تواند نقش بسزایی در کاهش خلأ عملکرد کل داشته باشد.

References

1- Ahmed, M., Aslam, M.A., Asif, M., & Hayat, R. (2014). Use of APSIM to model nitrogen use efficiency of rain-fed wheat. *International Journal of Agriculture and Biology*, *16*(3), 461-470.

2- Amiri, S., Eyni-Nargeseh, H., Rahimi-Moghaddam, S., & Azizi, K. (2021). Water use efficiency of chickpea agro-ecosystems will be boosted by positive effects of CO_2 and using suitable genotype× environment× management under climate change conditions. *Agricultural Water Management*, *252*, 106928. https://doi .org/10.1016 /j.agwat .2021.106928.

3- Anonymous. (2017). *Agricultural Statistics*. Department of Planning and Economy. Information and Communication Center. Ministry of Agriculture Jihad, Iran. (In Persian).

4- Archontoulis, S.V., Miguez, F.E., & Moore, K.J. (2014). Evaluating APSIM maize, soil water, soil nitrogen, manure, and soil temperature modules in the Midwestern United States. *Agronomy Journal*, *106*(3), 1025-1040.

5- Baygi, Z., Saifzadeh, S., Shirani Rad, A.H., Valadabadi, S.A., & Jafarinejad, A. (2017). Investigating the effects of sowing date on growth indices and yield and yield components of spring wheat cultivars in Neyshabur. *Applied Research in Field Crops*, *30* (2), 1-18. (In Persian with English abstract)

6- Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., & Bussière, F. (2003). An overview of the crop model STICS. *European Journal of Agronomy*, *18* (3-4), 309-32. https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00110-7.

7- Chapagain, T., & Good, A. (2015). Yield and production gaps in rainfed wheat, barley, and canola in Alberta. *Frontiers in Plant Science*, 6, 990. https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00990 .

8- Deihimfard, R., Nassiri Mahallati, M., & Koocheki, A. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modeling. *Field Crops Research*, 184, 28-38. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.09.002 .

9- Deihimfard, R. 2011. Analysis of yield gaps of wheat and sugarbeet in Khorasan province using simulation modelling. In: Ph.D. Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. 181 p. (In Persian with English abstract).

10- Enayatgholizadeh, M.R., Fathi, G., & Razaz, M. (2011). Evaluation grain yield and yield component of three wheat cultivars to drought stress and different levels of nitrogen. *Journal of Crop Ecophysiology*, *5* (17), 1-14. (In Persian with English abstract).
11- Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., & McKenzie, K. (2016). Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Field Crops Research*, *196*, 276-283. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.011
12- Gaydon, D.S., Wang, E., Poulton, P.L., Ahmad, B., Ahmed, F., Akhter, S., Ali, I., Amarasingha, R.P., Chaki, A.K., Chen, C., & Choudhury, B.U. (2017). Evaluation of the APSIM model in cropping systems of Asia. *Field Crops Research*, *204*, 52-75.
13- Gireesh, S., Kumbhare, N.V., Nain, M.S., Kumar, P., & Gurung, B. (2019). Yield gap and constraints in production of major pulses in Madhya Pradesh and Maharashtra. *Indian Journal of Agricultural Research*, *53*(1), 104-107. https://doi.org/10.18805/ijare.a-5067
14- Hajjarpoor, A., Soltani, A., & Torabi, B. (2015). Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, *8*, 183-201. (In Persian with English abstract).
15- Hiroshi, N., Satoshi, M., & Kusuda, O. (2007). Effect of nitrogen application rate and timing on grain yield and protein content of the bread cultivar in south western Japan. *Plant Production Science*, 11, 151-157. https://doi.org/10.1626/pps.11.151 .
16- Hochman, Z., Carberry, P.S., Robertson, M.J., Gaydon, D.S., Bell, L.W., & McIntosh, P.C. (2013). Prospects for ecological intensification of Australian agriculture. *European Journal of Agronomy*, *44*, 109-123. https://doi.org/10.1016/j.eja.2011.11.003 .
17- Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J.N., & Horan, H. (2012). Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. *Field Crops Research*, *136*, 85-96. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.07.008 .
18- Holzworth, D.P., Huth, N.I., deVoil, P.G., Zurcher, E.J., Herrmann, N.I., McLean, G., Chenu, K., van Oosterom, E.J., Snow, V., Murphy, C., & Moore, A.D. (2014). APSIM–evolution towards a new generation of agricultural systems simulation. *Environmental Modelling & Software*, *62*, 327-50.
19- Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N., Meinke, H., Hochman, Z., & McLean, G. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, *18* (3), 267-288. https://doi.org/10.1016/s1161-0301(02)00108-9 .
20- Khaleghani, J. (2008). Assessing the weed damage to wheat fields. Final report of the research project. Iranian Research Institute of Plant Protection. 101 p. (In Persian with English abstract).
21- Kpongor, D.S. (2007). Spatially explicit modeling of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) production on complex terrain of a semi-arid region in Ghana using APSIM. Ph.D. Dissertation. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn, Germany.
22- Lobell, D.B., Cassman, K.G., & Field, C.B. (2009). Crop yield gaps: Their importance, magnitudes and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, *34*, 179-204. https://doi.org/10.1146/annurev.environ.041008.093740 .
23- Madani, A., Makarem, A.H., Vazin, F., & Joudi, M. (2012). The impact of post-anthesis nitrogen and water availability on yield formation of winter wheat. *Plant, Soil and Environment*, *58*(1), 9–14. https://doi.Org /10.17221/299/2011-pse .
24- Mawalagedera, S.M.M.R., Nigussie, T., McMurray, L., Walelea, C., & Brand, J.D. (2022). Yield gap of winter pulses in South Eastern Australia. Proceedings of the 20th Australian Agronomy Conference, 18-22 September 2022, Toowoomba, Qld, Australia.
25- Mendenhall, W., Sincich, T., & Boudreau, N.S. (1996). *A Second Course in Statistics: Regression Analysis* (Vol. 6). Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey.
26- Mokhtassi- Bidgoli, A. (2013). Quantifying the population dynamics of flixweed (*Descurainia sophia*) in bread wheat under different water and nitrogen regimes. Ph.D. Dissertation, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, pp. 184 p. (In Persian with English abstract).
27- Prescott, J.A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, *6*, 114-118 .

28- Rahimi-Moghaddam, S., Deihimfard, R., Azizi, K., & Roostaei, M. (2021). Characterizing spatial and temporal trends in drought patterns of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) across various climatic conditions: A modelling approach. *European Journal of Agronomy*, *129*, 126333. https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126333
29- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2018). Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: A model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, *253*, 1-14. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.01.032 .
30- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicators*, *107*, 105570. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105570 .
31- Reddy, K.R., & Hodges, H.F. (2000). Climate change and global crop productivity. *Biologia Plantarum*, *43*, 1-5. https://doi.org/10.1079/9780851994390.0001 .
Sarlio-Lahteenkorva, S., & Lahelma, E. (2008). Food insecurity is associated with past and present economic disadvantage and body mass index. *Journal of Food and Nutrition*, *131*, 2880-2884. https://doi.org /10.1093 /jn /131.11.2880.
33- Saxton, K.E., & Willey, P.H. (2006). The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. *Watershed Models*, 401-435. https://doi.org/10.1201/9781420037432-29 .
34- Seifert, E. (2014). OriginPro 9.1: Scientific data analysis and graphing software—Software review. *Journal of Chemical Information and Modeling*, *54*(5), 1552–1552. https://doi.org/10.1021/ci500161d .
35- Shahbazi, K., & Besharati, H. (2013). Overview of agricultural soil fertility status of Iran. *Land Management Journal 1*: 1-15. (In Persian with English abstract).
36- van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research*, *143*, 4-17.
37- van Loon, M.P., Deng, N., Grassini, P., Rattalino, E., Juan, I., Wolde-meskel, E., Baijukya, F., Marrou, H., & van Ittersum, M.K. (2018). Prospect for increasing grain legume crop production in East Africa. *European Journal of Agronomy*, *101*, 140–148. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009 .
38- van Wart, J., van Bussel, L.G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N.D., Claessens, L., & van Ittersum, M.K. (2013). Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, *143*, 44-55. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.09.009 .
39- Wallach, D., & Goffinet, B. (1987). Mean squared error of prediction in models forstudying economic and agricultural systems. *Biometrics*, *43* 561–576. https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.09.004 .
40- Willmott, C.J. & Matsuura, K. (2005) Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate Research*, *30*, 79-82. http://dx.doi.org/10.3354/cr030079
41- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *63*, 1309–1313. https://doi.org/10.2307/2531995 .
42- Zahed, M., Soltani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E., & Alimagham, S. (2019). Modeling of irrigated wheat yield potential and gap in Iran. *Journal of Crop Production*, *12*(3), 35-52. (In Persian with English abstract).

Contents

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 16 No. 2 2024

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Behnam Kamkar

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel

Publisher: Ferdowsi University of Mashhad Press
Address: Journal of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad,
P.O. Box: 91775-1163, Mashhad, Iran
Tel: +98-51– 38804654
Fax: +98–51–38787430
Email: agroecology@um.ac.ir
Web site: http://agry.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Agroecology

Vol. 16 No. 2

Summer 2024

ISSN: 2008-7713

Contents