

نشریه علمی بوم‌شناسی کشاورزی (فصلنامه)



شماره ۱

جلد ۱۳

Vol. 13

No. 1

بهار ۱۴۰۰

Spring 2021

Journal of Agroecology (Quarterly)

ISSN: 2008-7713

۲۰۰۸-۷۷۱۳:شاپا

(شماره پیاپی ۴۷)

عنوان مقالات

- تأثیر تنوع کارکردی چند گیاه دارویی بر ترکیب، تراکم و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های کشاورزی ۱
علیرضا کوچکی، الهام عزیزی، لیلا تبریزی و سارا بخشایی
- بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیک و شیمیایی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و عملکرد روغن دانه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) ۲۳
رضوان سهرابی، پرویز رضوانی مقدم، رضا قربانی و علیرضا آستارایی
- ارزیابی تأثیر رگه‌های سبز چشم‌اندازها بر تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی ۳۹
رضا رستمی، علیرضا کوچکی، پرویز رضوانی مقدم و مهدی نصیری محلاتی
- بیهیه‌سازی مصرف کود نیتروژن و آب در چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌سازی سطح- پاسخ ۵۷
حامد منصوری، حمید نوشاد و مهدی حسینی
- تأثیر کودهای بیولوژیک، شیمیایی و اسید هیومیک بر برخی پارامترهای میکروبی و عناصر خاک، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نناع گره‌ای (*Nepeta cataria* L.) ۷۳
پریا بویری ده شیخ، محمد محمودی سورستانی، مریم ذوالفقاری و نعیمه عنایتی ضبیر
- اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) ۸۹
اردلان قیلاوی‌زاده، اسماعیل حدیدی ماسوله، حمیدرضا ذاکرین و سید علیرضا ولدآبادی
- شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم ۱۰۳
ندا شریفی حداد، رضا دیهم‌فرد، امید نوری و سجاد رحیمی مقدم
- اثر تیمارهای مدیریتی و گیاهان پوششی بر جمعیت علف‌های هرز و عملکرد دو رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) ۱۱۷
بیژن صبوری، سرور خرم‌دل، علیرضا کوچکی و هدا لطیفی
- مقایسه ردپای بوم‌شناختی، ردپای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ۱۳۵
مرتضی سیاوشی و سلمان دستان
- استفاده از مدل SSM-iCrop برای پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط ایران ۱۵۲
سمانه رهیان، بنیامین ترابی، افشین سلطانی و ابراهیم زبیلی

Contents

- The Investigation of Functional Diversity Effect on Composition, Density and Diversity Indices of Weeds in some Medicinal Plants 20
A. Koocheki, E. Azizi, L. Tabrizi and S. Bakhshae
- Effect of Organic, Biological and Chemical Fertilizers on Yield, Yield Components and Oil Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.) 37
R. Sohrabi Renani, P. Rezvani Moghaddam, R. Ghorbani and A.R. Astaraie
- Greenveining Elements of the Landscape Structure as the Main Supporter of Biodiversity in Agroecosystems 55
R. Rostami, A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam and M. Nassiri Mahallati
- Optimization of Nitrogen Fertilizer and Water Consumption in Sugar Beet by using Response-Surface Method 71
H. Mansouri, H. Noshad and M. Hassani
- The Effects of Biological, Chemical Fertilizers and Humic Acid on some Microbial Parameters, Elements and Oil Quantity and Quality of Catnip (*Nepeta cataria* L.) 87
P. Boveiri Dehsheikh, M. Mahmoodi Sourestani, M. Zolfaghari and N. Enayati Zamir
- Effect of Drought Stress and Different Concentrations of Salicylic Acid on Yield, Yield Components and Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) 100
A. Ghilavizadeh, E. Hadidi Msouleh, H. Zakerin and S.A. Valadabadi
- Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency in Dominant Maize Cultivars under Water Limited and Climate Change Conditions 114
N. Sharifi-Haddad, R. Dehimiard, O. Noori and S. Rahimi-Moghaddam
- Effects of Weed Management Treatments and Cover Crops as Winter Plating on Weed Population and Yield of Two Cultivars of Tomato 132
B. Sabouri, S. Khorramdel, A. Koocheki and H. Latifi
- Comparsion of Ecological Footprint, Water Footprint and Environmental Impacts of Irrigated and Rainfed Wheat Production Systems Based on Farm Size (Case Study: Boushehr Region) 154
M. Siavoshi and S. Dastan
- Using SSM-iCrop Model to Predict Phenology, Yield and Water Productivity of Canola (*Brassica napus* L.) in Iran Condition 176
S. Rahban, B. Torabi, A. Soltani and E. Zeinali

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.

جلد ۱۳ شماره ۱ بهار ۱۴۰۰

صاحب امتیاز و ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

سردبیر: دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

اعضای هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر گودرز احمدوند، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

دکتر محمد پسرکلی، استاد پژوهشی، دانشکده علوم گیاهی، دانشگاه آریزونا

دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر عادل دباغ محمدینسب، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر مهدی راستگو، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر پرویز رضوانی مقدم، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر احمد زارع فیض آبادی، استاد مرکز تحقیقات کشاورزی خراسان رضوی

دکتر سعید زهتاب سلماسی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

دکتر حمید شاهنده، پژوهشگر علوم خاک، گروه علوم خاک و گیاهان زراعی، دانشگاه تگزاس A & M

دکتر رضا قربانی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر علیرضا کوچکی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

دکتر محمد گلوی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

دکتر مهدی نصیری محلاتی، استاد دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر داخلی: دکتر سرور خرم دل، دانشیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چاپ: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، دفتر نشریه بوم شناسی کشاورزی، صندوق

پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴

پست الکترونیکی: agroecology@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت مجله به آدرس زیر بصورت مقاله کامل نمایه شده است.

<http://agry.um.ac.ir/index.php/agroecology>

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

پایگاه استنادی جهان اسلام (ISC) پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID) بانک اطلاعات نشریات کشور (MAGIRAN)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

- ۱ تأثیر تنوع کارکردی چند گیاه دارویی بر ترکیب، تراکم و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های کشاورزی
علیرضا کوچکی، الهام عزیزی، لیلا تبریزی و سارا بخشایی
- ۲۳ بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیکی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و عملکرد روغن دانه سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.)
رضوان سهرابی، پرویز رضوانی مقدم، رضا قربانی و علیرضا آستارایی
- ۳۹ ارزیابی تأثیر رگه‌های سبز چشم‌اندازها بر تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی
رضا رستمی، علیرضا کوچکی، پرویز رضوانی مقدم و مهدی نصیری محلاتی
- ۵۷ بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن و آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌سازی سطح - پاسخ
حامد منصوری، حمید نوشاد و مهدی حسنی
- ۷۳ تأثیر کودهای بیولوژیک، شیمیایی و اسید هیومیک بر برخی پارامترهای میکروبی و عناصر خاک، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria* L.)
پریا بوری ده شیخ، محمد محمودی سورستانی، مریم ذوالفقاری و نعیمه عنایتی ضمیر
- ۸۹ اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)
اردلان قیلاوی‌زاده، اسماعیل حدیدی ماسوله، حمیدرضا ذاکرین و سید علیرضا ولدآبادی
- ۱۰۳ شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم
ندا شریفی حداد، رضا دیهیم‌فرد، امید نوری و سجاد رحیمی مقدم
- ۱۱۷ اثر تیمارهای مدیریتی و گیاهان پوششی بر جمعیت علف‌های هرز و عملکرد دو رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.)
بیژن صبور، سرور خرم‌دل، علیرضا کوچکی و هدا لطیفی
- ۱۳۵ مقایسه رد پای بوم‌شناختی، رد پای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه (مطالعه موردی: منطقه بوشهر)
مرتضی سیاوشی و سلمان دستان
- ۱۵۷ استفاده از مدل SSM-iCrop برای پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط ایران
سمانه رهبان، بنیامین ترابی، افشین سلطانی و ابراهیم زینلی

اسامی ارزیابان جلد ۱۳ شماره ۱ (بهار ۱۴۰۰) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر الهه برومند رضازاده	شرکت صنایع غذایی به آرا
دکتر محمد بنایان اول	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر لیلا جعفری	دانشگاه هرمزگان
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر عادل دباغ محمدی نسب	دانشگاه تبریز
دکتر پرویز رضوانی مقدم	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حسین صباحی	دانشگاه تربت حیدریه
دکتر فرزین عبدالهی	دانشگاه هرمزگان
دکتر مهدی فراوانی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر روح اله مرادی	دانشگاه کرمان
دکتر فرزاد مندنی	دانشگاه رازی کرمانشاه
دکتر سیدکریم موسوی	مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان
دکتر سید یوسف موسوی طغانی	دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
دکتر عبدالمجید مهدوی دامغانی	دانشگاه شهید بهشتی
دکتر رامین نظریان	دانشگاه هرات، افغانستان
دکتر شهرام نوروززاده	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان رضوی
دکتر رستم یزدانی بیوکی	سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز ملی تحقیقات شوری

Introduction to the Persian Journal of Agroecology

It is very appropriate that a new Journal of Agroecology has appeared in a part of the world that history tells us is where some of the earliest organized crop farmers and animal managers in the world first began their work. The traditional farmers of the Persian region are famous for their ability to design and manage sustainable agroecosystems, making them some of the first agroecologists. Their extensive knowledge about water conservation, dryland farming, irrigation, crop and animal domestication, to name a just few of their abilities, have long served as models of wise natural resource management under limiting environmental conditions.

Traditional agroecosystems have developed in the region that are complex systems of interrelated activities focused on the work of each household unit, and their relationships with local communities. Crop farming, animal husbandry, and local handicrafts all combine to provide year-round participation of the entire family. A large variety of animal and plant products, available throughout the year, provide food security that withstands major environmental limitation (especially from drought) and socio-economic uncertainty (especially from market fluctuations). But perhaps most importantly, many farmers of the region live and work within the limitations of the ecological backdrop within which they are located, using local resources and inputs. The ecological and social sustainability of agriculture in such systems is strongly interdependent.

But modern agriculture in the region, as in most parts of the world today, is rapidly displacing this local, traditional knowledge. New sources of energy and technology, most often dependent on non-renewable and costly external inputs, have helped raise yields dramatically. A strong focus has been placed on production for distribution to distant markets that are not in touch with the local understanding of the limits to agroecosystem design and management.

Over the past few decades, the long-term costs and liabilities of the introduction of these modern farming techniques have been documented. Soil and water degradation, loss of agricultural biodiversity, contamination of air and water by pesticides and fertilizers, and increased pest and disease resistance to agrichemicals, are just a few of the environmental problems faced by agriculture today. And the loss of productive agricultural land to urban and industrial development, the displacement of farmers from the land to the cities, and the frequent hunger and poverty in rural regions have become all too common problems on the social side of agriculture.

This journal offers a forum for the re-building of a sustainable agriculture for the region. Using the ecological concepts and principles, local agroecologists can provide a firm foundation for designing and managing the sustainable agriculture of the future. On the one hand, agroecological studies of traditional agriculture can point out the strengths and values of local knowledge. On the other hand, an agroecological analysis of modern agriculture can point out both the strengths as well as the weaknesses of new technologies. A combination of local knowledge and new understanding, all tested by an analysis of sustainability, can once again provide the natural resource conserving, economically sound, and socially equitable agriculture needed for the future.

I congratulate Dr. Alireza Koocheki and Dr. Reza Ghorbani of the Faculty of Agriculture at Ferdowsi University in Mashhad, Iran, for this big step forward for agroecology and sustainable food systems. They are both pioneers in this field and a valuable example for students and farmers of the region.

Steve Gliessman
Ruth and Alfred Heller Professor of Agroecology
University of California, Santa Cruz
March 2010

سخن سردبیر

در حال حاضر بوم‌نظام‌های تولید غذا در جهان با اتکاء به دستاوردهای حاصل از تکنولوژی‌های جدید، توانسته است از دیدگاه کمی غذای مورد نیاز جمعیت کره زمین را تولید نماید، ولی از نظر کیفی هنوز بیش از یک میلیارد و دویست میلیون نفر در گرسنگی یا سوء تغذیه بسر می‌برند و این در حالی‌ست که بوم‌نظام‌های فعلی تولید غذا با مشکلات بسیاری از جمله فرسایش خاک، بحران آب، تخریب زمین‌های حاصلخیز، مقاومت علف‌های هرز و آفات به علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، طغیان آفات و بیماری‌های ناشی از تدوام بوم‌نظام‌های تک کشتی، اثرات منفی حاصل از انتشار گازهای گلخانه‌ای بدلیل استفاده از تکنولوژی‌های مدرن وابسته به سوخت‌های فسیلی در تولید غذا با چالش‌های فراوانی روبرو است. بدون تردید ادامه چنین روندی پایدار نیست و در نتیجه تولید مواد غذایی به شکل فعلی آن نمی‌تواند ادامه داشته باشد.

به همین دلیل امروزه دیدگاه‌های جهانی نسبت به تولید غذا و فعالیت‌های کشاورزی به سرعت در حال تغییر است. موضوع تولیدات کشاورزی و غذا از نوع صرفاً فنی به موضوعی کاملاً پیچیده از ابعاد زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و سیاسی تبدیل شده است. علاوه بر آن، عقیده بر این است خدمات یک بوم‌نظام تنها آن چیزی نیست که بطور مستقیم تولید می‌کند، بلکه خدمات مجازی یا پنهان آن می‌تواند ارزشی به مراتب فراتر از تولید مستقیم آن داشته باشد. به همین دلیل اصطلاحاً کشاورزی را نیز باید از ابعاد چند کارکردی نگریست و در قالب محیط زیست آن را مدیریت کرد و منابع زیست محیطی آن را افزایش داد. برای رسیدن به این هدف به نظر می‌رسد طراحی مجددی را برای بوم‌نظام‌های کشاورزی ضروری باشد.

بوم‌شناسی کشاورزی علمی جامع و همه‌جانبه نگر بوده و کلیه جنبه‌های فرآیند تولید غذا از زنجیره تولید تا مصرف را مورد نظر دارد. بدون تردید بهره‌گیری از مبانی بوم‌شناختی در تولید مواد غذایی نه تنها شناخت بیشتری را می‌طلبد، بلکه فرآیندی درازمدت و با ثبات بوده و برای ارزیابی آن باید مقیاس زمانی طولانی‌تری را مدنظر قرار داد. طراحی بوم‌نظام‌های کشاورزی بر چنین مبانی، مراحل مختلفی از جمله مرحله بالابردن کارایی و بهره‌وری نهاده‌ها، جایگزینی عملیات و نهاده‌های بوم سازگار و در نهایت، مرحله تجدید ساختار بوم‌نظام را دربردارد. به نظر می‌رسد که پیمودن چنین راهی جز با تغییر نگرش‌ها و بازتعریف مفاهیم رایج در فرآیندی تدریجی میسر نخواهد بود.

نشریه بوم شناسی کشاورزی هنوز در ابتدای راه موفقیت قرار دارد. هدف دست اندرکاران نشریه در سال جاری و سال‌های آینده بهبود کمی و کیفی مقالات منتشر شده و اقدام در جهت نمایه نمودن نشریه در فهرست مجلات ISI می‌باشد، لذا راهنمای نگارش مقالات مطابق با استانداردهای اعلام شده آن مؤسسه باشد.

بدیهی است که ادامه و پیشرفت کمی و کیفی یک مجله به ارتباط علمی با تمامی همکاران گرامی دانشگاهی، پژوهشگران محترم مراکز پژوهشی، دانشجویان عزیز و سایر علاقمندان علم بوم‌شناسی کشاورزی و استفاده از رهنمودها و تجارب ارزشمند آنها بستگی دارد. لذا از کلیه عزیزان دعوت می‌شود تا با ارسال نتایج ارزشمند تحقیقاتی خود و کمک در داوری مقالات ما را جهت پُر بارتر کردن مطالب مجله، یاری دهند. از خوانندگان محترم درخواست می‌گردد با ارسال انتقادات و پیشنهادات سازنده خود، ما را در جهت ارتقای هر چه بیشتر کیفیت نشریه بهره‌مند فرمایند.

با احترام، پرویز رضوانی مقدم

سردبیر نشریه بوم‌شناسی کشاورزی



به نام خدا



پذیرش مقاله برای چاپ در نشریه

مقدمه

گرچه دستاوردهای کشاورزی صنعتی در تولید مواد غذایی غیرقابل انکار است، ولی پیامدهای منفی ناشی از آن نیز از ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی قابل توجه است. فرسایش خاک و منابع ژنتیکی، آلودگی منابع آب و خاک، آلودگی مواد غذایی به بقایای مواد شیمیایی و افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین، تنها بخشی از مشکلات ناشی از فعالیت‌های بی‌رویه کشاورزی توسط انسان است. به همین دلیل، امروزه در جستجو برای نوعی کشاورزی جایگزین، به کاربرد مبانی بوم‌شناسی در عملیات کشاورزی توجه خاصی معطوف شده است. چنین رهیافتی جز با نگرشی نظام‌مند به کشاورزی و در چارچوب آنچه که به اصطلاح اکوسیستم (بوم‌نظام) نامیده می‌شود، میسر نخواهد بود و بدین ترتیب طراحی بوم‌نظام‌هایی با اتکاء به اصول بوم‌شناختی را ضروری می‌سازد. آنچه در کشاورزی بوم‌سازگار مطرح است نگاهی جامع به مجموعه‌ای از کارکردها است که هدف از آن تنها کسب محصول صرفاً اقتصادی نیست و عملکرد مفهومی فراتر از مفهوم رایج آن، به عنوان تنها بخشی از کارکرد یک بوم‌نظام کشاورزی، را در بر می‌گیرد. در همین چارچوب در بوم‌نظام‌های کشاورزی در حقیقت کسب عملکرد بیشینه هدف نیست، بلکه عملکردی پایدار و چندمنظوره مورد نظر است که از جنبه‌های مختلف اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و فنی قابل حصول و قابل توجیه باشد.

گرچه چنین نگرشی از سابقه بسیار طولانی در تمدن تولید مواد غذایی ایران برخوردار است ولی در قالب نوین آن در کشور ما کمتر از دو دهه است که مطرح شده است. خوشبختانه هم‌اکنون زیرساخت‌های ضروری برای تحکیم بخشیدن به چنین نگرشی کاملاً فراهم است و در دانشکده‌های کشاورزی کشور نه تنها دوره‌های کارشناسی ارشد و دکترا در رشته کشاورزی بوم‌سازگار دایر شده است، بلکه حجم قابل ملاحظه‌ای از مقالات علمی که در حال حاضر در نشریات رایج علمی- پژوهشی کشاورزی منتشر می‌شود، بر همین مبنا است. به همین دلیل در مقطع زمانی کنونی برای سامان بخشیدن به این یافته‌های علمی در قالب یک مجموعه تخصصی، ضرورت انتشار مجله‌ای علمی تحت عنوان «بوم‌شناسی کشاورزی» بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود. چون نقطه ثقل چنین مجله‌ای «بوم‌شناسی» است، لذا اطلاعات علمی مرتبط با فعالیت‌های کشاورزی که بر این مبنا استوار باشد متناسب با این مجله می‌باشد.

با توجه به سابقه گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در رابطه با کشاورزی بوم‌سازگار، این مجله توسط این گروه و سالانه در چهار شماره در زمینه‌های زیر منتشر خواهد شد:

- فعالیت‌های پژوهشی کشاورزی با اتکاء به حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست و افزایش کارآیی و بهره‌وری منابع آب و خاک و نهاده‌های شیمیایی
- مدیریت زراعی در رابطه با کاربرد نهاده‌های بیولوژیک
- عملیات خاک ورزی حفاظتی و فعالیت‌های مرتبط با آن
- مدیریت زراعی با حداقل اتکاء به نهاده‌های خارج از مزرعه
- عملیات زراعی در رابطه با کشت‌های مخلوط و کشت گیاهان پوششی
- عملیات تلفیقی در مدیریت زراعی
- بهره‌برداری از منابع غیر رایج آب و خاک
- استفاده از گیاهان زراعی فراموش شده و جدید
- بهره‌گیری از روابط کمی در عوامل تولید و مدل‌سازی رشد و نمو گیاهی
- روش‌های پایش عملکرد و مطالعات ارزیابی خلاء عملکرد
- کاربرد اصول فیزیولوژی در شناخت روابط اکولوژیک و افزایش کارآیی تولیدات زراعی
- ارزیابی چرخه‌های حیات در تولیدات زراعی
- پهنه‌بندی‌های اقلیمی و ناحیه‌بندی اگر و اکولوژیکی
- استفاده از بقایای محصولات زراعی در تهیه سوخت‌های زیستی
- استفاده از انرژی‌های جایگزین در اکوسیستم‌های کشاورزی
- کاربرد کودهای بیولوژیک، استفاده از میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
- کاربرد کمپوست و فرآورده‌های مشابه
- اصلاح خاک از طریق فرآورده‌های بیولوژیک
- مدیریت اکولوژیک آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز با استفاده از روابط بیولوژیکی و عملیات تلفیقی
- عملیات ترسیب کربن و کاهش گازهای گلخانه‌ای
- استفاده از گیاهان دارویی در تناوب و یا بصورت همراه با محصولات زراعی
- عملیات زراعی در جهت بهبود تنوع زیستی
- بوم‌شناسی کشاورزی و دانش بومی
- تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی تولید محصولات زراعی با اتکاء به دیدگاه‌های بوم‌شناختی و اقتصاد اکولوژیک

راهنمای نحوه نگارش و تهیه مقالات

- از آنجایی که هدف مجله "بوم‌شناسی کشاورزی" پیوستن به فهرست مجلات ISI می‌باشد، رعایت موارد زیر در نوشتن مقاله ضروری خواهد بود.
- متن مقاله روی کاغذ A4 با فاصله ۱ بین خطوط و دو و نیم سانتی‌متر از حاشیه‌ها و با نرم‌افزار MS-Word با قلم میترا اندازه ۱۲ تایپ شود و شکل‌ها و جداول نیز به همین نرم‌افزار منتقل شوند. عناوین شکل‌ها و جداول به دو زبان فارسی و انگلیسی در نرم‌افزار MS-Word و مجزا از شکل با قلم بی میترا (B Mitra) و اندازه ۱۲ با فاصله خط ۱ نوشته شوند. کلیه شکل‌ها و جداول بدون کادر باشند.
- تعداد صفحات مقاله حداکثر ۲۰ صفحه تعیین گردیده است.
- کلیه واحدهای اندازه‌گیری بر اساس سیستم متریک باشند.
- کلیه سطرهای متن مقاله بصورت ادامه‌دار (Continuous) شماره‌گذاری (Line numbering) شوند.
- هر مقاله باید شامل بخشهای مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث، نتیجه‌گیری، سپاسگزاری، فهرست منابع و چکیده مبسوط کاملاً تفکیک و محتوای آنها متناسب با عنوان هر قسمت باشد.
- **عنوان مقاله** کوتاه و معرف کامل موضوع تحقیق بوده، حداکثر ۲۰ کلمه و با قلم بی میترا (B Mitra) اندازه ۱۴ نوشته شود.
- **صفحه مشخصات مقاله** شامل موارد: عنوان مقاله، مشخصات نویسنده یا نویسندگان شامل نام و نام‌خانوادگی، درجه علمی، آدرس پستی و الکترونیکی، تلفن تماس، نام نویسنده مسئول به زبان فارسی و سپس عنوان انگلیسی مقاله، نام و نام‌خانوادگی، درجه علمی و آدرس نویسندگان به زبان انگلیسی نوشته شوند (بدون شماره صفحه).
- **در صفحه نخست** عنوان مقاله به فارسی، چکیده مقاله و کلمات کلیدی (بدون ذکر نام نویسندگان) آورده شوند.
- **چکیده مبسوط باید بر مبنای دستورالعمل زیر تهیه شود:**
- این چکیده که جایگزین چکیده کوتاه است بایستی بین ۷۰۰-۶۰۰ واژه بوده و به تفکیک دارای اجزای زیر باشد:

1. Title

2. Introduction

3. Materials and Methods

4. Results and Discussion

5. Conclusion

6. Acknowledgements

7. Keywords

- همچنین بین قسمتهای چکیده مبسوط تناسب منطقی برقرار باشد، بدین معنی که ۳۰٪ مربوط به مقدمه، ۲۰٪ مواد و روش‌ها و ۵۰٪ مربوط به نتایج و بحث باشد و در انتها هم یک نتیجه‌گیری کلی نوشته شود.
- **کلمات کلیدی** در انتهای چکیده و حداکثر شش کلمه آورده شوند. کلمات کلیدی در عنوان مقاله وجود نداشته باشند.
- **در متن مقاله** نحوه رجوع به منابع بصورت اسم نویسنده (نویسندگان) و تاریخ انتشار منبع باشد. در ارجاع به منابع باید تا حد ممکن از نام بردن افراد در شروع جمله خودداری و منابع در انتهای جمله و در پرانتز ارائه شوند مانند: (Mohamadi, 2007).

برای جداسازی منابع در انتهای جمله از "؛" استفاده می‌شود مثال: (Smith, 1999; Samuel et al., 2008; Smith & Samuel, 2009).

- چنانچه در شروع جمله به منبعی استناد شود به صورت نام (سال) نوشته شود و اسامی فارسی نیز باید به لاتین و سال شمسی به میلادی برگردان شوند. نحوه ارجاع به منابع دارای یک نگارنده، دو نگارنده و چند نگارنده که در ابتدای جمله قرار گیرند به ترتیب زیر انجام گیرد: (Smith (1999, Smith & Samuel (2009) و Samuel et al. (2008).

- **جداول و شکل‌ها:** در تنظیم جداول از خطوط افقی و عمودی استفاده نشود مگر در بالا و پایین سطر اول جدول و پایین آخرین سطر آن. هر ستون جدول باید دارای عنوان و واحد مربوط باشد. ترجمه انگلیسی عنوان و زیر عنوان‌های جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملاً انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل‌ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.

- **صفحه آخر** شامل عنوان مقاله، چکیده انگلیسی و کلمات کلیدی همگی به زبان انگلیسی بوده و از ذکر اسامی و آدرس نویسندگان در این صفحه خودداری شود. چکیده انگلیسی برگردان کامل چکیده فارسی باشد.

فهرست منابع:

الف- کلیه منابع فارسی و انگلیسی به زبان انگلیسی و با قلم Times New Roman اندازه ۱۲ در فهرست منابع نوشته شوند. در نوشتن لیست منابع در قسمت فرمت Hanging اندازه ۵/۰ انتخاب گردد.

ب- کلیه منابع فارسی به زبان انگلیسی برگردان شده و در آخر هر منبع، در صورت داشتن خلاصه انگلیسی (In Persian with English Summary) و در صورت نداشتن خلاصه انگلیسی داخل پرانتز (In Persian) نوشته شود.

ج- در نوشتن منابع، اسامی مجلات بصورت کامل نوشته شوند.

د- در صورتی که در نوشتن منابع مقاله از برنامه EndNote استفاده می‌شود، در قسمت Bibliography style نوع Agri Ecosys Enviro انتخاب گردد.

مثال‌هایی از نحوه نوشتن فهرست منابع در ذیل آمده است:

۱- مجلات:

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, K., Mondani, F., Feizi, H., and Amirmoradi, S., 2014. Determination of optimal strip width in strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Northeast Iran. Journal of Cleaner Production 85: 1-8.

۲- کتاب تالیف شده:

Pretty, J. 1995. Regenerating Agriculture: Policies and Practice for Sustainability and Self-Reliance. Earthscan Publications Limited, London.

۳- مقاله یا یک فصل از کتاب تدوین شده (Edited book):

Ison, R. 2008. Systems thinking and practice for action research. In P. Reason and H. Bradbury (Eds.). Handbook of Action Research: Participative Inquiry and Practice. Sage Publications, London. p. 139-158.

۴- مقاله در نشریه برخط (On-line):

Flora, C.B. 2004. Agricultural change and rural development. Rural Development News 27(3):1-3. Available at Web site <http://www.ag.iastate.edu/centers/rdev/newsletter/Vol27No3-2004/agchange.htm> (verified 5 September 2000).

۵- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی همراه با نام نگارنده:

Watson, R.T., Zinyowera, M.C., and Moss, R.H. 2006. IPCC Special Report on The Regional Impacts of Climate Change. An Assessment of Vulnerability. Intergovernmental Panel on Climate Change. Available at Web site <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/index.htm> (verified 5 September 2007).

۶- مقاله یا نوشته از اینترنت مربوط به یک دانشگاه یا اداره دولتی بدون نام نگارنده:

Food and Agriculture Organization (FAO). 2006. The FAOSTAT Database. Available at Web site <http://faostat.fao.org/default.aspx> (verified 5 September 2007).

۷- رساله‌های تحصیلی:

Khorramdel, S. 2011. Evaluation of the potential of carbon sequestration and Life Cycle Assessment (LCA) approach in different management systems for corn. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

۸- کنفرانس‌های علمی:

Verschwele, A. 2007. Reducing weed infestation in winter wheat by sowing technique. In Seventh EWRS Workshop on Physical and Cultural Weed Control, Salem, Germany, 11–14 March 2007, p. 91–96.

۹- گزارش‌های علمی:

Pretty, J. and Hine, R. 2001. Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture: A Summary of New Evidence. Final report from the 'SAFE World' Research Project, University of Essex. Available at <http://www2.essex.ac.uk/ces/ResearchProgrammes/SAFEWexecsumfinalreport.htm> (accessed 22 February 2007).

NJF. 2005. NJF-Seminare 369. Organic farming for a new millennium – status and future challenges. Nordic Association of Agricultural Scientists, NJP Report Volume 1, No. 1. Swedish University of Agricultural Sciences, Alnarp. p. 252–256.

California Department of Food and Agriculture. 2004. State organic crop and acreage report. Available at Web site: www.cdffa.ca.gov/is/i&c/docs/2004stateData.pdf (verified October 2005).

۱۰- نرم افزارهای کامپیوتری:

SAS Institute. 1999. SAS/Stat User's Guide, Version 8.0. SAS Institute, Cary, NC.

Systat. 2004. Systat Version 11. Systat Software, London, UK.

از کلیه همکاران، پژوهشگران و دانشجویان تحصیلات تکمیلی که مایل به چاپ مقاله در این مجله می‌باشند، تقاضا می‌شود مقالات خود را با مشخصات فوق تهیه و از طریق سایت نشریه به صورت الکترونیکی برای دفتر نشریه ارسال فرمایند.

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه مجلات علمی، دفتر مجله بوم‌شناسی کشاورزی

صندوق پستی: ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴، نمابر: ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰ E-mail: Agroecology@um.ac.ir

<http://jm.um.ac.ir/index.php/agroecology>

از آنجائیکه نشریه بوم‌شناسی کشاورزی مبتنی به نتایج پژوهش‌هایی است که مستقیماً با محیط طبیعی در ارتباط است، نتایج پژوهش‌های مربوط به محیط‌های تحت کنترل مانند گلخانه و آزمایشگاه تناسب چندانی با این نشریه ندارند و لذا از پذیرش مقالاتی که حاصل چنین پژوهش‌هایی باشد معذوریم.



مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر تنوع کارکردی چند گیاه دارویی بر ترکیب، تراکم و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های کشاورزی

علیرضا کوچکی^{۱*}، الهام عزیزی^۲، لیلا تبریزی^۳ و سارا بخشایی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۶

کوچکی، ع.، عزیزی، ا.، تبریزی، ل.، و بخشایی، س.، ۱۴۰۰. تأثیر تنوع کارکردی چند گیاه دارویی بر ترکیب، تراکم و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز در بوم‌نظام‌های کشاورزی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱-۲۱.

چکیده

به منظور بررسی اثر تنوع کارکردی تعدادی از گیاهان دارویی بر تراکم و تنوع علف‌های هرز، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در دو سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱ و ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. تیمارها شامل ۱۳ گونه دارویی مرزنجوش (*Origanum vulgare*)، زوفا (*Hyssopus officinalis*)، بابونه (*Tanacetum parthenium*)، سرخارگل (*Echinacea purpurea*)، سداب (*Ruta graveolens*)، گل ختمی (*Althaea officinalis*)، گل راعی (*Hypericum perforatum*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*)، گل مغربی (*Oenothera erythrosepala*)، پنیرک (*Malva sylvestris*)، عدس الملک (*Securigera securidaca*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و گل انگشتانه (*Digitalis purpurea*) بودند. نتایج نشان داد که اثر گیاهان دارویی بر تراکم و وزن خشک کل علف‌های هرز از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین و کمترین وزن خشک علف‌های هرز به ترتیب در گونه‌های دارویی گل انگشتانه (۳۹/۴ گرم در مترمربع) و بابونه گاوی (۳/۲ گرم در مترمربع) به دست آمد. بیشترین تعداد کل علف‌های هرز نیز در گونه‌های دارویی پنیرک، عدس الملک، گل انگشتانه و زوفا مشاهده شد. گونه دارویی پنیرک دارای بیشترین غنای گونه‌ای علف‌های هرز (چهار گونه) بود که اختلاف آماری معنی‌داری با عدس الملک و بومادران نداشت. در طی سال‌ها و مراحل نمونه‌برداری مختلف، گونه دارویی بومادران از نظر علف‌های هرز دارای بیشترین شاخص تنوع شانون به مقدار ۰/۴۸ بود که اختلاف آماری معنی‌داری با پنیرک، عدس الملک، زوفا، گل راعی، گل انگشتانه و سرخارگل نداشت. همچنین بیشترین شاخص تنوع مارگالوف نیز در کرت‌های دارای گونه‌های دارویی پنیرک، بومادران و زوفا به ترتیب با مقادیر ۴/۰۵، ۴/۰۳ و ۳/۳۳ به دست آمد. گونه‌های دارویی مورد مطالعه از نظر تنوع علف‌های هرز در سطح تشابه ۷۵ درصد در پنج گروه قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: شاخص سیمپسون، شاخص شانون، شاخص مارگالوف، غنای گونه‌ای، وزن خشک

مقدمه

امروزه با افزایش تمایل به کشت خالص گیاهان زراعی، دارویی و

باغی، دامنه تنوع ژنتیکی در اکوسیستم‌های کشاورزی کاهش یافته است (Koocheki et al., 2004 b). حاصل فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی رایج که همراه با ساده‌سازی تنوع زیستی می‌باشد، ایجاد بوم‌نظام‌هایی است که به شدت نسبت به مخاطرات محیطی آسیب‌پذیر بوده و به نوعی ناپایدار محسوب می‌شوند. در حالی که در بوم‌نظام‌های طبیعی پایدار، تنظیم داخلی، حاصل تنوع گیاهی موجود است (Altieri, 1999). با توجه به این که قابلیت خود تنظیمی بوم‌نظام‌های کشاورزی، در نتیجه فشردگی ساختار این بوم‌نظام‌ها از بین رفته است، لذا ارتقاء تنوع زیستی در این نظام‌ها در جهت احیا و پایداری

۱- استاد گروه آگرو تکنولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه پیام نور، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی علوم باغبانی و فضای سبز، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۴- دانش آموخته دکتری آگرو کولوژی، دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(Email: akooch@um.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

Doi: 10.22067/jag.v1i1.42321

آن‌ها تأثیرگذار است (Benton, 2003; Koocheki et al. 2011). هدف از طراحی بوم‌نظام‌های کشاورزی پایدار، تلفیق اجزای بوم-نظام به نحوی است که ضمن بهبود تنوع زیستی، بهره‌وری و ظرفیت خود تنظیمی بوم‌نظام کشاورزی را حفظ و تقویت کند. در مطالعات کاربردی، جنبه‌های کارکردی تنوع زیستی و متعاقباً اجزای ساختاری بوم‌نظام حائز اهمیت هستند. کارکردهای زیستی فرآیندهای متعددی از جمله چرخه عناصر غذایی، آب، جریان انرژی را شامل می‌شود (Noss, 1990). به عبارت دیگر، مجموعه گونه‌های گیاهی متنوع اغلب تنوعی از خرداقلیم‌ها را در بوم‌نظام کشاورزی به وجود می‌آورند که می‌تواند توسط مجموعه‌ای از گونه‌های جانوری مانند شکارچیان مفید، آفات، گرده‌افشان‌ها و موجودات زنده خاک که برای نظام موجود حائز اهمیت‌اند، اشغال شوند.

ایجاد تنوع کارکردی و افزایش آن با استفاده از گونه‌های کارکردی مختلف در یک جامعه قابل دستیابی است. گونه‌های کارکردی مختلف نقش متفاوتی در جریان‌های بوم‌نظام دارند. برای مثال بوته‌های چند ساله گیاهان دارویی سهم عمده‌ای از تولید اولیه خالص هوایی را به خود اختصاص می‌دهند و از نظر سایر ویژگی‌های کارکردی بوم‌نظام نسبت به گونه‌های زراعی یکساله نقش مؤثرتری دارند. بنابراین، این گروه از گونه‌ها در تعیین کارکرد بوم‌نظام بیشترین تأثیر را خواهند داشت. هر چه تعداد گونه‌های موجود در بوم‌نظام افزایش یابد، کارکرد آن اکوسیستم نیز افزایش می‌یابد. این خاصیت باعث افزایش خودتکایی سیستم می‌شود (Altieri, 1999).

تحقیقات نشان می‌دهد که نقش علف‌های هرز در افزایش تنوع در بوم‌نظام‌های کشاورزی بسیار حائز اهمیت است، زیرا با بسیاری از گیاهان زراعی رابطه خویشاوندی نزدیکی دارند و تبادل ژنتیکی بین آن‌ها صورت می‌گیرد (Poggio, 2004). حضور علف‌های هرز در بوم‌نظام زراعی، آسیب‌پذیری ژنتیکی را از طریق راهکار متنوع ساختن محیط و نیز وقوع مکانیسم‌های مقاومت، کاهش می‌دهند (Nassiri et al., 2001).

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) با ارزیابی تنوع گونه‌ای، کارکردی و ساختار جوامع علف‌های هرز مزارع گندم (*Triticum aestivum* L.) و چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) استان - های مختلف کشور اظهار داشتند که بسته به نوع گیاهان زراعی، تنوع علف‌های هرز متفاوت بود. در مزارع گندم، دو خانواده گندمیان و کاسنی به ترتیب متنوع‌ترین خانواده علف‌های هرز تک‌لپه و دولپه بودند. متنوع‌ترین خانواده علف‌های هرز دولپه و تک‌لپه در مزارع چغندرقد به ترتیب شب‌بویان و گندمیان بودند. عزیزی و همکاران

(Azizi et al., 2009) با بررسی اثر تنوع گیاهی و نوع منبع تغذیه‌ای بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز اظهار داشتند که با افزایش تنوع گونه‌های زراعی، وزن خشک و تراکم کل علف‌های هرز کاهش یافت. در تک‌کشتی‌های مورد بررسی نیز نوع گونه زراعی، وزن خشک علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار داد. همچنین با تغییر الگوی کشت در هر یک از دو سال زراعی مورد بررسی، شاخص تنوع شانون و مارگالوف علف‌های هرز به طور معنی‌داری تحت تأثیر واقع شد. در مطالعه‌ای عنوان شد اثر الگوی کاشت بر شاخص‌های تنوع مارگالوف، شانون و سیمسون علف‌های هرز فقط در مراحل دوم و سوم نمونه- برداری در مزارع سیر (*Allium sativum* L.) و اسفناج (*Spinaci oleracea* L.) از نظر آماری معنی‌دار بود (Asadi et al., 2013).

ناصری و همکاران (Naseri et al., 2009) رابطه بین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با جوامع گیاهی حاشیه پلایا را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که ترکیب و تنوع پوشش گیاهی با عوامل خاکی نظیر کربنات، هدایت الکتریکی، نسبت پتاسیم به سدیم، آهن، نسبت کلسیم به منیزیم، کلر و pH همبستگی نشان داد.

در مجموع، مطالعات متعددی در زمینه بررسی تنوع و تراکم علف‌های هرز در مزارع و باغ‌های مختلف صورت گرفته است از جمله مزارع جو آبی (*Hordeum vulgare* L.) استان اصفهان (Nekahi et al., 2013)، مزارع گندم بندر گز (Esfandiari et al., 2013)، مزارع گندم استان سیستان و بلوچستان (Edim et al., 2010)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) در اسفراین (Adinehei et al., 2012)، باغ‌های مرکبات (*Citrus spp.*) شمال ایران (Raheb et al., 2012)، مزارع جو استان آذربایجان شرقی (Hassan et al., 2009)، باغ‌های سیب (*Malus domestica* Borkh. منطقه فریمان (Matinzadeh et al., 2011) و مزارع یونجه (*Medicago sativa* L.) شبستر (Poorheidari Ghafarbi & Hassan Nezhad, 2013) که همگی بیانگر تغییر تنوع و تراکم علف‌های هرز بسته به نوع گونه‌های گیاهی مورد کشت و قابلیت رقابت آن‌ها می‌باشد.

با توجه به اهمیت تنوع کارکردی در بوم‌نظام‌های کشاورزی، هدف از اجرای این طرح، بررسی اثر تنوع کارکردی گیاهان دارویی بر تراکم و تنوع علف‌های هرز موجود در بوم‌نظام تحت کشت گیاهان دارویی بود.

روش پژوهش

به منظور بررسی تنوع کارکردی برخی گیاهان دارویی که در ایران در سطوح مختلف کشت می‌شوند از نظر برخی ویژگی‌های ساختاری، مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی این قبیل گیاهان و همچنین اثراتی که بر تنوع زیستی علف‌های هرز و حشرات دارند، آزمایشی در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. به این منظور ابتدا گونه‌های متنوع از گیاهان دارویی و معطر از جنس‌ها و خانواده‌های متعدد با ساختارهای کارکردی متنوع که از تنوع فیتوشیمیایی نیز برخوردار بودند، در نظر گرفته شدند. در انتخاب گونه‌های گیاهی سعی شد گونه‌هایی انتخاب شوند که اولاً چند ساله بوده و ثانیاً طیفی از گروه‌های کارکردی را فراهم آورند.

برای این منظور ۱۳ گونه گیاهی متعلق به خانواده‌های مختلف در نظر گرفته شدند که عبارت بودند از: مرزنجوش (*Origanum vulgare*، زوفا (*Hyssopus officinalis*)، بابونه (*Tanacetum parthenium*، سرخارگل (*Echinacea purpurea*)، سداب (*Ruta graveolens*، گل ختمی (*Althaea officinalis*)، گل راعی (*Hypericum perforatum*)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*، گل مغربی (*Oenothera erythrosepala*، پنیرک (*Malva sylvestris*)، عدس الملک (*Securigera securidaca*)، بومادران (*Achillea millefolium*) و گل انگشتانه (*Digitalis purpurea*).

پس از عملیات خاک‌ورزی و آماده‌سازی و تسطیح زمین، هر گونه گیاهی در نوارهایی به ابعاد ۱۰×۳ متر کشت شد. پس از استقرار کامل گیاهان به منظور حصول تراکم مورد نظر عملیات تنک در هر نوار صورت گرفت. تراکم مطلوب برای مرزنجوش ۱۰، زوفا ۷، بابونه ۲۰، سرخارگل ۸، سداب ۷، گل ختمی ۱۰، گل راعی ۸، شنبلیله ۲۰، گل مغربی ۱۳، پنیرک ۷، عدس الملک ۱۰، بومادران ۱۰ و گل انگشتانه ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. فاصله بین نوارهای آزمایشی از یکدیگر ۰/۵ متر بود. کشت بذور کلیه گیاهان مورد بررسی، در فروردین ماه ۱۳۹۱ انجام شد. در هر دو سال زراعی برای بررسی تنوع علف‌های هرز، بخشی از هر کرت به ابعاد ۳×۰/۵ متر جدا شد و بدون وجین باقی ماند و در کلیه کرت‌های گیاهان دارویی، تراکم و وزن خشک علف‌های هرز به تفکیک گونه در دو مرحله رشد رویشی و رشد زایشی تعیین شد. همچنین خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نظیر ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک گیاهان موجود در هر کرت اندازه گیری شدند.

به منظور محاسبه تنوع علف‌های هرز در کودراتی به ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌متر، نوع گونه علف هرز و تراکم آن‌ها تعیین شد. سپس علف‌های هرز موجود در هر کرت به تفکیک گونه برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید و جهت تعیین وزن خشک در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت قرار داده شد. برای تعیین تنوع علف‌های هرز از شاخص‌های تنوع شانون (معادله ۱)، مارگالف (معادله ۲) و سیمپسون (معادله ۳) استفاده شد:

$$H' = -\sum P_i \times \log P_i \quad P_i = \frac{n_i}{N} \quad \text{معادله (۱)}$$

$$M = \frac{S-1}{\log N} \quad \text{معادله (۲)}$$

$$Si = \frac{N(N-1)}{\sum n_i(n_i-1)} \quad \text{معادله (۳)}$$

که در آن‌ها، P_i : فراوانی نسبی گونه نام، N : تعداد کل افراد، n_i : تعداد افراد گونه نام، S : تعداد گونه‌های موجود و Si : شاخص تنوع سیمپسون می‌باشند.

تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها با نرم‌افزارهای Minitab، Mstac و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

علف‌های هرز مشاهده شده در کرت‌های گیاهان دارویی مورد بررسی به تفکیک گروه‌های کارکردی در جدول ۱ نشان داده شده است. به طور کلی، با بررسی علف‌های هرز در کرت‌های موجود در طی سال‌ها و مراحل مختلف نمونه‌برداری، ۲۱ گونه علف هرز متعلق به ۱۵ خانواده گیاهی شناسایی شدند که ۱۵ گونه یکساله (۷۱ درصد از کل گونه‌ها) و شش گونه چند ساله (معادل ۲۸/۶ درصد) را شامل می‌شد. همچنین سهم گیاهان دارای مسیر فتوسنتزی سه کرانه و چهارکرانه به ترتیب ۱۴ و هفت گونه معادل ۶۶/۷ و ۳۳/۳ درصد از کل گونه‌های هرز موجود بود. از لحاظ شکل رویشی نیز ۷۶ درصد گیاهان هرز دولپه و ۲۴ درصد، تک‌لپه بودند. این ارقام دور از انتظار نیست و روند طبیعی فراوانی گیاهان تک‌لپه و دولپه را نشان می‌دهد (Koocheki et al., 2006; Norozzadeh et al., 2008).

همان گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، علف‌های هرز غالب در کل کرت‌های مورد بررسی از نظر میانگین وزن خشک، به ترتیب پیچک (*Convolvulus arvensis* L.) با مقدار ۲۷ گرم در بوته معادل با ۲۰ درصد از وزن خشک کل علف‌های هرز، آناگالیس (*Anagallis* sp.) با مقدار ۲۴ گرم در بوته معادل با ۱۸ درصد از وزن خشک کل علف‌های هرز، سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.)

جدول ۱- گروه‌های کارکردی علف‌های هرز و وزن خشک آن‌ها

Table 1- Functional groups and dry weight of weeds

علف‌های هرز کرت‌های گیاهان دارویی Weeds of medicinal plants quadrates	خانواده گیاهی Plant family	گروه‌های کارکردی Functional groups			
		شکل رویشی Vegetative form	مسیر فتوسنتزی Photosynthetic pathway	چرخه رویشی Vegetative cycle	درجه سماجت Degree of noxiousness
<i>Chenopodium album</i> سلمه‌تره	اسفناج	دولپه	سه کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Chenopodiaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Convolvulus arvensis</i> پیچک	پیچک	دولپه	سه کرینه	چندساله	
L.	Convolvulaceae	Dicotyledonous	C ₃	Perennial	
<i>Portulaca oleracea</i> خرفه	خرفه	دولپه	چهار کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Portulacaceae	Dicotyledonous	C ₄	Annual	
تاج خروس	تاج خروس	دولپه	چهار کرینه	یکساله	
<i>Amaranthus blitoides</i> خوابیده	Amaranthaceae	Dicotyledonous	C ₄	Annual	
<i>Amaranthus retroflexus</i> تاج خروس ایستاده	تاج خروس	دولپه	چهار کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Amaranthaceae	Dicotyledonous	C ₄	Annual	
<i>Setaria viridis</i> دم روباهی	گندمیان	تک‌لپه	چهار کرینه	یکساله	
L.	Poaceae	Monocotyledonous	C ₄	Annual	
<i>Echinochloa crus-galli</i> سوروف	گندمیان	تک‌لپه	چهار کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Poaceae	Monocotyledonous	C ₄	Annual	
<i>Digitaria sp.</i> علف خرچنگ	گندمیان	تک‌لپه	چهار کرینه	یکساله	
L.	Poaceae	Monocotyledonous	C ₄	Annual	
<i>Solanum nigrum</i> تاج‌ریزی	بادنجانیان	دولپه	سه کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Solanaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Sonchus arvensis</i> شیرتیغی	کاسنی	دولپه	سه کرینه	یکساله	
L.	Asreraceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Cyperus rotundus</i> اویارسلام	جگنیان	تک‌لپه	چهار کرینه	چندساله	سمج Noxious
L.	Cyperaceae	Monocotyledonous	C ₄	Perennial	
<i>Anagallis sp.</i> آناغالیس	پامچال	دولپه	سه کرینه	یکساله	
L.	Primulaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Rumex spp.</i> ساق ترشک	علف هفت‌بندیان	دولپه	سه کرینه	چندساله	سمج Noxious
L.	Polygonaceae	Dicotyledonous	C ₃	Perennial	
<i>Malcolmia africana</i> درشتوک	شب‌بوئیان	دولپه	سه کرینه	یکساله	
L.	Brassicaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Poa annua</i> پوآ	گندمیان	تک‌لپه	سه کرینه	چندساله	سمج Noxious
L.	Poaceae	Monocotyledonous	C ₃	Perennial	
<i>Veronica sp.</i> سیزاب	بارهنگیان	دولپه	سه کرینه	یکساله	
L.	Plantaginaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Borago sp.</i> گاوزبان	گاوزبان	دولپه	سه کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Boraginaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Polygonum aviculare</i> هفت‌بند	هفت‌بند	دولپه	سه کرینه	یکساله	
L.	Polygonaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Sisymbrium officinalis</i> خاکشیر تلخ	شب‌بوئیان	دولپه	سه کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Brassicaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	
<i>Equisetum arvense</i> علف اسب	دم اسبیان	-	سه کرینه	چندساله	
L.	Equisetaceae	-	C ₃	Perennial	
<i>Descurainia sophia</i> خاکشیر واقعی	شب‌بوئیان	دولپه	سه کرینه	یکساله	سمج Noxious
L.	Brassicaceae	Dicotyledonous	C ₃	Annual	

جدول ۲: تغییرات میانگین وزن خشک علف‌های هرز به تفکیک گونه در کورت‌های گیاهان دارویی برحسب گرم در متر مربع

با مقدار ۱۶ گرم در بوته معادل با ۱۲ درصد از وزن خشک کل علف‌های هرز و تاج‌ریزی (*Solanum nigrum* L.) با مقدار ۱۴ گرم در بوته معادل با ۱۰ درصد از وزن خشک کل علف‌های هرز بودند. در بین گونه‌های هرز تک‌لپه نیز دم‌روباهی و سوروف به‌ترتیب با مقادیر ۱۰ و ۵ گرم در بوته معادل هفت و چهار درصد بیشترین سهم نسبی وزن خشک را دارا بودند.

بررسی گونه‌های دارویی مختلف از نظر وزن خشک علف‌های هرز نیز نشان داد که گل انگشتانه از قدرت رقابت کمتری با علف‌های هرز برخوردار بود و بیشترین مقدار وزن خشک علف‌های هرز (حدود ۳۵ گرم در مترمربع) را نشان داد.

همان‌گونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، علف هرز پیچک با تراکم ۱۳ بوته در مترمربع معادل با ۲۳ درصد از تراکم کل علف‌های هرز به‌عنوان علف‌هرز غالب در زمین در کرت‌های گیاهان دارویی بود و دو گونه سلمه‌تره و تاج‌ریزی به‌ترتیب با تراکم‌های نه و پنج بوته در مترمربع (معادل ۱۶ و ۹ درصد از تراکم کل علف‌های هرز در طی مراحل و سال‌های نمونه‌برداری) رتبه‌های دوم و سوم را به خود اختصاص دادند.

در مقایسه تراکم علف‌های هرز تک‌لپه نیز نتایج حاکی از آن بود که دو گونه دم‌روباهی و سوروف به‌ترتیب با درصد تراکم نسبی پنج و چهار درصد به‌عنوان گونه‌های غالب تک‌لپه مطرح بودند.

هر ساله انتخاب عملیات زراعی مانند شخم، نوع گونه گیاهی، روش کنترل علف‌های هرز و کوددهی، الگوی طبیعی توزیع و دسترسی منابع و به تبع آن فرآیندهای طبیعی جوامع گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و این تغییرات منظم و متوالی باعث سازگاری و تطابق علف‌های هرز خاصی به این سیستم می‌شود (Martinez-Ghersa et al., 2000).

در این میان، یکی از پارامترهای مؤثر در غالبیت علف‌های هرز، حاصلخیزی خاک‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی می‌باشد. گونه‌هایی نظیر تاج‌ریزی و سلمه‌تره از جمله گونه‌هایی هستند که در بافت دارای نفوذپذیری مناسب و مواد غذایی فراوان حضور می‌یابند و به میزان نیتروژن خاک پاسخ مثبت نشان می‌دهند (Matinzadeh et al., 2011).

همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در سال زراعی اول و

مرحله اول نمونه‌برداری، اثر گونه بر وزن خشک و تراکم کل علف‌های هرز از نظر آماری معنی‌دار بود. اما غنای گونه‌ای، شاخص تنوع شانون و شاخص تنوع مارگالوف علف‌های هرز تحت تأثیر نوع گونه دارویی کشت شده قرار نگرفت ($p \leq 0.05$).

نتایج تجزیه واریانس اثر نوع گونه گیاهی بر تنوع و تراکم علف‌های هرز در سال زراعی دوم نشان داد که کلیه پارامترهای مورد بررسی به‌جز غنای گونه و شاخص تنوع شانون در مرحله اول نمونه‌برداری، تحت تأثیر نوع گونه گیاهی قرار گرفت (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌های وزن خشک علف‌های هرز در کرت‌های گونه‌های دارویی مختلف نشان داد که بیشترین وزن خشک علف‌های هرز متعلق به گل انگشتانه و بومادران بود. یکی از دلایل این امر، رشد کند این گیاهان در سال اول کشت و ابتدای دوره رشد می‌باشد. کمترین مقدار وزن خشک علف‌های هرز نیز در پوشش گیاهی شنبلیله، ختمی، زوفا، سداب، عدس الملک، گل مغربی، بابونه و گل راعی مشاهده شد که از نظر آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۵).

در سال زراعی اول تراکم کل علف‌های هرز با تغییر نوع گونه گیاه دارویی تغییر کرد. گونه‌های گل انگشتانه و پنیرک دارای بیشترین تعداد کل علف‌های هرز در واحد سطح بودند. در این میان گونه‌های دارویی مرزنجوش، بابونه، گل راعی، ختمی، شنبلیله، سداب، بومادران و گل مغربی دارای قدرت رقابت بالاتری با علف‌های هرز بوده و کمترین تعداد علف‌های هرز را نشان دادند (جدول ۵).

نتایج تحقیق نشان داد که بیشترین مقدار شاخص تنوع سیمپسون علف‌های هرز در گونه سرخارگل حاصل شد که اختلاف آماری معنی‌داری با عدس الملک، پنیرک و گل مغربی نداشت. در مرحله دوم نمونه‌برداری در سال زراعی اول، کمترین وزن خشک علف‌های هرز در گونه‌های گل راعی، شنبلیله، بابونه و گل مغربی حاصل شد. این امر نشانگر آن است که این گیاهان پوشش مناسبی را روی سطح زمین ایجاد کردند، به‌طوری‌که فضای خالی برای رشد علف‌هرز کاهش یافت.

Table 3: The variation of weed density per m² in medicinal plant quadrates

medicinal plants	گیاهان دارویی	نام علمی	وزن	تعداد	درصد	درصد از کل
Weeds	علف‌های هرز	نام علمی	وزن	تعداد	درصد	درصد از کل
<i>Chenopodium album</i> L.	سلمه تر	<i>Chenopodium album</i> L.	0.750	0.500	0.583	15.671
<i>Convolvulus arvensis</i> L.	پیچک	<i>Convolvulus arvensis</i> L.	0.917	1.250	1.583	22.510
<i>Portulaca oleracea</i> L.	خرقه	<i>Portulaca oleracea</i> L.	0.167	0.500	0.333	6.836
<i>Amaranthus blitoides</i>	تاج خروس خواریده	<i>Amaranthus blitoides</i>	0.083	0.917	0.333	5.696
<i>Amaranthus retroflexus</i>	تاج خروس ایستاده	<i>Amaranthus retroflexus</i>	0.167	0.333	0.250	4.276
<i>Setaria viridis</i> L.	درباهی	<i>Setaria viridis</i> L.	0.583	0.417	0.333	4.701
<i>Echinochloa crus-galli</i>	سوروف	<i>Echinochloa crus-galli</i>	0.000	0.500	0.083	4.130
<i>Digitaria</i> sp.	علف خروچنگ	<i>Digitaria</i> sp.	0.000	0.083	0.000	1.417
<i>Solanum nigrum</i> L.	تاج ریزی	<i>Solanum nigrum</i> L.	0.167	0.500	0.583	9.119
<i>Sonchus arvensis</i>	شیرینی	<i>Sonchus arvensis</i>	0.000	0.167	0.000	0.999
<i>Cyperus rotundus</i>	ایزیرامام	<i>Cyperus rotundus</i>	0.167	0.083	0.000	1.568
<i>Anagallis</i> sp.	آب‌غالی	<i>Anagallis</i> sp.	0.000	0.000	0.000	0.667
<i>Rumex</i> spp.	ساق ترشک	<i>Rumex</i> spp.	0.000	0.000	0.000	0.855
<i>Malcolmia africana</i>	دره‌شوک	<i>Malcolmia africana</i>	0.000	0.000	0.000	0.142
<i>Poa annua</i> L.	پوآ	<i>Poa annua</i> L.	0.000	0.000	0.000	0.569
<i>Veronica</i> sp.	سیراب	<i>Veronica</i> sp.	0.083	0.000	0.333	3.417
<i>Borago</i> sp.	کاروانج	<i>Borago</i> sp.	0.083	1.083	0.250	2.705
<i>Polygonum aviculare</i>	هندبند	<i>Polygonum aviculare</i>	0.417	0.083	0.167	3.846
<i>Stemibrium officinalis</i> L.	خاکستر تلخ	<i>Stemibrium officinalis</i> L.	0.000	0.167	0.000	1.995
<i>Equisetum arvense</i>	علف اسب	<i>Equisetum arvense</i>	0.000	0.000	0.000	5.982
<i>Decurcainia sophia</i>	خاکستر راهی	<i>Decurcainia sophia</i>	0.000	0.000	0.000	0.711
Total	مجموع	Total	3.584	6.167	4.414	58.495
					0.880	100.000

جدول ۴: تجزیه واریانس اثر گونه های دارویی مختلف بر تراکم، وزن خشک و شاخص های تنوع علف های هرز

Table 4: Variance analysis of medicinal species effects on density, dry weight and diversity index of weeds

سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱												
Growing season 2011-2012												
منابع تغییر Variation resources	درجه آزادی Degree of freedom	مرحله اول نمونه برداری Sampling stage 1						مرحله دوم نمونه برداری Sampling stage 2				
		وزن خشک کل Total dry weight	تراکم کل در Total density y	شاخص Shannon richness x	شاخص Margalef index	شاخص Simpson index	وزن خشک کل (گرم در متر مربع) Total dry weight	تراکم کل در Total density y	شاخص Shannon richness x	شاخص Margalef index	شاخص Simpson index	
Block	2	47.540 ^{ns}	0.238 ^{ns}	1.103 ^{ns}	0.010 ^{ns}	4.114 ^{ns}	6.322 ^{**}	25.492 ^{**}	13.000 ^{**}	0.295 ^{**}	13.349 ^{**}	89.372 ^{**}
Species	12	241.600 ^{**}	17.184 ^{**}	1.611 ^{ns}	0.022 ^{ns}	19.584 ^{**}	77.113 ^{**}	6.486 ^{**}	4.557 ^{**}	0.072 ^{**}	6.300 ^{**}	58.017 ^{**}
خطا Error	24	24.970	1.849	1.047	0.026	5.530	0.939	0.540	0.667	0.012	1.786	7.924
سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲												
Growing season 2012-2013												
Block	2	0.479 ^{ns}	0.478 ^{ns}	0.231 ^{ns}	0.002 ^{ns}	4.465 ^{ns}	4.700 ^{ns}	5.843 ^{**}	2.385 [*]	0.096 ^{**}	3.889 ^{**}	0.517 ^{ns}
Species	12	115.490 ^{**}	8.670 [*]	0.436 ^{ns}	0.010 ^{ns}	4.247 [*]	2023.700 ^{**}	8.086 ^{**}	1.479 [*]	0.063 ^{**}	4.756 ^{**}	10.690 ^{**}
خطا Error	24	8.439	4.030	0.397	0.014	1.077	1.500	0.929	0.607	0.012	0.574	0.808

مطالعات نشان می‌دهد که تنوع بالا در بوم‌نظام‌ها منجر به افزایش بهره‌وری در استفاده از نهاده‌ها و منابع تولید شده و نظام‌های تولید به‌سمت پایداری پیش خواهد رفت (Koocheki et al., 2004).

(a) کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) با بررسی تنوع کارکردی علف‌های هرز در مزارع چغندر قند اظهار داشتند که تنوع گونه‌ای علف‌های هرز در نقاط جغرافیایی مختلف متفاوت بود. نامبرندگان اظهار داشتند که بالا بودن حاصلخیزی محیط، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده تنوع کارکردی گونه‌های گیاهی است، به‌طوری‌که در سطوح بالای حاصلخیزی که هدف مدیریت رایج نظام‌های زراعی است، تنوع کارکردی به حداقل مقدار خود می‌رسد. پوگیو و همکاران (Poggio et al., 2005) جوامع علف‌های هرز مزارع نخود و گندم را بررسی کردند و دریافتند که تنوع جامعه علف‌های هرز نخود متنوع‌تر از گندم بود.

کوچکی و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی تنوع در محصولات باغی، سبزی و صیفی ایران اظهار داشتند که سیستم‌های تولید محصولات باغی، سبزی و صیفی ایران علی‌رغم غنای گونه‌های مناسب، تنوع متناسب با غنای گونه‌ای نشان ندادند.

همان‌گونه که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، اثر نوع گونه دارویی بر وزن خشک کل علف‌های هرز از نظر آماری معنی‌دار بود. بیشترین وزن خشک علف‌های هرز در کرت گونه دارویی گل انگشتانه (۳۹/۴ گرم در مترمربع) مشاهده شد. شاید دلیل این امر رشد کند گل انگشتانه در سال اول و به تبع آن عدم مقابله مناسب این گیاه با علف‌های هرز باشد. طبق نتایج حاصله، کمترین مقدار این پارامتر نیز در گونه دارویی بابونه گاوی به‌مقدار ۳/۲ گرم در مترمربع به‌دست آمد که اختلاف آماری معنی‌داری با گل مغربی، شنبلیله و ختمی نداشت. اثر نوع گونه دارویی بر تراکم کل علف‌های هرز در شکل ۲ نشان داده شده است. بیشترین تعداد کل علف‌های هرز در گونه‌های دارویی پنیرک، عدس الملک و گل انگشتانه مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با زوفا نداشت. گونه‌های دارویی گل مغربی، بومادران، شنبلیله، ختمی، گل راعی، بابونه، سرخارگل و مرزنجوش دارای قدرت بالای ممانعت از رشد علف‌های هرز بوده و کمترین تعداد کل علف‌های هرز را نشان دادند. این امر را می‌توان با تولید زیست‌توده بالا و پوشش گیاهی انبوه این گیاهان مرتبط دانست.

با بررسی تراکم علف‌های هرز در کرت‌های گونه‌های مختلف دارویی نیز مشخص شد که کمترین تراکم علف‌های هرز متعلق به گونه‌های سرخارگل، مرزنجوش و شنبلیله بود. می‌توان چنین استنباط کرد که درصد پوشش و زیست‌توده بالای این گیاهان، منجر به افزایش قدرت رقابت این گیاهان با علف‌های هرز شده است. بررسی شاخص‌های تنوع شانون، مارگالوف و سیمپسون نشان داد که بیشترین مقدار این شاخص‌ها متعلق به گیاه بومادران بود و کمترین مقدار آن به شنبلیله تعلق داشت (جدول ۵).

تنوع در یک بوم‌نظام تنها توسط تعداد گونه‌های موجود (غنای گونه‌ای) تعیین نمی‌شود، بلکه فراوانی نسبی گونه‌ها نیز عامل مهمی در بررسی تنوع زیستی می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۴). در نتیجه، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر غنای گونه‌ای به‌تنهایی نمی‌تواند گویای تغییرات تنوع از یک بوم‌نظام به بوم‌نظام دیگر باشد. جهانی‌کندری و همکاران (Jahani Kondori et al., 2012) با بررسی تأثیر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک بر شاخص تنوع گونه‌ای علف‌های هرز در مزارع گندم شرق مشهد گزارش کردند که همبستگی معنی‌داری بین کربن، فسفر، پتاسیم، نیتروژن، اسیدیته خاک و شاخص شانون علف‌های هرز وجود داشت. به‌طوری‌که با افزایش میزان کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک و کاهش اسیدیته خاک، شاخص شانون افزایش یافت. همچنین میزان کربن و نیتروژن خاک نیز همبستگی مثبت معنی‌داری با غنای گونه‌ای نشان داد.

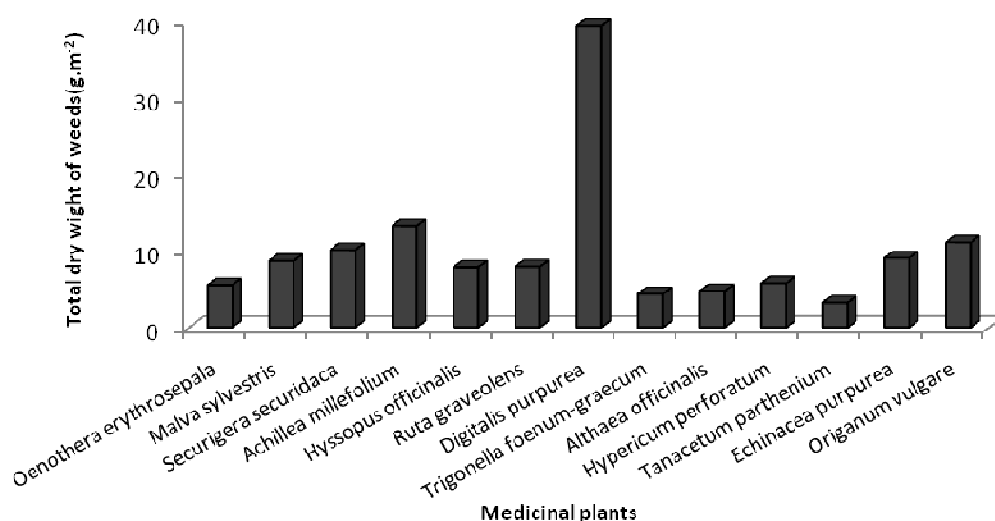
مقایسه میانگین‌های پارامترهای مورد بررسی در سال زراعی دوم نشان داد که کمترین مقدار وزن خشک و تراکم علف‌های هرز در گونه شنبلیله مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با ختمی، گل راعی، بابونه، سرخارگل، مرزنجوش و گل مغربی نداشت. گونه‌های دارویی زوفا، بومادران، عدس الملک، پنیرک، سداب، ختمی و بابونه از نظر شاخص تنوع مارگالوف با یکدیگر اختلاف آماری معنی‌داری نداشتند و بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون را نشان دادند. بیشترین مقدار شاخص سیمپسون نیز در گونه سرخارگل مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با عدس الملک، زوفا، شنبلیله، گل راعی، سرخارگل و مرزنجوش نداشت. در مرحله دوم نمونه‌برداری در سال زراعی دوم، بیشترین و کمترین مقادیر وزن خشک، تراکم و شاخص‌های تنوع علف‌های هرز به‌ترتیب در گونه گیاهی شنبلیله و بابونه حاصل شد (جدول ۶).

جدول ۵: مقایسه میانگین‌های شاخص‌های تنوع و تراکم غلظت‌های مختلف دارویی در سال زراعی ۱۳۹۰-۹۱
Table 5: the comparison of density, dry weight and diversity indices of weeds in medicinal species during 2011-2012

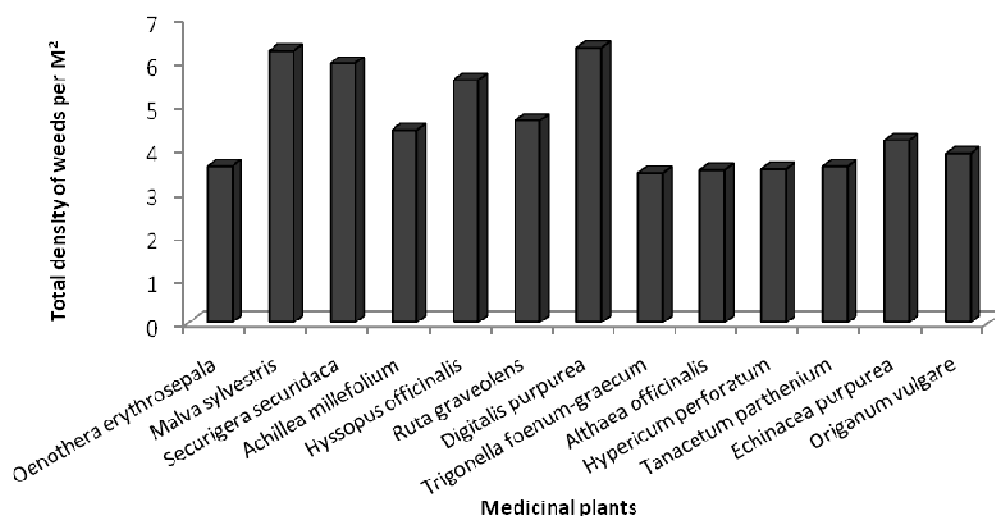
صفات	مرحله اول نمونه برداری Sampling stage 1						مرحله دوم نمونه برداری Sampling stage 2							
	تراکم کل	وزن خشک کل (گرم در متر مربع)	مربع Species richness	غلظت گونه‌ای Species richness	شاخص شانون Shannon index	شاخص مارگالوف Margalef index	شاخص سیمپسون Simpson index	تراکم کل در متر مربع Total density per m ²	وزن خشک کل (گرم در متر مربع) Total dry weight (g m ⁻²)	مربع Species richness	غلظت گونه‌ای Species richness	شاخص شانون Shannon index	شاخص مارگالوف Margalef index	شاخص سیمپسون Simpson index
<i>Oenothera erythrocypala</i> مغربی		9.287 ^{bc}	5.000 ^{def}	3.667 ^a	0.478 ^a	3.967 ^a	5.609 ^{abcd}		3.591 ^g	3.667 ^c	4.333 ^{abc}	0.534 ^{ab}	5.783 ^a	0.000 ^c
<i>Malva sylvestris</i> پنبهک		7.724 ^{bc}	9.333 ^{ab}	5.333 ^a	0.642 ^a	4.525 ^a	8.333 ^{ab}		10.115 ^c	5.627 ^a	5.000 ^{ab}	0.573 ^{ab}	5.337 ^a	10.974 ^a
<i>Securigera securidaca</i> عدس‌الساکی		4.594 ^c	7.000 ^{cd}	4.333 ^a	0.535 ^a	4.014 ^a	6.756 ^{abc}		5.431 ^f	5.667 ^a	4.333 ^{abc}	0.528 ^{ab}	4.524 ^{ab}	4.333 ^{bc}
<i>Achillea millefolium</i> یومادران		29.683 ^a	4.667 ^{ef}	4.000 ^a	0.531 ^a	4.607 ^a	1.667 ^d		7.920 ^{de}	5.667 ^a	5.333 ^a	0.680 ^a	5.809 ^a	14.996 ^a
<i>Hyssopus officinalis</i> ریحان		10.915 ^{bc}	7.299 ^{bc}	3.667 ^a	0.447 ^a	3.544 ^a	2.557 ^d		7.625 ^e	4.000 ^{bc}	2.667 ^{def}	0.395 ^{bc}	2.760 ^{bc}	4.667 ^{bc}
<i>Ruta graveolens</i> سداب		3.965 ^c	5.000 ^{def}	3.000 ^a	0.390 ^a	2.792 ^a	4.333 ^{cd}		9.505 ^{cd}	4.000 ^{bc}	2.667 ^{def}	0.406 ^{bc}	3.015 ^{bc}	3.333 ^{bc}
<i>Digitalis purpurea</i> انگشتره		29.774 ^a	11.521 ^a	4.333 ^a	0.481 ^a	3.218 ^a	3.926 ^{cd}		20.390 ^a	4.496 ^{abc}	3.000 ^{cd}	0.413 ^{bc}	2.861 ^{bc}	3.333 ^{bc}
<i>Trigonella foenum-graecum</i> شنبلیله		3.176 ^c	3.333 ^f	2.667 ^a	0.282 ^a	2.534 ^a	2.000 ^d		2.756 ^g	1.071 ^d	1.333 ^f	0.100 ^d	1.107 ^c	0.000 ^c
<i>Althaea officinalis</i> خنسی		5.019 ^c	5.333 ^{def}	3.000 ^a	0.477 ^a	2.850 ^a	2.111 ^d		5.655 ^f	4.000 ^{bc}	3.333 ^{cd}	0.503 ^{ab}	3.935 ^{ab}	5.333 ^b
<i>Hypericum perforatum</i> گل‌رانی		8.811 ^{bc}	4.333 ^{ef}	3.333 ^a	0.396 ^a	3.790 ^a	3.667 ^{cd}		2.650 ^g	3.420 ^c	2.333 ^{def}	0.312 ^c	2.351 ^{bc}	1.667 ^{bc}
<i>Tanacetum parthenium</i> بابونه		4.704 ^c	3.333 ^f	3.000 ^a	0.402 ^a	3.876 ^a	2.000 ^d		2.319 ^g	5.000 ^{ab}	3.667 ^{bcd}	0.544 ^{ab}	3.697 ^{ab}	5.153 ^b
<i>Echinacea purpurea</i> سرخارگی		13.855 ^b	5.667 ^{cd}	4.000 ^a	0.457 ^a	3.962 ^a	9.555 ^a		9.425 ^{cd}	2.103 ^d	2.000 ^{ef}	0.312 ^c	2.351 ^{bc}	1.667 ^{bc}
<i>Origanum vulgare</i> مرزنجوش		14.429 ^b	4.147 ^{ef}	3.333 ^a	0.463 ^a	3.203 ^a	5.400 ^{bcd}		13.195 ^b	2.000 ^d	2.000 ^{ef}	0.259 ^{cd}	2.795 ^{bc}	0.000 ^c
LSD		8.421	2.291	1.724	0.272	1.494	3.963		1.633	1.238	1.376	0.185	2.252	4.744

جدول ۶: مقایسه میانگین‌های شاخص‌های تنوع، وزن خشک و تراکم علف‌های هرز در گونه‌های مختلف دارویی در سال زراعی ۱۳۹۱-۹۲
Table 6: the comparison of density, dry weight and diversity indices of weeds in medicinal species during 2012-2013

صفات	مرحله اول نمونه برداری Sampling stage 1						مرحله دوم نمونه برداری Sampling stage 2						
	گونه	وزن خشک کل (گرم در متر مربع) Total dry weight(g m ⁻²)	تراکم کل در density per m ²	غنی گونهای Species richness	شاخص شانون Shannon index	شاخص مارگالوف Margalef index	شاخص سیمپسون Simpson index	وزن خشک کل (گرم در متر مربع) Total dry weight(g m ⁻²)	تراکم کل در density per m ²	غنی گونه- Species richness	شاخص شانون Shannon index	شاخص مارگالوف Margalef index	شاخص سیمپسون Simpson index
<i>Oenothera erythrocypala</i> گل مغربی		6.573 ^{ade}	4.333 ^{bcd}	2.333 ^a	0.302 ^a	2.129 ^{bcd}	0.667 ^e	2.603 ^{fg}	1.333 ^g	1.333 ^c	0.039 ^e	0.399 ^e	0.000 ^d
<i>Malva sylvestris</i> بنبرک		14.383 ^b	7.667 ^{ab}	3.333 ^a	0.322 ^a	2.741 ^{abc}	2.398 ^{bcd}	2.515 ^{fg}	2.333 ^{efg}	2.333 ^{bc}	0.360 ^{ab}	3.612 ^{ab}	0.000 ^d
<i>Securigera securidaca</i> عدس السلک		26.768 ^a	8.000 ^a	3.000 ^a	0.430 ^a	2.319 ^{abcd}	3.160 ^{abc}	3.694 ^{efg}	3.154 ^{def}	2.000 ^{bc}	0.330 ^b	2.191 ^{cd}	2.333 ^{bc}
<i>Achillea millefolium</i> بومادران		10.677 ^{bc}	4.333 ^{bcd}	3.000 ^a	0.369 ^a	2.807 ^{abc}	1.667 ^{bcd}	4.750 ^{de}	3.000 ^{def}	2.333 ^{bc}	0.343 ^{ab}	2.913 ^{abcd}	3.030 ^b
<i>Hyssopus officinalis</i> روقا		8.966 ^{cd}	7.337 ^{abc}	3.000 ^a	0.432 ^a	3.941 ^a	3.824 ^{ab}	4.010 ^{ef}	3.667 ^{de}	2.667 ^{ab}	0.278 ^{bcd}	3.092 ^{abc}	2.298 ^{bc}
<i>Ruta graveolens</i> سداب		10.974 ^{bc}	3.906 ^d	2.667 ^a	0.448 ^a	3.086 ^{abc}	1.379 ^{cde}	7.320 ^c	5.667 ^{ab}	1.333 ^c	0.125 ^{cde}	0.428 ^e	1.300 ^{cd}
<i>Digitalis purpurea</i> گل انگشتانه		9.243 ^{cd}	5.333 ^{abcd}	2.000 ^a	0.403 ^a	1.905 ^{bcd}	2.583 ^{bcd}	98.189 ^a	3.866 ^{cde}	2.333 ^{bc}	0.332 ^b	2.768 ^{abcd}	2.750 ^{bc}
<i>Trigonella foenum-graecum</i> شنبلیله		3.340 ^e	3.000 ^d	2.333 ^a	0.276 ^a	0.699 ^d	3.000 ^{abcd}	8.215 ^c	6.333 ^a	3.667 ^a	*0.517	3.213 ^{abc}	6.568 ^a
<i>Althaea officinalis</i> ختمی		5.663 ^{de}	3.000 ^d	2.667 ^a	0.333 ^a	3.321 ^{ab}	0.815 ^{de}	2.560 ^{fg}	1.667 ^{fg}	1.333 ^c	0.100 ^{de}	0.611 ^e	0.333 ^d
<i>Hypericum perforatum</i> گل راعی		4.687 ^{de}	3.667 ^d	2.333 ^a	0.404 ^a	1.397 ^{cd}	3.735 ^{ab}	6.805 ^{cd}	2.667 ^{efg}	2.667 ^{ab}	0.446 ^{ab}	3.840 ^a	0.000 ^d
<i>Tanacetum parthenium</i> بابونه		4.030 ^e	4.667 ^{abcd}	2.667 ^a	0.322 ^a	2.509 ^{abc}	1.333 ^{cde}	1.920 ^g	1.333 ^g	1.333 ^c	0.100 ^{de}	0.611 ^e	0.000 ^d
<i>Echinacea purpurea</i> سرخارگل		5.020 ^{cde}	4.667 ^{abcd}	2.333 ^a	0.442 ^a	1.476 ^{cd}	5.075 ^a	4.963 ^{de}	4.333 ^{bcd}	2.000 ^{bc}	0.287 ^{bc}	1.653 ^{de}	2.667 ^{bc}
<i>Origanum vulgare</i> مرزنجوش		4.843 ^{de}	4.000 ^{cd}	2.333 ^a	0.326 ^a	1.507 ^{cd}	3.333 ^{abc}	11.930 ^b	5.402 ^{abc}	2.667 ^{ab}	0.363 ^{ab}	2.344 ^{bcd}	3.000 ^b
LSD		4.895	3.383	1.962	0.199	1.708	2.243	2.064	1.624	1.313	0.185	1.277	1.515



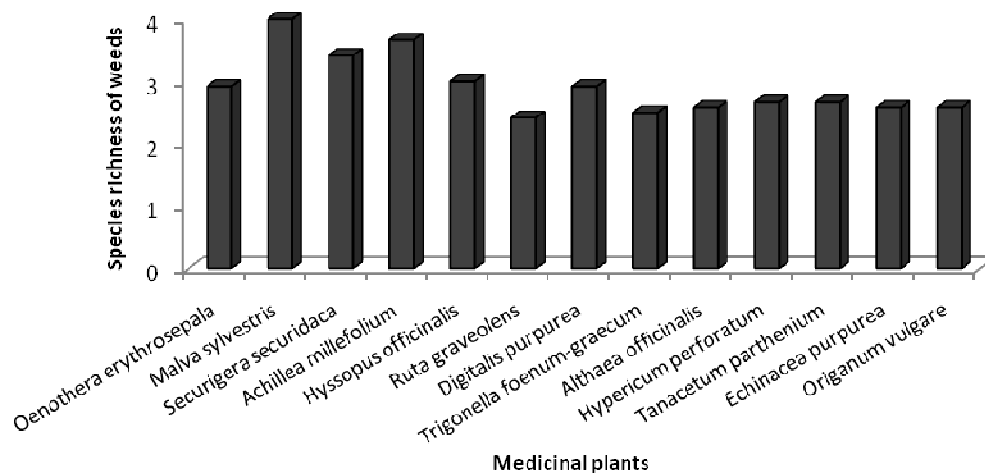
شکل ۱- تغییرات میانگین وزن خشک کل علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=2.434)
Fig. 1- The variation of total weed weight in different plant vegetation during different sampling stages and years



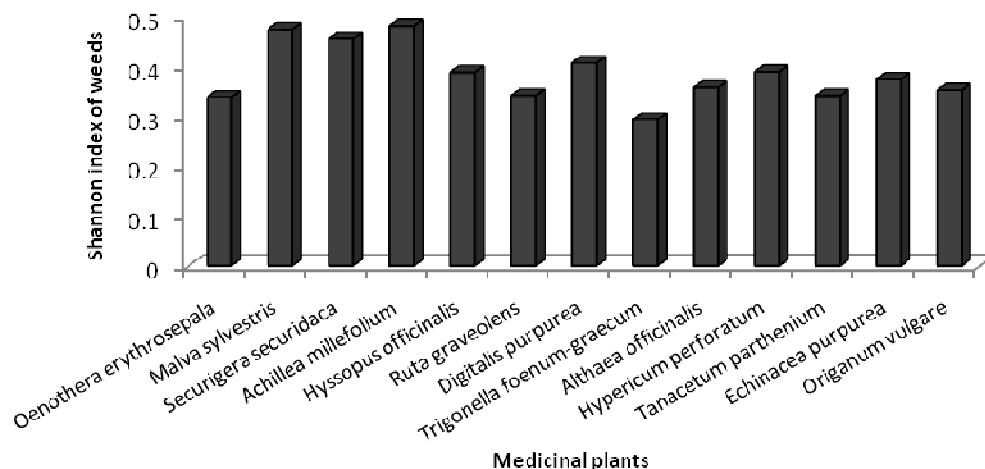
شکل ۲- تغییرات میانگین تراکم کل علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف در پوشش‌های گیاهی مختلف مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=1.174)
Fig. 2- The variation of total weed density in different plant vegetation during different sampling stages and years

شنبلیله، ختمی، گل راعی، بابونه، سرخارگل و مرزنجوش از نظر غنای گونه‌های علف‌های هرز در یک سطح آماری قرار گرفتند و کمترین مقدار این پارامتر را نشان دادند (شکل ۳).

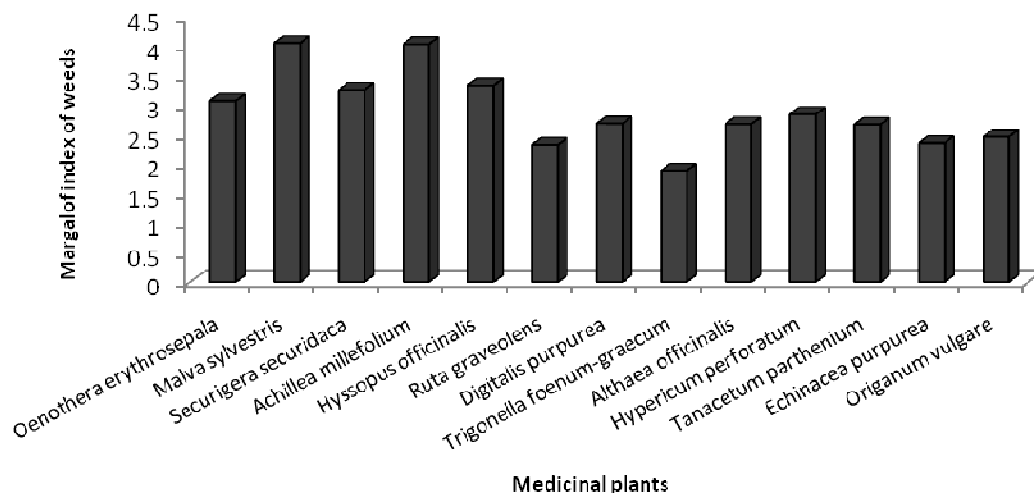
گونه دارویی پنیرک دارای بیشترین غنای گونه‌های علف‌های هرز (۴ گونه) بود که اختلاف آماری معنی‌داری با عدس الملک و بومادران نداشت. میانگین دو سال و دو مرحله نمونه‌برداری در هر سال نیز نشان داد که گونه‌های گل مغربی، زوفا، سداب، گل انگشتانه،



شکل ۳- تغییرات میانگین غنای گونه‌ای علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف در طی مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=0.727)
Fig. 3- The variation of weed richness in different plant vegetation during different sampling stages and years

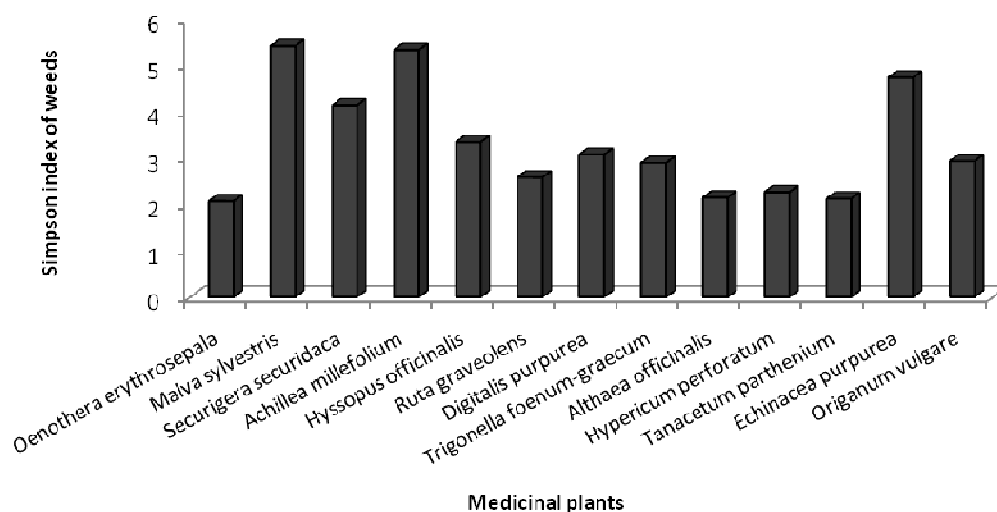


شکل ۴- تغییرات میانگین شاخص تنوع شانون علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف در طی مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=0.114)
Fig. 4- The variation of weed shannon index in different plant vegetation during different sampling stages and years



شکل ۵- تغییرات میانگین شاخص تنوع مارگالوف علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف در طی مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=0.886)

Fig. 5- The variation of weed Margalef index in different plant vegetation during different sampling stages and years



شکل ۶- تغییرات میانگین شاخص تنوع سیمپسون علف‌های هرز در پوشش‌های گیاهی مختلف در طی مراحل و سال‌های نمونه‌برداری (LSD=1.766)

Fig. 6- the variation of weed simpson index in different plant vegetation during different sampling stages and years

کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2013) با ارزیابی تنوع زیستی سبزیجات در بوم‌نظام‌های زراعی ایران گزارش کردند که نظام‌های تولید سبزیجات در بوم‌نظام‌های زراعی ایران، تنوع مناسبی نشان نمی‌دهند. همچنین نامبردگان اظهار داشتند که ناحیه معتدل و مرطوب شمالی بیشترین تنوع آلفا و ناحیه گرم و مرطوب جنوبی بیشترین تنوع بتا را دارند.

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، گونه‌های دارویی از نظر میانگین شاخص شانون در طی سال‌ها و مراحل نمونه‌برداری متفاوت عمل کردند، به‌طوری‌که گونه دارویی بومادران دارای بیشترین شاخص تنوع شانون به مقدار ۰/۴۸ بود که اختلاف آماری معنی‌داری با پنیرک، عدس الملک، زوفا، گل راعی، گل انگشتانه و سرخارگل نداشت.

نوروززاده و همکاران (Norozzadeh et al., 2008) با بررسی تنوع گونه‌ای، کارکردی و ساختار جوامع علف‌های هرز مزارع گندم استان خراسان در مطالعه‌ای چهارساله دریافتند که علف‌های هرز یکساله با ۸۹ گونه و دوساله با هفت گونه به‌ترتیب بیشترین غنای گونه‌ای دولپه‌ای و تک‌لپه‌ای را داشتند. همچنین محل نمونه‌برداری موجب تفاوت معنی‌داری در شاخص‌های شانون، سیمپسون و غنای گونه‌ای علف‌هرز شد.

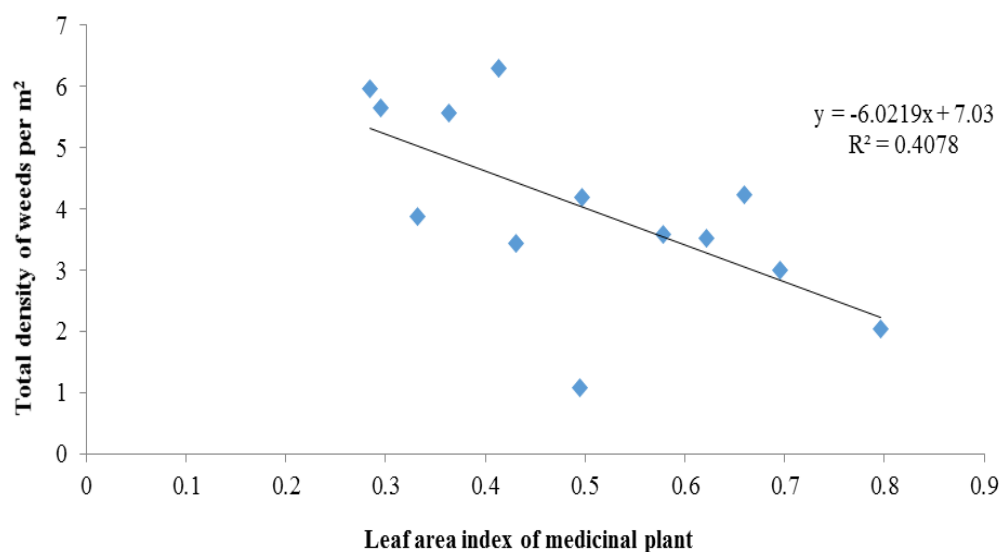
همان‌گونه که در شکل‌های ۷ و ۸ قابل مشاهده است رابطه رگرسیونی منفی بین تغییرات شاخص سطح برگ گیاهان دارویی با تراکم کل علف‌های هرز ($R^2=0.41$) و تغییرات وزن خشک کل گیاهان دارویی با تراکم کل علف‌های هرز ($R^2=45$) به‌دست آمد.

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، گونه‌های دارویی مورد مطالعه از نظر تنوع کارکردی علف‌های هرز در سطح تشابه ۷۵ درصد در پنج گروه قرار گرفتند که عبارت بودند از گل مغربی، پنیرک، عدس الملک و بومادران در گروه اول، زوفا، سداب، گل انگشتانه در گروه دوم، شنبلیله و گل راعی در گروه سوم، ختمی و بابونه در گروه چهارم و سرخارگل و مرزنجوش در گروه پنجم.

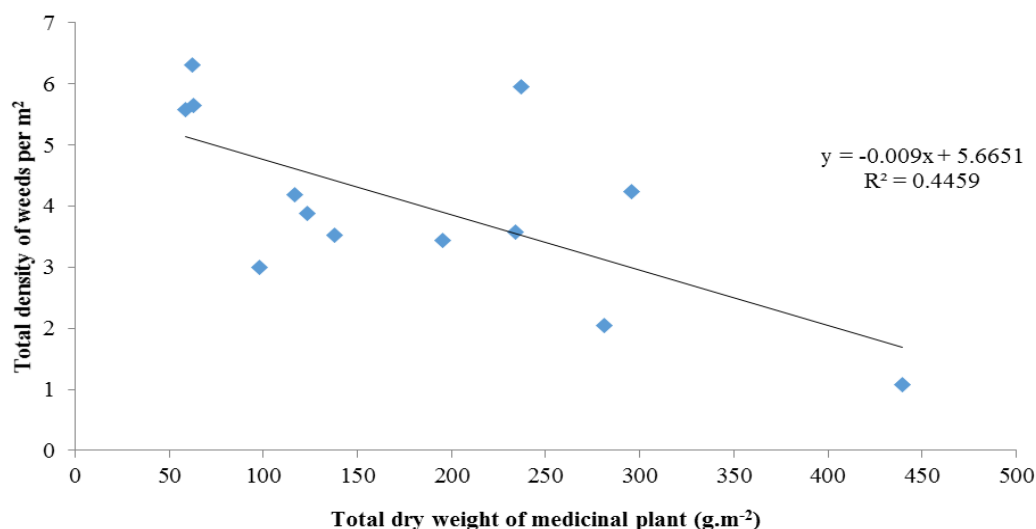
نتایج نشان داد که بیشترین شاخص تنوع مارگالوف نیز در کرت‌های دارای گونه‌های دارویی پنیرک، بومادران و زوفا به‌ترتیب به‌مقادیر ۴/۰۵، ۴/۰۳ و ۳/۳۳ به‌دست آمد (شکل ۵). کمترین مقدار این شاخص تنوع نیز در گونه شنبلیله مشاهده شد که اختلاف آماری معنی‌داری با سداب، گل انگشتانه، ختمی، بابونه، سرخارگل و مرزنجوش بستانی نداشت.

مقایسه میانگین دوساله و دومرحله در هر سال شاخص سیمپسون علف‌های هرز تحت تأثیر گونه‌های دارویی مختلف نشان داد که گونه‌های پنیرک، بومادران و سرخارگل به‌ترتیب با مقادیر ۵/۴۳، ۵/۳۴ و ۴/۷۴ بیشترین مقدار این شاخص را به خود اختصاص دادند (شکل ۶).

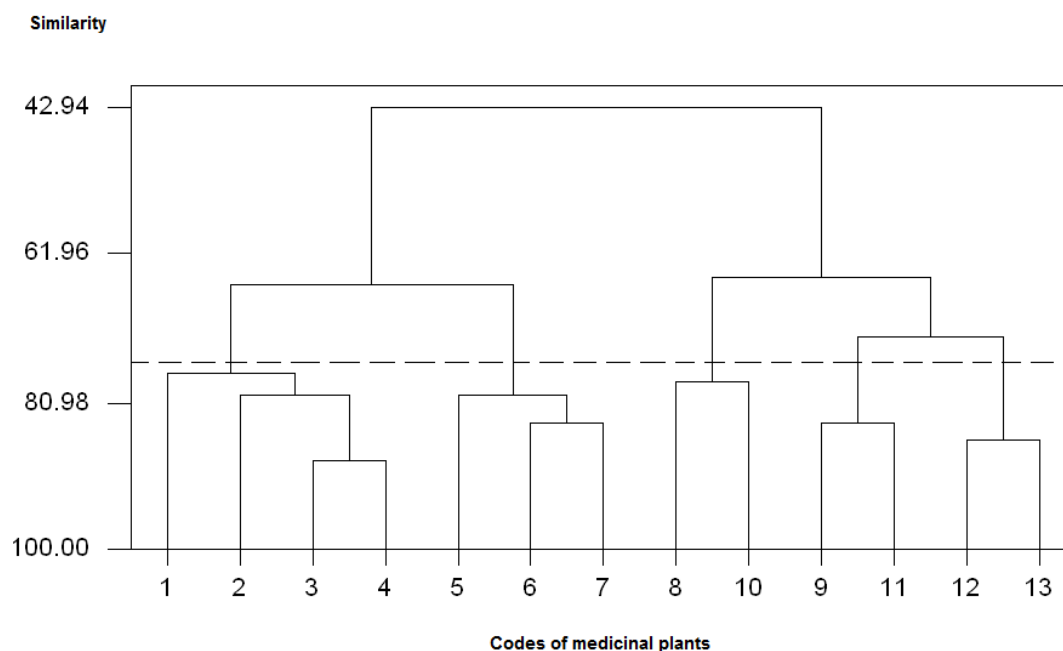
با توجه به شرایط تقریباً یکنواخت کرت‌های گیاهان دارویی، هر تغییری که در تنوع و تراکم علف‌های هرز در این زمین‌ها حاصل شده است را می‌توان به نوع گونه دارویی و کارکردها و خصوصیات متفاوت این گیاهان نسبت داد. عنوان شده است که تنوع جوامع علف‌های هرز و روش مدیریت آن‌ها در افزایش کارایی استفاده از مواد غذایی و امکانات مؤثر می‌باشد (Maguran, 1988).



شکل ۷- رابطه رگرسیونی بین تغییرات سطح برگ گیاهان دارویی و تراکم کل علف‌های هرز
Fig. 7- Regression between leaf area of medicinal plants and total weed density



شکل ۸- رابطه رگرسیونی بین تغییرات وزن خشک گیاهان دارویی و تراکم کل علف‌های هرز
Fig. 8- Regression between dry weight of medicinal plants and total weed density



شکل ۹- خوشه‌بندی گونه‌های گیاهی دارویی از نظر تنوع کارکردی علف‌های هرز

Fig. 9- The clustering of plant species for functional diversity of weeds

۱: گل مغربی، ۲: پنیرک، ۳: عدس الملک، ۴: بومادران، ۵: زوفا، ۶: سداب، ۷: گل انگشتانه، ۸: شنبلیله، ۹: ختمی، ۱۰: گل راعی، ۱۱: بابونه، ۱۲: سرخارگل و ۱۳: مرزنجوش

1: *Oenothera erythrosepala*, 2: *Malva sylvestris*, 3: *Securigera securidaca*, 4: *Achillea millefolium*, 5: *Hyssopus officinalis*, 6: *Ruta graveolens*, 7: *Digitalis purpurea*, 8: *Trigonella foenum-graecum*, 9: *Althea officinalis*, 10: *Hypericum perforatum*, 11: *Tanacetum parthenium*, 12: *Echinacea purpurea* and 13: *Origanum vulgare*.

بوم‌نظام‌ها، مستلزم افزایش توأمان تنوع گونه‌ای و تنوع کارکردی گونه‌ها می‌باشد (Diaz & Cabido, 1997; Dyer et al., 2001).

تحقیقات نشان می‌دهد که با وجود اهمیت تنوع زیستی جهت دستیابی به ثبات در بوم‌نظام‌های طبیعی و زراعی، بهبود کارکرد

حضور آن‌ها منجر به تغییرات جدی در زیستگاه و روابط زنجیره‌های غذایی می‌شود. با افزایش تنوع گونه‌ای و کارکردی گیاهان در بوم‌نظام‌های کشاورزی علاوه بر کاهش ریسک، تنوع زیستی و پایداری بوم‌نظام‌ها افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج این تحقیق، گونه‌های دارویی مورد مطالعه از نظر تأثیر بر تراکم، وزن خشک و تنوع کارکردی علف‌های هرز متفاوت بودند، به طوری که این گیاهان از نظر تنوع علف‌های هرز در سطح تشابه ۷۵ درصد در پنج گروه قرار گرفتند.

سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد ۲/۲۳۱۶۴ مورخ ۱۳۹۱/۰۶/۰۸ تأمین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه سپاسگزاری می‌گردد.

همچنین حفاظت از تنوع زیستی موجود در بوم‌نظام‌های زراعی مستلزم شناخت ویژگی‌ها و پراکندگی مکانی آن است (Koocheki et al., 2004 a).

حفظ جمعیت پایین علف‌های هرز در مزارع، پناهگاه‌های حیات وحش را بیشتر کرده و تنوع کارکردی چشم‌اندازهای زراعی را افزایش می‌دهد (Albrecht, 2003) البته باید این سودمند با ریسک کاهش تولید گیاه زراعی به‌علت رقابت با علف‌های هرز به تعادل برسد (Storkey & Cussans, 2007).

طبق نظر گلیسمن (Gliessman, 1998)، افزایش تنوع گیاهی در بوم‌نظام‌های زراعی، با تقلید از فرآیندهای بوم‌شناختی طبیعی منجر به استفاده مؤثر از منابع، افزایش تنوع زیستی و در نتیجه، پایداری این نظام‌ها می‌شود. برخی تحقیقات نشان داده است که پوشش‌های گیاهی با تنوع ساختاری و گیاهی بالا، دارای تنوع بی‌مهرگان بالایی می‌باشند (Lagerlof & Wallin, 1993; Thomas & Marshall, 1999).

نتیجه‌گیری

علف‌های هرز زمین‌های زراعی گونه‌های کلیدی هستند که عدم

References

- Adinehei, M., Bazoobandi, M., Ghorbani, R., and Hajmohammad Nia, K., 2012. Investigation of weed distribution and diversity in cotton field of Esarayan. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(1): 53-63. (In Persian with English Summary).
- Albrecht, H., 1995. Changes in arable weed flora of Germany during the last five decades. In: *Proceedings of the 9th EWRS Symposium, Budapest*. p. 41-48.
- Altieri, M.A., 1999. The ecological role of biodiversity in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 19-31.
- Asadi, G.A., Azizi, E., and Ghorbani, R., 2013. Effect of planting pattern and manure rates on diversity and density of weeds in spinach and garlic fields. p. 242-245. In: *5th Iranian Weed Science Conference, 24-26 August 2013, Karaj, Iran*. (In Persian with English Summary)
- Azizi, G., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. The effect of crop diversity and nutrient resource on weed composition and density in different cropping pattern. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7: 115-125. (In Persian with English Summary)
- Benton, T.G., Vickery, J.A., and Wilson, J.D., 2003. Farmland biodiversity: Is habitat heterogeneity the key?. *Trends in Ecology and Evolution* 18: 182-188.
- Diaz, S., and Cabido, M., 1997. Plant functional types and ecosystem function in relation to global change. *Journal of Vegetation Science* 8: 463-474.
- Dyer, A.R., Goldberg, D.E., Turkington, R., and Sayre, C., 2001. Effects of growing conditions and source habitat on plant traits and functional group definition. *Functional Ecology* 15: 85-95.
- Edim, H., Sarani, M., and Minbashi Moeini, M., 2010. Determining weed maps and population characteristics of irrigated wheat fields for Sistan and Baluchestan province. *Weed Research Journal* 2(1): 1-14. (In Persian with English Summary)

- Esfandiari, H., Tabatabaee, R., Minbashi Moeini, M., and Nooralizadeh, M., 2013. Investigation of diversity, density and dominant weed species of irrigated barley fields of Isfahan, using GIS (geographic information system). p. 428-431. In 5th Iranian Weed Science Conference, 24-26 August 2013, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Gliessman, S.R., 1998. Agroecology: Ecological Process in Sustainable Agriculture. Ann Arbor Press, Ann Arbor, MI. 400 p.
- Hasanejad, S., Mohammad Alizadeh, H., Mozaffarian, V., Chayichi, M.R., and Minbashi Moinni, M., 2009. Survey of density and abundance for barely field's weeds in Azarbayjan -e- shargi province. *Journal of Iranian Weed Science* 5(1): 69-90. (In Persian with English Summary)
- Jahani Kondori, M., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Rezvani Moghaddam, 2012. The investigation of effect of some chemical characteristics of soil on weed diversity index in wheat fields of east Mashhad. *Journal of Agroecology* 4(2): 91-103.
- Koochaki, A., Nassiri Mahallati, M., Tabrizi, L., Azizi, G., and Jahan, M. 2006. Assessing species and functional diversity and community structure for weeds in wheat and sugar beet in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Research* 4:105-129. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallat, M., Hasanzadeh Aval, F., Mansoori, H., Amiri, S.R., Zarghani, H., and Karimian, M., 2013. The investigation of vegetables biodiversity in Iran's agroecosystems. *Applied Ecology* 2(4):1-11. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, a., Nassiri Mahallati, M., Asgharipoor, M.R., and Kodashenas, A., 2004 a. Biodiversity of fruits and vegetables in Iran. *Iranian Field Crop Research* 2(1): 79-87. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Jahani Kondori, M., and Broomand Rezazadeh, Z., 2011. The study of biodiversity of industrial crops in Iran. *Iranian Journal of Field Crop Research* 9(3): 301-309. (In Persian with English Summary)
- Koocheki, A., Nassiri, M., Jahanbin, G., and Zarae, A. 2004 b. Diversity of crop cultivars in Iran. *Desert* 9(1): 49-67. (In Persian with English Summary)
- Lagerlof, J., and Wallin, H., 1993. The abundance of arthropods along 2 field margins with different types of vegetation composition—An experimental-study. *Agriculture Ecosystems and Environment* 43: 141–154.
- Magurran, A.E., 1988. Ecological diversity and its measurements. Princeton University Press, Princeton, NJ, 179 p.
- Martinez-Ghersa, M.A., Ghersa, C.M., and Satorre, E.H. 2000. Coevolution of agriculture systems and their weed companions: implication for research. *Field Crops Research* 67: 181-190.
- Matinzadeh, H., Alimoradi, L., and Bahari Kashani, R., 2011. The investigation of species, functional and structural diversity of orchard's weeds in Fariman. *Journal of Weed Ecology* 2(1): 19-31. (In Persian with English Summary)
- Naseri, H.R., Azarnivand, H., Zehtabian, G., Ahmadi, H., and Jafari, M., 2010. Investigation of relation between some physical and chemical soil properties and marginal vegetation communities of playa. *Rangeland* 3(4): 652-667.
- Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A., 2001. Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad, Iran, 460 p. (In Persian)
- Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siyahmarguei, A., and Bagherani, N., 2013. Identification and determining diversity and dominant index of wheat fields' weed flora in Bandar Gaz, Golestan province. p. 492-495. In 5th Iranian Weed Science Conference, 24-26 August 2013, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Norozzadeh, Sh., Rashed Mohasel, M.H., Nassiri mahallati, M., Koocheki, A., and Abbaspour, M., 2008. Evaluation of species, functional and structural diversity of weeds in wheat fields of Northern, Southern and Razavi Khorasan provinces. *Iranian Field Crop Research* 6(2): 471-485. (In Persian with English Summary)
- Noss, R.F., 1990. Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology* 4: 355–364.
- Poggio, S. L., Satorre, E. H., and de la Fuente, E. B., 2004. Structure of weed communities occurring in pea and wheat crops in the Rolling Pampa (Argentina). *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103: 225-235.
- Porheidar Ghafarbi, S., and Hassannejad, S., 2013. Identification and survey of weeds community indices in alfalfa fields of Shabestar. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production* 23(3): 71-87. (In Persian with English Summary)
- Raheb, S., Mablaghi, M., and Golain, B., 2012. The effects of some cover crops on weeds diversity changes in citrus orchards of Northern Iran. *Research Achievements for Field and Horticulture Crops* 1(1): 51-60. (In Persian with English Summary)
- Storkey, J., and Cussans, J.W., 2007. Reconciling the conservation of in-field biodiversity with crop production using a

- simulation model of weed growth and competition. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 122: 173–182.
- Thomas, C.F.G., and Marshall, E.J.P., 1999. Arthropod abundance and diversity in differently vegetated margins of arable fields. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 72: 131–144.



The Investigation of Functional Diversity Effect on Composition, Density and Diversity Indices of Weeds in some Medicinal Plants

A. Koocheki^{1*}, E. Azizi², L. Tabrizi³ and S. Bakhshae⁴

Submitted: 14-12-2014

Accepted: 05-04-2015

Koocheki, A., Azizi, E., Tabrizi, L., and Bakhshae, S., 2021. The investigation of functional diversity effect on composition, density and diversity indices of weeds in some medicinal plants. Journal of Agroecology 13(1):1-21.

Introduction

Nowadays, with increasing tendency to monoculture of medicinal and horticultural plants, the range of genetic diversity in agricultural ecosystems has decreased. Conventional agricultural activities with simplification of ecosystems makes ecosystems more unstable and more sensitive to environmental hazards. Therefore, the promotion of biodiversity in these systems is effective for their recovery and sustainability. The purpose of designing sustainable agricultural ecosystems is to integrate ecosystem components in such a way that maintains and strengthens the biodiversity, productivity and self-regulatory capacity of the agricultural ecosystem. Functional diversity is achieved by using different functional species with different roles in agroecosystems. The role of weeds in increasing diversity in agroecosystems is very important because they are closely associated with many of the crops and genetic exchange between them. The presence of weeds in the crop ecosystem reduces genetic vulnerability through strategy of environmental diversification as well as the occurrence of resistance mechanisms.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of some medicinal plants on weed density and diversity, an experiment was conducted based on a complete randomized block design with three replications at the agricultural research station, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during 2012 and 2013. Treatments included 13 medicinal species (*Origanum vulgare*, *Hyssopus officinalis*, *Tanacetum parthenium*, *Echinacea purpurea*, *Ruta graveolens*, *Althea officinalis*, *Hypericum perforatum*, *Trigonella foenum-graecum*, *Oenothera erythrosepala*, *Malva sylvestris*, *Securigera securidaca*, *Achillea millefolium* and *Digitalis purpurea*). After tillage, land preparation and leveling, each plant was cultivated in strips of 10*3 meters. After complete establishment of the plants in order to achieve the desired density, thinning operations were performed on each strip. The distance between the test strips was 0.5 m. Seeds of all studied plants were sown in April 2012. In both cropping years to study the diversity of weeds, a part of each plot with dimensions of 0.5 m

1- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Payame Noor University, Iran

3- Assistant Professor, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran.

4- Ph.D. Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

Doi: 10.22067/jag.v1i1.42321

was separated and remained without weeding and in all plots of medicinal plants, density and dry weight of weeds was determined at two stages of vegetative and reproductive growth of medicinal plants. Also, physiological and morphological characteristics such as height, leaf area and dry weight of plants in each plot were measured. In order to calculate the diversity of weeds, the type of weed species and their density were determined in quadrates with dimensions of 40*40 cm. Then the weeds in each plot were harvested separately and transferred to the laboratory and were placed at 70 °C for 48 hours to determine the dry weight. Shannon, Margalf and Simpson diversity indices were used to quantify weed diversity.

Results and Discussion

The results indicated that the effect of medicinal species on total weed density and weight was significant. The highest and the lowest dry weed weight was obtained in *Digitalis purpurea* (39.4 g.m⁻²) and *Tanacetum parthenium* (3.2 g.m⁻²), respectively. The highest total weed density was observed in *Malva sylvestris*, *Securigera securidaca*, *Digitalis purpurea* and *Hyssopus officinalis*. *Malva sylvestris* had the highest weed richness (four species) that it was not significantly different with *Securigera securidaca* and *Achillea millefolium*. During different sampling years and stages, the highest Shannon index was obtained in *Achillea millefolium* (0.48) that it was not different with *Malva sylvestris*, *Securigera securidaca*, *Hyssopus officinalis*, *Hypericum perforatum*, *Digitalis purpurea* and *Echinacea purpurea*, significantly. Also, the highest margalof index was obtained in *Malva sylvestris*, *Achillea millefolium* and *Hyssopus officinalis* (4.05, 4.03 and 3.33, respectively). Studied medicinal species for weed diversity divided to 5 groups in 75% similarity level.

Despite the importance of biodiversity for the stability of natural ecosystems and agroecosystems, increasing species and functional diversity, simultaneously, is necessary to improve agroecosystem's function. Keep the limited weed population in field increase functional diversity of agricultural landscapes but, this profit must reach equilibrium with the risk of decreasing crop production due to competition with weeds.

Keywords: Dry weight, Margalof index, Shannon index, Simpson index, Species richness.



مقاله علمی - پژوهشی

بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیکی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و روغن دانه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.)

رضوان سهرابی^۱، پرویز رضوانی مقدم^{۲*}، رضا قربانی^۳ و علیرضا آستارایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۱۷

سهرابی، ر.، رضوانی مقدم، پ.، قربانی، ر. و آستارایی، ع. ۱۴۰۰. بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیکی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و عملکرد روغن دانه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.). بوم شناسی کشاورزی، ۱۳(۱): ۲۳-۳۸.

چکیده

به منظور بررسی اثر کودهای آلی، بیولوژیکی و شیمیایی بر اجزاء عملکرد، عملکرد و عملکرد روغن دانه سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) آزمایشی در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. در این آزمایش فاکتور کودهای آلی و زیستی در چهار سطح (کود زیستی بیوسولفور + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پودر گوگرد خالص، هفت کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید، هفت کیلوگرم در هکتار فولویک اسید و عدم مصرف کود (شاهد)) و فاکتور کود شیمیایی و دامی در سه سطح (کود شیمیایی (NPK)، به ترتیب ۸۰، ۴۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار)، کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) و عدم مصرف کود (شاهد)) استفاده شد. نتایج آزمایش نشان داد که فاکتورهای مورد مطالعه و اثرات متقابل آن ها بر صفات تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن اثر معنی داری داشتند. بیشترین ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد روغن (به ترتیب ۵۸/۹ سانتی متر، ۵/۷۹، ۷/۷۶، ۷۱/۷، ۵۹/۴، ۱/۰۷۵ گرم، ۲/۲ تن در هکتار و ۵۱۷ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار کود شیمیایی با بیوسولفور بود و کمترین آن ها (۴۹ سانتی متر، ۳/۰۱، ۳/۹۲، ۳۹/۸، ۱۹۴، ۰/۴۴۵ گرم، ۰/۹۳۵ تن در هکتار و ۲۲۱ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تیمار شاهد بود. بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به تیمار کود گاوی با هیومیک اسید (۴۹ درصد) و تیمار شاهد (۲۵/۶ درصد) بود. بیشترین و کمترین درصد روغن به ترتیب مربوط به تیمار کود گاوی با هیومیک اسید (۲۷/۱۱ درصد) و تیمار کود شیمیایی (۲۰/۱۱ درصد) بود. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که کاربرد هیومیک اسید و فولویک اسید و کود زیستی بیوسولفور به تنهایی و یا همراه با کود شیمیایی و گاوی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه دانه تأثیر مثبتی داشت.

واژه های کلیدی: بیوسولفور، فولویک اسید، کود گاوی، هیومیک اسید.

مقدمه

در دهه های اخیر تولید محصولات کشاورزی عمدتاً متکی به مصرف نهاده های شیمیایی بوده که منجر به مشکلات عمده زیست محیطی شده است. تخریب منابع آب و خاک، زوال تنوع زیستی

کشاورزی، آلودگی هوا و آب (Samavati & Malakuti, 2006) به وسیله کودهای شیمیایی و آفت کشها، تنها بخشی از مشکلات زیست محیطی ناشی از کشاورزی رایج مبتنی بر مصرف نهاده های شیمیایی هستند (Chatterjee, 2002). یکی از راهکارهای رفع این مشکل استفاده از اصول کشاورزی پایدار در بوم نظام های زراعی می باشد. از آنجایی که مدیریت خاک از عوامل اصلی در نیل به کشاورزی پایدار محسوب می شود (Chatterjee, 2002). لذا جایگزینی تدریجی کودهای شیمیایی با کودهای زیستی و آلی باعث خواهد شد که ضمن تأمین نیازهای غذایی گیاهان، بهبود شرایط فیزیکی،

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۳- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

(*) نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v12i1.22652

آلومینیوم، آهن در خاک‌های اسیدی و کلسیم در خاک‌های قلیایی به‌شدت کاهش می‌یابد (Gaur et al., 1980). باکتری *Bacillus lentus* باعث آزادسازی فسفات از ترکیبات معدنی می‌گردد (Gaur et al., 1980; Rudresh et al., 2005). این میکروارگانیسم‌های حل‌کننده فسفات با تولید اسیدهای آلی و معدنی و تولید آنزیم فسفاتاز باعث انحلال فسفات‌های معدنی و آلی می‌شوند (Salimpur, 2010). جوتر و ردی (Jutur & Reddy, 2007) نیز تأثیر مثبت این باکتری‌ها در حلالیت فسفر را به اثبات رساندند. جونز و داراه (Jones & Darrah, 1996) نیز در آزمایش خود نشان دادند که اسیدهای آلی آزاد شده از ریزجاندارانی نظیر باسیلوس علاوه بر فسفر، باعث آزادسازی منگنز، روی، آهن و منیزیم از کمپلکس‌های موجود در خاک می‌گردند. بررسی تأثیر سطوح مختلف کود دامی روی گیاهان دارویی زنیان (*Trachyspermum copticum*) و شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) نشان داد که بیشترین میزان تجمع ماده خشک در گیاه زنیان در تیمار ۳۰ تن در هکتار کود دامی به‌دست آمد، هم‌چنین بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول در تیمار ۲۰ تن در هکتار کود دامی حاصل شد (Mir Hashemi et al., 2010). رضازاده و همکاران (Rezazadeh et al., 2012) گزارش کردند که در شرایط استفاده از هیومیک اسید، عملکرد علوفه ذرت ۳۱ درصد بیشتر از شاهد بود. در مطالعه دیگری کاربرد ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک هیومیک اسید منجر به افزایش طول و قطر ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه فلفل (*Capsicum frutescens*) شد (Turkmen et al., 2005). نتایج قربانی و همکاران (Ghorbani et al., 2011) نشان داد که کاربرد اسید هیومیک در آب آبیاری ذرت بر شاخص سطح برگ، دوام سطح برگ، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، تعداد دانه در ردیف و طول بلال تأثیر معنی‌داری داشت، اما تأثیر آن بر شاخص برداشت، وزن هزار دانه و تعداد ردیف معنی‌دار نبود.

مکارتی (Maccarthy, 2001) گزارش کرد کاربرد اسید هیومیک با افزایش جذب عناصر کم مصرف در گیاه گندم در رفع کلروز برگی مؤثر بود. شرفی و همکاران (Sharafi et al., 2010) نشان دادند تأثیر مصرف تیوباسیلوس برای کلزا (*Brassica napus*) بر طول ساقه اصلی، تعداد غلاف در ساقه اصلی و شاخه فرعی، و تعداد برگ در هر بوته معنی‌دار بود. رحیم‌زاده و همکاران (Rahimzade et al., 2011) در پژوهش خود روی گیاه دارویی

شیمیایی و بیولوژیکی خاک (Arun, 2002)؛ از عوارض سوء زیست‌محیطی حاصل از کاربرد نهاده‌های شیمیایی جلوگیری شود. مواد آلی به‌علت اثرات سازنده‌ای که بر خصوصیات فیزیکی و بیولوژیک خاک دارند به‌عنوان یکی از ارکان تغذیه گیاه و باروری خاک شناخته شده‌اند. کودهای آلی مهم‌ترین عامل فراهمی ماده آلی در ریزوسفر گیاه می‌باشند (Tejada et al., 2008). کودهای آلی، از جمله کودهای حیوانی، قادر به افزایش قدرت نگهداری آب توسط خاک، کاهش تنش‌ها از جمله تنش خشکی (Macilwain, 2004)، افزایش تنوع میکروبی خاک (Oehl et al., 2004)، بهبود ساختمان فیزیکی خاک (Pulleman et al., 2003) و جلوگیری از فرسایش خاک (Pinamonti, 1998) می‌باشند که به همراه تأمین بخشی از مواد غذایی مورد نیاز گیاه (Turgut et al., 2005)، رشد و عملکرد گیاه را بهبود داده (Kramer et al., 2002) و کیفیت و سلامت محصول را افزایش می‌دهد (Giles, 2004).

هیومیک اسید و فولویک اسید از اسیدهای آلی هستند و ترکیب پلیمری طبیعی آلی دارند. این اسیدهای آلی در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت، لیگنین و غیره به‌وجود می‌آیند (Aiken et al., 1985). مقادیر بسیار کم از اسیدهای آلی از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، منجر به افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود (Natesan et al., 2007). این نوع از کودها به‌دلیل داشتن خاصیت کلات‌کنندگی، احیاء‌کنندگی (Chen & Aviad, 1990) باعث جذب عناصر غذایی نظیر نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس می‌شوند (Harper et al., 2000) و هم‌چنین باعث افزایش متابولیسم ریزجانداران خاک می‌شوند که نتیجه آن بهبود وضعیت فیزیکی و باروری خاک و افزایش رشد ریشه و ساقه است (Cooper et al., 1998). هیومیک اسید با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰-۳۰۰۰۰۰ دالتن سبب تشکیل کمپلکس‌های محلول با عناصر میکرو می‌گردد (Michael, 2001).

کود زیستی بیوسولفور تحت عنوان به‌ساز خاک حاوی مجموعه‌ای از مؤثرترین میکروارگانیسم‌های اکسیدکننده گوگرد است که قادرند در کوتاه‌ترین زمان، مقادیر قابل ملاحظه‌ای از گوگرد عنصری (S) را اکسید کنند. با اکسیداسیون، نه تنها عناصر مهم فوق از ریشه جذب می‌شوند، بلکه گوگرد به سولفات تبدیل شده و به‌راحتی توسط گیاه جذب می‌شود. فسفر یکی از عناصر ضروری مورد نیاز گیاهان زراعی است که قابلیت جذب آن به‌دلیل تثبیت توسط یون‌های معدنی نظیر

بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) گزارش کردند که بیشترین عملکرد دانه در تیمار کود شیمیایی و کمترین در تیمار شاهد (عدم مصرف کود) بود. همچنین احمدیان و همکاران (Ahmadian et al., 2009) گزارش کردند کودهای آلی بر عملکرد بذر در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) معنی دار بود. خرم دل و همکاران (Khorramdel et al., 2011) گزارش کردند، کاربرد کودهای بیولوژیک مناسب می تواند در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد سیاه دانه مؤثر باشد.

سیاه دانه (*Nigella sativa* L.) گیاهی یک ساله، دولپه، علفی و دارویی متعلق به خانواده آلاله است (Zargari, 1998). شرایط محیطی و حاصلخیزی خاک یکی از عوامل تأثیرگذار در عملکرد دانه، کمیت و کیفیت اسانس و روغن تولیدی در سیاه دانه می باشد. با توجه به این که تحقیقات چندانی در خصوص تأثیر کودهای هیومیک اسید و فولویک اسید بر سیاه دانه انجام نشده است، لذا توجه به مدیریت تأمین نیازهای غذایی سیاه دانه با تأکید بر استفاده از کودهای بیولوژیک و آلی در کشت موفقیت آمیز این گیاه اجتناب ناپذیر می باشد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد واقع در ۱۰ کیلومتری شرق مشهد (طول جغرافیایی ۲۸°۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ۱۵°۳۶ شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا) به اجرا در آمد. آزمایش شامل ۱۲ تیمار که به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. در این آزمایش فاکتور کودهای آلی و زیستی در چهار سطح (کود زیستی بیوسولفور + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار پودر گوگرد خالص، هفت کیلوگرم در هکتار هیومیک اسید، هفت کیلوگرم در هکتار فولویک اسید و عدم مصرف کود (شاهد)) و فاکتور کود شیمیایی و گاوی در سه سطح (کود شیمیایی، کود گاوی و عدم مصرف کود (شاهد)) استفاده شد. تیمارهای آزمایش به شرح زیر می باشند:

کود شیمیایی NPK (به ترتیب ۸۰، ۴۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار) با فولویک اسید (به میزان هفت کیلوگرم در هکتار)
کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) با فولویک اسید (هفت کیلوگرم در هکتار)
فولویک اسید (هفت کیلوگرم در هکتار)

کود شیمیایی NPK (به ترتیب ۸۰، ۴۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار) با هیومیک اسید هفت کیلوگرم در هکتار)
کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) با هیومیک اسید (هفت کیلوگرم در هکتار)

هیومیک اسید (هفت کیلوگرم در هکتار)
کود شیمیایی NPK (به ترتیب ۸۰، ۴۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار) با بیوسولفور با گوگرد (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)
کود گاوی (۲۰ تن در هکتار) با بیوسولفور با گوگرد (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)

بیوسولفور با گوگرد (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار)
کود شیمیایی NPK (به ترتیب ۸۰، ۴۰، ۳۰ کیلوگرم در هکتار)
کود گاوی (۲۰ تن در هکتار)
تیمار شاهد (بدون کود)

قبل از اجرای آزمایش، نمونه گیری از خاک مزرعه از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متر انجام شد و همراه با کودهای آلی مورد استفاده، مورد تجزیه فیزیکی و شیمیایی قرار گرفت. نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ و کود گاوی در جدول ۲ آمده است. مقدار کود گاوی با معادل سازی بر اساس میزان نیتروژن خالص (با ضریب دسترسی ۵۰٪) کود شیمیایی تعیین شد. گوگرد هم به صورت پودری مورد استفاده قرار گرفت. کود زیستی بیوسولفور (با کتری تیوباسیلوس با جمعیتی معادل ۱۰۹ سلول زنده در هر گرم) نیز طبق دستورالعمل شرکت تولیدکننده (شرکت فرآوری شیمیایی زنجان)، مصرف شد (کود زیستی بیوسولفور به ازای هر ۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار یک کیلوگرم استفاده شد و قبل از کشت با زدن شیارهایی روی پشته، در محل کشت با خاک مخلوط شد). کود گاوی کاملاً پوسیده یک هفته قبل از کشت در تیمارهای مربوطه به صورت اختلاط با خاک پشته ها اضافه شد. کود شیمیایی آمونیوم دی فسفات (بر اساس میزان فسفات) و پتاسیم اکسید قبل از کاشت با زدن شیارهایی روی پشته، در محل کشت با خاک مخلوط شدند و کود اوره به صورت سرک به منظور تأمین مقدار نیتروژن باقی مانده، در دو مرحله و به صورت یکسان (۴۸ کیلوگرم در هکتار) که مرحله اول قبل از گل دهی و مرحله دوم پس از گل دهی استفاده شد.

بذر گیاه سیاه دانه از مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. بذور به صورت خطی در دو طرف هر پشته در ۲۶ اسفند ماه ۱۳۹۰ با عمق پنج سانتی متر کشت شد. ابعاد هر کرت

هفته‌ای یک نوبت انجام شد. به‌منظور حصول تراکم مناسب، گیاه در دو مرحله و پس از استقرار کامل در مرحله چهاربرگی و شش‌برگی تنک شد و به تراکم مورد نظر (۲۰۰ بوته در مترمربع) رسید. عمل وجین علف هرز به‌روش دستی، در سه نوبت انجام گرفت. در طول دوره رشد هیچ نوع آفت یا بیماری مشاهده نگردید و بنابراین هیچ سم یا آفت‌کشی مورد استفاده قرار نگرفت.

۳×۲/۵ متر ایجاد شد و تیمارها به‌صورت تصادفی در کرت‌ها اختصاص یافتند. در هر کرت پنج ردیف کشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد شد. فاصله بین کرت‌ها در هر بلوک به‌اندازه دو ردیف نکاشت و فاصله بین بلوک‌ها یک متر درنظر گرفته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت و بعد از آن تا زمان استقرار کامل گیاه هر هفته دو مرتبه به‌صورت نشتی انجام گرفت. پس از استقرار کامل گیاه، آبیاری

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

Table 1- Physicochemical characteristics of farm soil

اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	بافت
pH	EC (dS.m ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	Total N (%)	Texture
7.8	1.2	302	21.6	0.058	سلیت-لومی Silt loam
					خاک Soil

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کود گاوی مورد استفاده در آزمایش

Table 2- Physicochemical characteristics of was used cow manure in the experiment

اسیدیته	هدایت الکتریکی	پتاسیم	فسفر	نیتروژن کل	
pH	EC (dS.m ⁻¹)	Potassium (mg.kg ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	Total N (%)	
8.04	3.86	1.67	0.668	0.839	کود گاوی Cow Manure

(۵۵ سانتی‌متر) بود (جدول ۴)، اما تعداد شاخه جانبی در فاکتور کود آلی و زیستی معنی‌دار نبود. فاکتور کود شیمیایی و گاوی بر ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی اثر معنی‌دار داشتند و بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی مربوط به کود شیمیایی (به‌ترتیب ۵۶ سانتی‌متر و ۵/۱) و کمترین آن مربوط به شاهد بود (جدول ۴). اما اثر متقابل این فاکتورها اگرچه معنی‌دار نبود (جدول ۳)، ولی باعث افزایش ارتفاع بوته شد. بیشترین ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی مربوط به تیمار کود شیمیایی با بیوسولفور (به‌ترتیب ۵۹ سانتی‌متر و ۵/۸) و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد (به‌ترتیب ۴۹ سانتی‌متر و ۳/۰) بود (جدول ۵). ارتفاع بوته با تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. به نظر می‌رسد در دسترس بودن آب و تأمین تدریجی عناصر غذایی ضروری گیاه در تیمارهای کود آلی و زیستی از طریق افزایش تعداد گره‌ها و طول میان‌گره‌ها ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Berti & Jacobs, 1996). در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) استفاده از کودهای بیولوژیک بر صفات ظاهری ارتفاع بوته و تعداد کاپیتول در بوته تأثیر معنی‌داری داشت، به‌طوری‌که بیشترین تعداد کاپیتول در بوته و بزرگ‌ترین کاپیتول از نظر قطر در تیمار کود بیوسولفور بود (Dehghani Meshkani, 2010). هم‌چنین در یک آزمایش مزرعه‌ای روی ریحان (*Ocimum basilicum*)، کاربرد توأم کودهای نیتروژنه آلی و معدنی، باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به کاربرد کودهای معدنی به

قبل از برداشت به‌طور تصادفی ۱۰ بوته از هر کرت به‌منظور اندازه‌گیری خصوصیات مورفولوژیکی و اجزاء عملکرد دانه سیاه‌دانه شامل: ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول پر در بوته، تعداد دانه در فولیکول و وزن هزار دانه برداشت شد. پس از حذف اثر حاشیه (دو ردیف کناری و ۰/۲۵ متر از ابتدا و ۰/۲۵ متر از انتهای کرت) بوته‌های سطح باقی‌مانده برای تعیین عملکرد دانه برداشت شد.

برای تعیین درصد روغن مقدار پنج گرم دانه به‌طور تصادفی از دانه‌های برداشت شده از هر کرت انتخاب و با استفاده از دستگاه سوکسله با حلال ان-هگزان مقدار روغن دانه تعیین شد. تجزیه واریانس (ANOVA) و تحلیل رگرسیونی داده‌های حاصل از آزمایش و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS و MSTAT انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها در سطح احتمال یک و پنج درصد و بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام گردید.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته و تعداد شاخه جانبی

نتایج نشان داد که اثر ساده فاکتور کود آلی و زیستی بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۳) و بیشترین آن مربوط به کود بیوسولفور

کودهای مختلف روی وزن هزار دانه اثر معنی داری نداشت. با این وجود، تیمارهای تلفیقی کود گاوی با هیومیک اسید و کود شیمیایی به ترتیب بیشترین (۲/۳ گرم) و کمترین (۲/۲ گرم) مقدار را دارا بودند. وزن هزار دانه با تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته و عملکرد بیولوژیک همبستگی منفی داشت (جدول ۶). تعداد فولیکول در بوته از اجزای مهم عملکرد محسوب می شود، زیرا فولیکول که دربرگیرنده تعداد دانه و نهایتاً افزایش تعداد دانه در گیاه است، باعث افزایش عملکرد می شود. تعداد فولیکول در دانه با تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد دانه همبستگی مثبت معنی داری داشت (جدول ۶). شالان (Shalan, 2005) افزایش تعداد کپسول در بوته را تحت شرایط استفاده از کودهای بیولوژیک گزارش کرد. دهقانی مشکانی (Dehghani Meshkani et al., 2010) در تحقیقی که در مورد تأثیر کودهای بیولوژیک بر گیاه بابونه شیرازی (*Matricaria recutita* L.) انجام دادند، گزارش کردند که تعداد کاپیتول در بوته در تیمار بیوسولفور نسبت به کود شیمیایی و سایر کودهای بیولوژیک بیشتر بود. هم‌چنین خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2011) با انجام پژوهشی روی گیاه سیاه‌دانه، اثر تلفیق با کودهای بیولوژیک در تعداد فولیکول در بوته را معنی‌دار گزارش کردند. مرادی (Moradi, 2009) نیز افزایش تعداد دانه در بوته را ناشی از مصرف کودهای آلی در رازیانه گزارش کرد. به نظر می‌رسد که بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه و هم‌چنین افزایش آب در دسترس گیاه ناشی از بهبود خواص فیزیکی خاک در اثر مصرف کودهای آلی، باعث افزایش قدرت رشد گیاه، افزایش تعداد فولیکول در بوته، تعداد دانه در فولیکول و در نتیجه، تعداد دانه در بوته و وزن دانه در بوته می‌باشد. وزن هزار دانه با تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته و عملکرد بیولوژیک همبستگی منفی داشت (جدول ۶).

تنهایی شد (Kandeel et al., 2002). مرادی و همکاران (Moradi et al., 2011) نیز افزایش معنی‌دار در تعداد شاخه اصلی و فرعی نسبت به شاهد (عدم مصرف کود) را در کاربرد کودهای بیولوژیک و آلی در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgare*) گزارش کردند. اما کامیستانی (Kamayestani, 2012) در آزمایش خود، بی‌تأثیر بودن تیمارهای کودی روی شاخه‌های جانبی گیاه انیسون (*Pimpinella anisum*) را گزارش کرد و هم‌نین یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2011) بی‌تأثیر بودن تیمارهای کودی اعمال شده روی گیاه ماریتینغال (*Silybum marianum*) و تهامی زرنندی (Tahami Zarand et al., 2011) روی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum*) بر تعداد شاخه‌های فرعی را گزارش کردند.

اجزای عملکرد

فاکتور کودهای آلی و زیستی اثر معنی‌داری بر تعداد فولیکول در بوته نداشت، اما اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در فولیکول داشت (جدول ۳). بیشترین مقدار این فاکتور برای تعداد دانه در فولیکول مربوط به کود بیوسولفور (۵۷) بود، اگرچه تنها با شاهد (۴۲) تفاوت داشت (جدول ۴). فاکتور کودهای شیمیایی و گاوی اثر معنی‌داری بر تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول داشت و بیشترین آن‌ها مربوط به کود شیمیایی (به ترتیب ۶/۴ و ۶۰) بود (جدول ۴) و اثر متقابل کودها اگرچه باعث افزایش شد، اما اثر معنی‌داری نداشتند. بیشترین تعداد فولیکول در بوته و تعداد دانه در فولیکول در تیمار کود شیمیایی با بیوسولفور (به ترتیب ۷/۸ و ۷۲) و کمترین آن در تیمار شاهد (به ترتیب ۳/۹ و ۴۰) بود (جدول ۵). تعداد فولیکول در بوته با تعداد شاخه جانبی، تعداد دانه در بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد دانه؛ و تعداد دانه در فولیکول با ارتفاع بوته، وزن دانه در بوته و عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری داشت (جدول ۶).

فاکتور کود آلی و زیستی و فاکتور کودهای شیمیایی و گاوی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر تعداد دانه و وزن دانه در بوته داشتند (جدول ۳). بیشترین تعداد دانه و وزن دانه در بوته در فاکتور کود آلی و زیستی در تیمار کود بیوسولفور (به ترتیب ۳۴۸ و ۰/۶۹۷ گرم) و کمترین آن‌ها در شاهد (به ترتیب ۲۳۷ و ۰/۵۱۸ گرم) مشاهده شد و بیشترین مقدار این صفات در فاکتور کود شیمیایی و گاوی در تیمار کود شیمیایی (به ترتیب ۳۹۲ و ۰/۸۰۶ گرم) و کمترین آن‌ها در شاهد (به ترتیب ۲۴۴ و ۰/۵۴۷ گرم) ملاحظه شد (جدول ۴). بیشترین و کمترین تعداد دانه و وزن دانه در بوته به ترتیب مربوط به تیمار کود شیمیایی با بیوسولفور (۵۹۴ و ۱/۰۷۵ گرم) و شاهد (۱۹۴ و ۰/۴۴۵) دیده شد (جدول ۵). تعداد دانه در بوته با کلیه صفات کمی اندازه‌گیری شده (ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبی، تعداد فولیکول در بوته، وزن دانه در بوته، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک) به غیر از وزن هزار دانه و شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. استفاده از

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر فاکتورهای مورد مطالعه بر برخی از صفات کمی و کیفی گیاه سیاهدانه
Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for studied factors on qualitative and quantitative traits of *Nigella sativa* L

منابع تغییرات S.O.V.	درجه ازادی d.f	عملکرد روغن Oil yield	درصد روغن Oil percentage	شاخص برداشت HI	عملکرد دانه Seed yield	وزن دانه در بوته Seed weight/plant	وزن هزار دانه 1000-seed weights	تعداد دانه در بوته Number of seed per plant	تعداد دانه در فلوکل Number of seeds per follicle	تعداد فلوکل در بوته Number of follicles per plant	تعداد شاخه جانبی Branch No./Plant	ارتفاع بوته Plant height
بلوک Block	2	0.0014	6.14 *	0.0097	0.0004	0.0062	0.00007	585	64.7	0.5857	0.214	0.174
فاکتور کد آلی و زیستی Organic and biological fertilizers factor (A)	3	0.0325**	3.18	0.0039 *	0.5419 **	0.0799 **	0.00305	55580 **	1390*	4.13	4.24	55.46 *
کود شیمیایی و گاوی Chemical and Cow manure fertilizers factor (B)	2	0.0247*	38.7 **	0.0031	0.6175 **	0.2118 **	0.00244	160569**	1041*	17.4 *	16.15**	120**
B × A	6	0.0123 *	5.95 *	0.0108*	0.1820 *	0.0582 **	0.00166	152896**	562	12.26	6.25	13.83
خطا Error	22	0.0036	1.55	0.0039	0.0574	0.0024	0.00133	385	109	1.14	0.6080	11.34
ضریب تغییرات C.V (%)		19.01	5.46	17.56	17.29	7.55	1.6359	6.57	19.75	19.2	17.3	6.44

** و * به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.
** , * : are significant at 1 and 5% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات ساده فاکتورهای مورد مطالعه بر برخی از صفات کمّی و کیفی سیاهدانه

Table 4- Mean comparison for studied factors on qualitative and quantitative traits of <i>Nigella sativa</i> L.											
عملکرد روغن Oil yield (t.ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage	شاخص برداشت HI	Seed yield (t.ha ⁻¹)	وزن دانه در بوته عملکرد دانه Seed weight/Plant (g)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)	تعداد دانه در بوته No. seed per plant	فولیکول No. seeds per follicle	تعداد فولیکول در بوته No. follicles per plant	تعداد شاخه جانبی Branch No. Plant ⁻¹	ارتفاع بوته Plant height (cm)	
فاکتور کود آلی و زیستی Organic and biological fertilizers factor											
بیوسولفور Biosulfur	0.368 ^{a*}	23.2	34.2 ^b	1.58 ^a	0.697 ^a	2.25	348 ^a	57.02 ^a	6.03	4.70	55.4 ^a
هیومیک اسید Humic acid	0.339 ^a	23.4	43.2 ^a	1.45 ^a	0.706 ^a	2.23	318 ^b	54.35 ^a	5.70	4.96	51.8 ^b
فولویک اسید Fulvic acid	0.326 ^a	22.2	30.4 ^b	1.47 ^a	0.713 ^a	2.21	295 ^c	57.73 ^a	5.21	4.13	52.3 ^{ab}
شاهد Control	0.229 ^b	22.4 ^a	35.6 ^b	1.02 ^b	0.518 ^b	2.21	237 ^d	42.31 ^b	5.25	4.21	49.4 ^b
فاکتور کودهای شیمیایی و گاوی Chemical and cow manure fertilizers factor											
کود شیمیایی Chemical fertilizers	0.365 ^a	21.9 ^b	34.8 ^a	1.64 ^a	0.806 ^a	2.21 ^a	3920 ^a	60.08 ^a	6.36 ^a	5.08 ^a	55.9 ^a
کود گاوی Cow manure fertilizers	0.277 ^b	21.6 ^b	37.8 ^a	1.29 ^b	0.623 ^b	2.23 ^a	258 ^b	47.18 ^b	5.61 ^{ab}	4.85 ^a	50.5 ^b
شاهد Control	0.304 ^b	24.8 ^a	35 ^a	1.21 ^b	0.547 ^c	2.23 ^a	244 ^b	51.30 ^b	4.66 ^b	3.56 ^b	50.2 ^b

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
* For each column, values marked with the same letter are not significantly different at the P = 0.05 level according to Duncan's multiple range test (DMRT).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل تیمارهای مورد مطالعه بر برخی از صفات کیفی سیاهدانه
Table 5- Mean comparison for interaction effects of studied treatments on qualitative and quantitative traits of *Nigella arvensis* L.

Table 2: Area comparison for inter action effects of studied treatments on quantitative traits of <i>Argemone sativa</i> L.													
صفات Traits	تیمار Treatment	عملکرد روغن Oil yield (t ha ⁻¹)	درصد روغن Oil percentage	شاخص بوته‌دانی HI	عملکرد دانه Seed yield (t ha ⁻¹)	وزن بوته Seed weight plant ⁻¹ (g)	وزن هزاره 1000-seed weight (g)	تعداد بوته No. seed plant ⁻¹	تعداد دانه در بوته No. seeds per follicle	فولیکول در بوته No. follicles plant ⁻¹	تعداد شاخه جانبی Branch No. Plant ⁻¹	ارتفاع بوته Plant height (cm)	
کود شیمیایی + بیوسولفور Chemical fertilizers+ biosulfur		0.517 ^{ab}	23.11 ^{abd}	0.39 ^{ab}	2.22 ^a	1.07 ^a	2.243	594 ^a	71.91	7.76	5.79	58.9	
	کود گاوی + بیوسولفور Cow manure fertilizer + biosulfur	0.264 ^{cd}	22.22 ^{abcde}	0.39 ^{ab}	1.19 ^{ab}	0.573 ^{abc}	2.266	241 ^{abc}	47.95	6.13	5.18	51.2	
بیوسولفور Biosulfur		0.323 ^{bcd}	24.44 ^b	0.3733 ^{ab}	1.32 ^{ad}	0.485 ^{cd}	2.253	227 ^{abc}	54.43	4.19	3.13	56.1	
	کود شیمیایی + هیومیک اسید Chemical fertilizers+ humic acid	0.367 ^b	21.99 ^{abc}	0.4067 ^{ab}	1.67 ^{bc}	0.813 ^b	2.226	367 ^b	59.57	6.06	4.79	54	
کود گاوی + هیومیک اسید Cow manure fertilizer + humic acid		0.364 ^b	27.11 ^{ab}	0.49 ^a	1.36 ^{cd}	0.659 ^c	2.313	294 ^c	50.78	5.21	5.23	51.8	
	هیومیک اسید Humic acid	0.286 ^{cd}	21.11 ^a	0.4 ^{ab}	1.34 ^{cd}	0.648 ^c	2.213	293 ^{cd}	50.13	5.85	4.85	48.8	
کود شیمیایی + فولویک اسید Chemical fertilizer+ fulvic acid		0.357 ^{bc}	22.22 ^{abcde}	0.353 ^{bc}	1.6 ^{bc}	0.779 ^b	2.226	350 ^b	64.88	5.66	4.83	54.8	
	کود گاوی + فولویک اسید Cow manure fertilizer+ fulvic acid	311 ^{bcd}	20.55 ^a	0.346 ^{bc}	1.54 ^{bc}	0.751 ^b	2.186	272 ^{abc}	50.78	5.27	4.3	52.1	
فولویک اسید Fulvic acid		309 ^{bcd}	24.33 ^{bc}	0.37 ^{bc}	1.26 ^{cd}	0.611 ^{cd}	2.236	262 ^{abcd}	57.54	4.7	3.25	50	
	کود شیمیایی Chemical fertilizers	221 ^d	20.11 ^a	0.353 ^{bc}	1.07 ^d	0.557 ^{de}	2.173	257 ^{abcd}	43.96	5.98	4.91	55	
کود گاوی Cow manure fertilizer		246 ^{cd}	23 ^{bcd}	0.286 ^{bc}	1.07 ^d	0.512 ^{cd}	2.256	225 ^{abc}	39.89	5.84	4.71	47.1	
	شاهد Control	221 ^d	23.66 ^{bc}	0.256	0.935 ^d	0.445 ^e	2.246	194 ^d	39.86	3.92	3.01	49	

* در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک بر اساس آزمون دانکن، در سطح احتمال پنج درصد، تفاوت معنی‌داری ندارند.
* For each column, values marked with the same letter are not significantly different at the $P=0.05$ level according to Duncan's multiple range test (DMRT).

جدول ۶- ضرایب همبستگی برخی از صفات کمی و کیفی گیاه سیاه‌دانه

* ** : به ترتیب نشان دهنده، معنی داری در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

***, * and ns: are significant at 1 and 5 % probability levels, respectively.

اندازه‌گیری شده و همچنین عملکرد دانه، بیشترین مقدار مربوط به تیمار کود شیمیایی با تیوباسیلوس و کمترین آن‌ها مربوط به تیمار شاهد بود، به نظر می‌رسد که کودهای شیمیایی از طریق تأمین سریع و راحت‌تر نیازهای غذایی گیاهان (Chen, 2006) باعث افزایش رشد و عملکرد شد. همچنین به نظر می‌رسد مصرف کود زیستی بیوسولفور (حاوی باکتری تیوباسیلوس) همراه با گوگرد، از طریق اکسایش گوگرد باعث تنظیم شاخص واکنش در خاک، بهبود حلالیت و جذب فسفر و در نتیجه، ارتقاء رشد و عملکرد گیاهان شد (Garcia, 1991; Khorasani, 2010). جونز و داراه (Jones & Darrah, 1996) نیز اظهار داشتند که حلالیت فسفات در خاک در حضور اسیدهای آلی تا ۱۰۰۰ برابر افزایش می‌یابد. بنابراین، فراهمی مواد غذایی بر اثر وجود کودهای زیستی و شیمیایی یکی از دلایل افزایش عملکرد بود.

با وجود خاک‌های قلیایی در بخش عمده‌ای از زمین‌های کشاورزی ایران، استفاده از باکتری تیوباسیلوس به‌عنوان کود زیستی می‌تواند با تولید اسید سولفوریک و کاهش pH خاک‌های قلیایی در افزایش حلالیت عناصر پرمصرف و کم‌مصرفی مانند فسفر، آهن، منگنز و روی و در نتیجه، افزایش جاذب آن‌ها توسط گیاه در این خاک‌ها مؤثر باشد (Foroghifar & Purkasmaei, 2002). همچنین گوگرد از طریق افزایش مقاومت گیاهان به عوامل بیماری‌زا و خشکی می‌تواند باعث بهبود عملکرد گیاهان شود (Schofield et al., 1981). رضاپور و همکاران (Rezapor et al., 2011) گزارش کردند که کاربرد کود گوگرد سبب افزایش عملکرد دانه در سیاه‌دانه شد و مصرف ۲۲۵ کیلوگرم در هکتار کود گوگرد عملکرد دانه را ۷/۲٪ افزایش داد. نتایج رضاپور و همکاران (Rezapor et al., 2011) تأثیر معنی‌دار و مثبت کود گوگرد بر کلیه اجزای عملکرد دانه، تنظیم کننده‌های اسمزی و عملکرد اسانس به‌ویژه تا سطح ۱۵۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار را نشان داد. کامیستانی (Kamayestani, 2012) در بررسی مدیریت‌های کودی روی گیاه انیسون (*Pimpinella anisum*)، بیشترین عملکرد بیولوژیک را در استفاده تلفیقی کود شیمیایی + بیوسولفور گزارش کرد. کودهای دامی علاوه‌بر نقش تغذیه‌ای، در بهبود کیفیت محصولات، خواص فیزیکی و افزایش فعالیت بیولوژیک خاک تأثیر معنی‌داری دارند. هلال و همکاران (Hellal et al., 2011) همچنین با انجام آزمایشی نشان دادند که استفاده از کودهای زیستی موجب افزایش عملکرد دانه در گیاه شوید

در نتیجه، میزان اختصاص مواد فتوسنتزی به هر دانه کاهش پیدا کرد. به نظر می‌رسد وزن هزار دانه از فاکتورهای است که بیشتر تحت کنترل ژن‌ها است و از توارث‌پذیری بالایی برخوردار است و کمتر تحت تأثیر عوامل محیطی قرار می‌گیرد (Ganpat, 1992). مرادی و همکاران (Moradi et al., 2011) گزارش کردند که اعمال تیمارهای مربوط به کودهای آلی و بیولوژیک منجر به افزایش وزن دانه در چتر و نیز وزن هزار دانه رازیانه نشد. در تحقیق دیگری یونسیان (Unesian, 2011) در آزمایش خود روی گیاه رازیانه گزارش کرد که تیمارهای کودی (کودهای آلی و بیولوژیک) مورد بررسی بر وزن هزار دانه تأثیر معنی‌داری نداشتند ولی تأثیر معنی‌داری بر وزن دانه در بوته داشتند. یزدانی و همکاران (Yazdani et al., 2011) گزارش کردند که بین کودهای آلی و زیستی از نظر تأثیر بر وزن هزار دانه گیاه دارویی ماریتیغال تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. لطفی و همکاران (Lotfi et al., 2009) گزارش کردند که سطوح مختلف کود دامی بر وزن هزار دانه گیاه دارویی اسفرزه (*Plantago ovata*) تأثیر نداشت. عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودآلی بر وزن هزار دانه در گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum*) نیز گزارش شد (Saeid, 2011). Nezhad & Rezvani Moghaddam, 2011). نتایج آزمایش اکبرنژاد و همکاران (Akbar Nezhad et al., 2011) روی گیاه سیاه‌دانه، افزایش معنی‌دار کاربرد کمپوست زباله شهری و لجن فاضلاب نسبت به شاهد بر وزن دانه در بوته را نشان داد.

عملکرد دانه

فاکتور کودهای آلی و زیستی و فاکتور کودهای شیمیایی و گاوی و اثر متقابل آن‌ها اثر معنی‌داری بر عملکرد دانه داشتند (جدول ۳). بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به کود شیمیایی با بیوسولفور (۲/۲ تن در هکتار) و شاهد (۰/۹۳۵ تن در هکتار) بود (جدول ۵). عملکرد دانه با کلیه صفات کمی اندازه‌گیری شده به‌غیر از تعداد شاخه جانبی در بوته، وزن هزار دانه و شاخص برداشت همبستگی مثبت معنی‌داری داشت. بیشترین همبستگی بین وزن دانه در بوته با عملکرد ($r = 0.96$) مشاهده شد (جدول ۶). در تحقیقات مختلف به نقش کودهای شیمیایی، آلی و زیستی در افزایش عملکرد گیاهان دارویی اشاره شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. با توجه به این‌که در این پژوهش در اکثر صفات

(*Anethum graveolens*) نسبت به تیمار شاهد شد.

شاخص برداشت

فاکتور کود آلی و زیستی اثر معنی‌داری بر شاخص برداشت داشتند. در فاکتور کود آلی و زیستی بیشترین مقدار شاخص برداشت مربوط به تیمار کود هیومیک اسید (۴۳/۲ درصد) بود (جدول ۴). بیشترین و کمترین شاخص برداشت به ترتیب مربوط به تیمار کود گاوی با هیومیک اسید (۴۹ درصد) و شاهد (۲۵/۶ درصد) بود (جدول ۵). اگرچه بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به تیمار کود گاوی با هیومیک اسید بود، اما تیمار کود شیمیایی همراه با بیوسولفور که در دیگر صفات برتری نسبی بالاتری را دارا بود، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). همچنین خندان (Khandan, 2004) در آزمایشی نتیجه گرفت که کود گاوی بیش از کودهای شیمیایی در افزایش عملکرد دانه و کاهش کلش گیاه دارویی اسفرزه مؤثر بود. یونسیان (Unesian, 2011) نیز در گیاه رازیانه، فلاحی (Fallahi, 2009) در گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) و سعیدنژاد و رضوانی مقدم (Saeid Nezhad & Rezvani Moghaddam, 2011) در گیاه زیره سبز عدم تأثیر معنی‌دار تیمارهای کودی را بر روی شاخص برداشت گزارش کردند.

هیومیک اسید از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و میکرو (Eneji, 2013)، منجر به بهبود خصوصیات رشدی گیاهان می‌شود. تایلور و کاپر (Taylor & Cooper, 2004) گزارش کردند که کاربرد هیومیک اسید به صورت محلول و یا پودر در خاک، بهبود خصوصیات رشدی هویج (*Daucus carota*) را به همراه داشت. هیومیک اسید می‌تواند ضمن کاهش خسارت‌های ناشی از تنش خشکی، خصوصیات کمی و شاخص‌های رشد گیاه را بهبود بخشد. همچنین کودهای دامی حاوی اکثر عناصر ریزمغذی هستند و مخلوط کردن خاک با کود دامی ضمن تأمین مقادیری از عناصر غذایی، باعث بهبود ساختمان خاک، افزایش نگهداری رطوبت، امکان آماده‌سازی بستر مناسب‌تر برای رشد ریشه، افزایش رشد سبزیگی و بهبود کیفیت و افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شود (Farzane, 2000).

درصد و عملکرد روغن

فاکتور کود شیمیایی و دامی اثر معنی‌داری بر درصد و عملکرد

روغن دانه سیاه‌دانه داشت. بیشترین و کمترین درصد روغن به ترتیب مربوط به تیمار کود گاوی با کود هیومیک اسید (۲۷ درصد) و کود شیمیایی (۲۰ درصد) بود. بیشترین و کمترین عملکرد روغن به ترتیب مربوط به کود شیمیایی با بیوسولفور (۵۱۷/۰ تن در هکتار) و کود شیمیایی (۲۲۱/۰ تن در هکتار) بود. عملکرد روغن بیشتر تحت تأثیر عملکرد دانه قرار گرفت تا درصد روغن، و همبستگی مثبت بالا و معنی‌داری با عملکرد دانه (۹۴۸/۰) داشت (جدول ۶). مجید و اسچنیر در پژوهش خود (Majid & Schneiter, 1987) نیز همبستگی بالای دانه با عملکرد روغن ارقام آفتابگردان را گزارش کردند. الوارز و همکاران (Alvarez et al., 1992) همبستگی مثبتی بین عملکرد دانه با عملکرد روغن آفتابگردان به دست آوردند، ولی هیچ‌گونه رابطه خطی بین عملکرد دانه و درصد روغن پیدا نکردند. اقحوانی شجری (Aghhavan Shajari, 2012) در بخشی از پژوهش خود به این نتیجه رسید که کاربرد تلفیقی کود زیستی بیوسولفور به همراه کود گاوی و مصرف توأم کود زیستی بیوسولفور با کود شیمیایی، به ترتیب باعث حصول بیشترین درصد و عملکرد روغن گردید. نوروزپور و رضوانی مقدم (Noruzpur & Rezvani Moghaddam, 2006) گزارش کردند افزایش فواصل آبیاری درصد و عملکرد روغن سیاه‌دانه را کاهش داد، آن‌ها اضافه کردند که بین سطوح مختلف تراکم بوته اختلاف معنی‌داری در عملکرد روغن سیاه‌دانه وجود داشت، به گونه‌ای که با افزایش تراکم، از عملکرد روغن کاسته شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که کاربرد هیومیک اسید و فولیک اسید و کود زیستی بیوسولفور به تنهایی و یا همراه با کود شیمیایی و گاوی در بهبود صفات کمی و کیفی گیاه دارویی سیاه‌دانه تأثیر مثبتی داشت. کاربرد تلفیقی کود شیمیایی با کود زیستی بیوسولفور منجر به بیشترین عملکرد دانه و عملکرد روغن شد و عدم استفاده از کود منجر به کمترین عملکرد دانه و عملکرد روغن شد. بنابراین، با توجه به پاسخ مثبت گیاه دارویی سیاه‌دانه به کاربرد کودهای آلی و زیستی، به نظر می‌آید که به کارگیری این کودها ضمن کاهش مصرف کودهای شیمیایی و نیز نداشتن عواقب سوء زیست‌محیطی، روش مناسبی برای پایداری تولید و حفظ محیط زیست است.

References

- Ahmadiyan, A., Ghanbari, A., and Gelavi, M., 2009. Effect of animal manure on quantitative and qualitative yield and chemical composition of essential oil in cumin (*Cuminum cyminum*). Journal of Iranian Field Crop Research 4(2): 207-216. (In Persian with English Summary)
- Aghhavan Shajari, M., 2012. Effects of single and combined application of nutrients on quantitative and qualitative indices of coriander (*Coriandrum sativum* L.). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Aiken, G.R., McKnight, D.M., Wershaw, R.L., and MacCarthy, P., 1985. Humic Substances in Soil, Sediment and Water. Wiley-Interscience, New York, USA.
- Akbarnejad, F., Astaraei, A.R., Fotovat, A., and Nassiri Mahallati, M., 2011. Effect of municipal solid waste compost and sewage sludge on yield and yield components of black Cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 8(5): 767-771. (In Persian with English Summary)
- Arun, K.S., 2002. A Handbook of Organic Farming. Pub. Agrobios, India. 626 p.
- Alvarez, D., Ludena, P., and Fratos, Y.E., 1992. Correlation and causation among sunflower traits. Proc. 13th. International Sunflower Conference, Pisa. Italy p. 182-204.
- Berti, W.R., and Jacobs, I.W., 1996. Chemistry and phytotoxicity of soil trace elements from repeated sewage sludge application. Journal of Environmental Quality 25: 1025-1032.
- Chen, Y., and Aviad, T., 1990. Effects of humic substances on plant growth. In: P. MacCarthy et al. (eds.) Humic Substances in Soil and Crop Science: Selected readings. SSSA and ASA, Madison, WI, U.S.A 161-186.
- Chen, J., 2006. The combined use of chemical and organic fertilizers and/or biofertilizer for crop growth and soil fertility. International Workshop on Sustained Management of the Soil-rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use, Bangkok, Thailand p. 16-20.
- Chatterjee, S.K., 2002. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India a commercial approach. Proceedings of an International Conference on MAP, Acta Horticulture (ISHS), Springer-Verlag, Berlin 576: 191-202.
- Cooper, R.J., Liu, C.H., and Fisher, D.S., 1998. Influence of humic substances on rooting and nutrient content of creeping bentgrass. Crop Science 38: 1639-1644.
- Dehghani Meshkani, M.R., Naghdi Badi, H.A., Darzi, M.T., Mehrafarin, A., and Rezazadeh, B.A., 2010. Effect of biological and chemical fertilizers on yield and quality chamomile Shirazi. (*Matricaria recutita* L.). Journal of Medicinal Plants 2(38): 35-48. (In Persian with English Summary)
- Eneji, A.E.R., Islam, P., and Amalu, U.C., 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. Journal of Cleaner Production 52: 474-480.
- Farzaneh, H., 1990. AgroChemistry, (translation). Avaye Nur, Press, Iran. 318 p. (In Persian)
- Fallahi, J., Khocheiki, A.R., and Rezvani Moghaddam, P., 2008. Investigating the effect of organic fertilizers on quantitative index and the amount of essential oil and chamazulene in chamomile (*Matricaria chamomilla*). Agricultural Research (Water, Soil and Plant Agricultural) 8(1): 157-168. (In Persian with English Summary)
- Forughifar, H. and Purkamayestani, M.A., 2002. Sciences and Management of Soil (vol.1). (Translation). Ferdowsi University of Mashhad, Iran. Press. 467 p. (In Persian)
- Ganpat, S., Jshwar, S., and Bahti, D.S., 1992. Response of blond psyllium (*Plantago ovata*) to irrigation and split application of nitrogen. Indian. Journal of Agronomy 37: 880-881.
- Gaur, A.C., Ostwal, K.P., and Mathur, R.S., 1980. Save super phosphate by using phosphate-solubilizing cultures and rock phosphate. Kheti 32: 23-25.
- Giles J., 2004. Is organic food better for us? Nature, London 428: 796-797.
- Garcia, O., 1991. Isolation and characterization of *Aciditobacillus thiooxidans* and *Aciditobacillus ferrooxidans* from mineral mines. Revista Brasileira de Microbiologia 20: 1-6.
- Ghorbani, S., Khazaei, H.R., Kafi, M., and Bannayan Aval, M., 2011. Effects of humic acid application with irrigation water on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 1(2): 111-118. (In Persian with English Summary)
- Harper, S.M., Kerven, G.L., Edwards, D.G., and Ostatek-Boczynski, Z., 2000. Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. Soil Biochemical 32: 1331-1336.

- Hellal, F.A., Mahfouz, S.A., and Hassan, F.A.S., 2011. Partial substitution of mineral nitrogen fertilizer by bio-fertilizer on (*Anethum graveolens* L.) plant. Agriculture and Biology Journal of North America 2(4):652-660.
- Jones, D.L., and Darrah, P.R., 1996. Re-sorption of organic compounds by roots of *Zea mays* L. and its consequences in the rhizosphere. Plant and Soil 178: 153-160.
- Jutur, P.P., and Reddy, A.R., 2007. Isolation, purification and properties of new restriction endonucleases from *Bacillus badius* and *Bacillus lentus*. Microbiological Research 162: 378-383.
- Kandeel, A.M., Naglaa, S.A.T., and Sadek, A.A., 2002. Effect of biofertilizers on the growth, volatile oil yield and chemical composition of *Ocimum basilicum* L. plant. Annals of Agricultural Science, Ain Shams University, Cairo, 47(1): 351-371.
- Kamayestani, N., 2012. Quantitative and qualitative yield anise (*Pimpinella anisum*) response to fertilizer management. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Kramer, A.W., Doane, T.A., Horwath, W.R., and Van Kessel, C., 2002. Combining fertilizer and organic inputs to synchronize N supply in alternative cropping system in California. Agriculture Ecosystem and Environment 91: 233-243.
- Khandan, A., 2004. Effects of organic and inorganic fertilizers on yield and yield components of *Plantago ovata* Forsk. M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Ghorbani, R., 2011. Effect of biofertilizers on the yield and yield components of black cumin (*Nigella sativa* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 8(5): 758-766. (In Persian with English Summary)
- Khorassani, R., 2010. Phosphorus uptake efficiency in corn, sugar beet and groundnut. Journal of Water and Soil 24(1): 188-180. (In Persian with English Summary)
- Lotfi, A., Vahabi Sedehi, A.A., Ganbari, A., and Heydari, M., 2009. The effect of deficit irrigation and manure on quantity and quality traits of plantago ovate Forssk. In Sistan region. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 24(4): 506-518. (In Persian with English Summary)
- Maccarthy, P., 2001. The principles of humic substances. Soil Science 166:738-751.
- Macilwain, C., 2004. Is organic farming better for the environment? Nature 428: 797-798.
- Majid, H.R. and Schneider, A.A., 1987. Yield and quality of semi dwarf and standard height sunflower hybrids grown at five plant populations. Agronomy Journal 79: 681-684.
- Michael, K., 2001. Oxidized lignites and extracts from oxidized lignites in agriculture. Soil Science: 1-23.
- Moradi, R., Nassiri Mahallati, M., Rezvani Moghaddam, P., Lakzian, A. and Ali Nejad, A., 2011. Effect of biological and organic fertilizers on quality and quantity of essential oil of anise (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Horticultural Science 25(1): 25-33. (In Persian with English Summary)
- Moradi, R., 2009. Effect of biological and organic fertilizers on quality and quantity of essential oil of anise (*Foeniculum vulgare* Mill.). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mir Hashemi, S.M., Koocheki, A., Parsa, M., and Nassiri Mahallati, M., 2010. Evaluation of growth indices of Ajowan and Fenugreek in pure culture and intercropping based on organic agriculture. Journal of Iranian Field Crop Research 2(7): 685-693. (In Persian with English Summary)
- Natesan, R.S., Kandasamy, S., Thiyageshwari, and Boopathy, P.M., 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. Science World Journal 7: 1198-1206.
- Norozpoor, G., and Rezvani Moghaddam, P., 2006. Effect of different irrigation intervals and plant density on oil yield and essences percentage of black cumin (*Nigella sativa* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(3): 134-138. (In Persian with English Summary)
- Oehl, F., Sieverding, E., Mäder, P., Duboi, S.D., Ineichen, K., Boller, T. and Wiemken, A., 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. Oecologia, 138: 574-583.
- Pinamonti, F., 1998. Compost mulch effects on soil fertility, nutritional status and performance of grapevine. Nutrition Cycling Agro-ecosystem 51:239-248.
- Pulleman, M.A., Jongmans, J. and Bouma, J., 2003. Effects of organic versus conventional arable farming on soil structure and organic matter dynamics in a marine loam in the Netherlands. Soil Use Management 19:157-165.
- Rudresh, D.L., Shivaprakash, M.K., and Prasad, R.D., 2005. Effect of combined application of *Rhizobium*, phosphate solubilizing bacterium and *Trichoderma* spp. on growth, nutrient uptake and yield of chickpea (*Cicer aritenium* L.).

- Applied Soil Ecology 28: 139-146.
- Rezazadeh, H., Khrasani, S.K., and Haghighi, R.S.A., 2012. Effects of humic acid on decrease of phosphorus usage in forage maize var. KSC704 (*Zea mays* L.). Australian Journal of Agricultural Engineering 3: 34-38.
- Rezapour, A., Heydari, M., Galavi, M., and Ramrodi, M., 2011. Effect of water stress and different amounts of sulfur fertilizer on grain yield, grain yield components and osmotic adjustment in (*Nigella sativa* L.). Journal Iranian of Medicinal and Aromatic Plants Research 27(3): 384-396. (In Persian with English Summary)
- Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., Heidari, Gh.R., Eivazi, A.R., and Hoseini, T., 2011. Effect of bio and chemical fertilizer s on yield and quality of dragonhead (*Dracocephalum moldavica* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27(1): 81-96. (In Persian with English Summary)
- Saeidnejad, A.H. and Rezvani Moghaddam, P., 2011. Investigation the effect of compost, vermicompost, cow and sheep manures on yield, yield components and essence percentage of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Horticulture Science 2(24): 142-148. (In Persian with English Summary)
- Salimpur, S., Khavazi, K., Nadian, H.A., and Besharati, H., 2010. Effect of rock phosphate with sulfur and micro-organisms on yield and chemical composition. Journal of Soil Research 24(1): 9-19. (In Persian with English Summary).
- Samavat, S., and Malakooti, M., 2006. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. Water and Soil Researchers Technical 463: 1-13.
- Shaalan, M.N., 2005. Influence of biofertilizers and chicken manure on growth, yield and seeds quality of (*Nigella sativa* L.) plants. Egyptian Journal of Agricultural Research 83: 811-828.
- Sharafi, S., Abbas Dokht, H., Chaeichi, M.R., and Ghasemi, S., 2010. The effect of thiobacillus inoculation and type of nitrogen fertilization on yield and yield components (*Brassica napus* L.) fall cultivars. Iranian Journal of Field Crop Science 41(3): 459-468. (In Persian with English Summary)
- Tahami Zarandi, M., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M., 2011. Comparison the effect of organic and chemical fertilizers on yield and essential oil percentage of basil (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(1): 70-82. (In Persian with English Summary)
- Taylor, G., and Cooper, L., 2004. Humic acid: The root to healthy plant growth. California State Science Fair.
- Tejada, M., Gonzalez, J.L., García-Martínez, A.M., and Parrado, J., 2008. Effects of different green manures on soil biological properties and maize yield. Bioresource Technology 99: 1758-1767.
- Turgut, I., Bilgili, U., Duman, A., and Acikgoz, E., 2005. Effect of green manuring on the yield of sweet corn. Agronomy Sustainable Development 25: 1-5.
- Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S., and Dursun, A., 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humi acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. Journal of Biological Sciences 5: 565-574.
- Yazdani Biuki, R., Khazaie, H.R., Rezvani Moghaddam, P., and Astaraei, A., 2011. Effects of animal manures and chemical fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of milk thistle plant (*Silybum marianum*). Journal of Iranian Field Crop Research 8(5): 735-746. (In Persian with English Summary)
- Younesian, A., 2011. Sustainable management of nutrition in fennel cultivation (*Foeniculum vulgare* Mill). M.Sc. Thesis, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Zargari, A., 1998. Medicinal plants. University of Tehran, Press. 951 p. (In Persian)



Effect of Organic, Biological and Chemical Fertilizers on Yield, Yield Components and Oil Yield of Black Seed (*Nigella sativa* L.)

R. Sohrabi Renani¹, P. Rezvani Moghaddam^{2*}, R. Ghorbani² and A.R. Astaraie³

Submitted: 10-06-2013

Accepted: 08-08-2013

Sohrabi Renani, R., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., and Astaraie, A.R., 2021. Effect of organic, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and oil yield of black seed (*Nigella sativa* L.). Journal of Agroecology 13 (1):23-38.

Introduction

In recent decades, agricultural production has largely relied on the use of chemical inputs, which has led to major environmental problems. Destruction of water and soil resources, deterioration of agricultural biodiversity, air and water pollution by chemical fertilizers and pesticides are only part of the environmental problems caused by common agricultural use of chemical inputs. One of the solutions to this problem is to apply sustainable farming principles in agricultural ecosystems. Soil management is one of the main factors in achieving sustainable agriculture. Therefore, the gradual replacement of chemical fertilizers with organic and biofertilizers will help to meet the nutritional needs of plants, improve the physical, chemical and biological conditions of the soil and prevent the adverse environmental effects of chemical applications. Organic matter has been recognized as one of the nutrients of plant nutrition and fertility due to its constitutive effects on soil physiological and biological properties. Organic fertilizers are the most important source of organic matter in the rhizosphere of plants. Black seed is an annual, dicotyledonous, herbaceous, medicinal plant belonging to the Ranunculaceae family. Environmental conditions and soil fertility are one of the factors affecting grain yield, quantity and quality of essential oil and oil produced in black seed. Since there is not much research on the effect of humic acid and fulvic acid on black seed, therefore, attention to the management of nutritional needs of black seed with emphasis on the use of biological and organic fertilizers in the successful cultivation of this plant is inevitable.

Materials and Methods

In order to evaluate the effects of organic, biological and chemical fertilizers on yield, yield components and oil yield of black seed, a field experiment was conducted at Research Station, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, during the growing season of 2011-2012. The experimental layout was factorial based on randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included all combinations of organic and biological fertilizers factor in four levels (biosulfure + 100 kg.ha⁻¹ sulphur, humic acid (7 kg.ha⁻¹), fulvic acid (7 kg.ha⁻¹) and control) and chemical and animal manure factor in three levels (chemical fertilizer (NPK (80:40:30 kg.ha⁻¹, respectively), animal manure (20 t.ha⁻¹) and control). In order to determine the oil content, 5 grams of grain were randomly selected from the grains harvested from each plot and then oil content was determined by Soxhlet. Analysis of variance (ANOVA) and regression analysis of the data from the experiment and drawing of shapes were performed using SAS and MSTAT software's. Comparisons of means were performed at 1 and 5% probability level using Duncan multiple range test.

Results and Discussion

The Results showed that studied factors and their interactions had significant effect on number of seed per plant, seed weight/plant, seed yield and oil yield. The highest plant height, number of branch per plant, number of follicles per plant, number of seeds per follicles, number of seeds per plant, seed weight per plant, seed yield and oil yield (59 cm, 5.8, 7.8, 72, 594, 1.075g, 2.2 (t.ha⁻¹), 517 (kg.ha⁻¹), respectively) were observed in chemical fertilizer + biosulfur biofertilizer treatment and the lowest mentioned traits (49 cm, 3.01, 3.92, 39.8, 194, 0.445, 0.935 (t.ha⁻¹),

1- Post Graduate Student, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Agrotechnology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Associate Professor, Department of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v12i1.22652

221 (kg.ha⁻¹) respectively) were observed in control treatment. The highest and lowest harvest indexes were observed in animal fertilizer + humic acid (49%) and control (25.6%) treatments, respectively. The highest and lowest oil percentages were observed in animal fertilizer + humic acid (49%) and control (25.6%) treatments, respectively. The results indicated that the use of humic and fulvic acids, and biosulfur biofertilizer alone or in combination with chemical fertilizers and animal manure improve the quantity and quality of *Nigella sativa* characteristics.

Conclusion

The results of this study revealed that considering the positive response of the black seed to application of organic and biological fertilizers, applying these fertilizers while reducing the use of chemical fertilizers as well as having no adverse environmental effects is an appropriate method for sustainable production and environmental protection.

Keywords: Animal manure, Biosulfure, Fulvic acid, Humic acid



مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی تأثیر رگه‌های سبز چشم‌اندازها بر تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی

رضا رستمی^۱، علیرضا کوچکی^{۲*}، پرویز رضوانی مقدم^۲ و مهدی نصیری محلاتی^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۵

رستمی، ر.، کوچکی، ع.، رضوانی مقدم، پ.، و نصیری محلاتی، م.، ۱۴۰۰. ارزیابی تأثیر رگه‌های سبز چشم‌اندازها بر تنوع زیستی بوم‌نظام‌های زراعی. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۳۹-۵۶.

چکیده

اعمال شیوه‌های مدیریت فشرده بوم‌نظام‌های زراعی، تنوع زیستی را به‌ویژه در حواشی زمین‌های زراعی به‌شکل نگران‌کننده‌ای کاهش داده است. هدف این مطالعه، ارزیابی پوشش گیاهی موجود در عناصر زیستگاهی نواری، موسوم به رگه‌های سبز در یک چشم‌انداز زراعی در شهرستان گیلانغرب استان کرمانشاه بود. ابتدا نقشه عوارض ساختاری چشم‌انداز مورد بررسی تهیه شد و سپس انواع حواشی زمین‌های زراعی به هفت گروه زمین‌های زراعی، راه‌ها، نهرهای دائمی و غیردائمی، حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، حاشیه‌های بین دو زمین زراعی و رگه‌های سبز درختی تقسیم گردید. گونه‌های گیاهی موجود بر مبنای پاسخ به میزان فشرده‌گی استفاده از زمین به دو گروه شامل گونه‌های متحمل زراعی و گونه‌های ارزشمند طبیعی طبقه‌بندی شد. فاکتورهای مربوط به تنوع در عوارض ساختاری چشم‌انداز تغییرات در غنای گونه‌ای گیاهان متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی را در مقیاس 2×2 مترمربعی توضیح دادند. بیشترین غنای گونه‌ای کل در زمین‌های زراعی (۴۳ گونه) و بعد از آن در حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (۳۷) ثبت شد. بیشترین مقدار شاخص تنوع شانون وینر و بریلیون در گروه گیاهان متحمل زراعی، مربوط به حاشیه‌های مابین دو زمین زراعی (به‌ترتیب $2/03$ و $1/85$) و پس از آن حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی ($1/4$ و $1/27$) بود؛ و در گروه گیاهان ارزشمند طبیعی، بیشترین مقادیر این شاخص‌ها برای زمین‌های زراعی ($3/08$ و $2/52$) و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی ($3/08$ و $2/52$) مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج این مطالعه، نقش قابل توجه عناصر نیمه طبیعی موسوم به رگه‌های سبز چشم‌انداز را در ارتقای غنای گونه‌های ارزشمند طبیعی، تأیید می‌کند.

واژه‌های کلیدی: شاخص‌های تنوع زیستی، عناصر زیستگاهی نواری، گیاهان ارزشمند طبیعی، گیاهان متحمل زراعی

مقدمه

توان عناصر نواری مانند حواشی زمین‌های زراعی، راه‌ها، نهرهای انتقال آب، پرچین‌ها و زیستگاه‌های درختی را نام برد. واژه رگه سبز^۳ برای این عناصر به‌کار می‌رود؛ و به‌دلیل آن‌که اطراف و در میان زمین‌های کشاورزی پراکنده شده‌اند، شبکه منظمی از رگه‌ها را در بستر چشم‌انداز تشکیل می‌دهند (Opdam et al., 2000). قسمت-های مختلف شبکه رگه‌های سبز شامل عناصر نواری پیوسته و غیرپیوسته‌اند؛ در حالی که عناصر لکه‌ای را می‌توان به‌صورت نقطه-های اتصال‌دهنده^۴ عناصر نواری به یکدیگر و یا به‌شکل لکه‌هایی پراکنده در بستر این شبکه مشاهده کرد که ضمناً حمایت‌کننده تنوع

در چشم‌اندازهای کشاورزی، خصوصاً آن‌ها که به‌صورت فشرده مدیریت و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند، تنوع زیستی به‌شدت کاهش یافته و بیشتر تنوع زیستی موجود را می‌توان در عارضه‌های نیمه‌طبیعی یافت (Kleijn et al., 2001). این عوارض انواع گوناگونی از عناصر چشم‌انداز را تشکیل می‌دهند که فلسفه وجودی آن‌ها بدو بهره‌برداری برای تولیدات کشاورزی نمی‌باشد؛ و از جمله آن‌ها می-

۱- دانشجوی دکتری، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

۲- استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(Email: akooch@um.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v1i1.51010

3- Green veining
4- Nodes

کشاورزی در مقیاس وسیع مانند مقیاس چشم‌انداز همواره مورد علاقه و توجه محققین بسیاری بوده است. علی‌رغم مطالعات گسترده بر روی نقش حاشیه‌های زمین‌های زراعی (و سایر عناصر رگه‌های سبز) و نیز تأثیر ساختار فیزیکی چشم‌اندازهای کشاورزی بر تنوع زیستی گیاهی در دو دهه اخیر در کشورهای توسعه یافته، این قبیل مطالعات در کشورهایی مانند ایران عمدتاً مورد غفلت واقع شده است؛ بنابراین، توجه به مطالعات تنوع زیستی کشاورزی تحت مقیاس چشم‌انداز در ایران بسیار ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین با این دیدگاه اهداف عمده این مطالعه به‌ترتیب ذیل مطرح گردید: ۱) تفکیک عناصر ساختاری چشم‌انداز زراعی بر مبنای نقش و کارکرد متفاوت آن‌ها و بررسی تنوع زیستی گیاهی موجود در انواع زیستگاه‌های آن. ۲) بررسی نقش ساختار چشم‌انداز و اثر تنوع زیستگاه‌های موجود در آن بر تنوع گونه‌های گیاهی متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی.

مواد و روش

الف) منطقه مورد مطالعه

ویژگی‌های اقلیمی منطقه

محدوده مطالعاتی، چشم‌اندازی به‌وسعت ۷۰۰ هکتار واقع در منتهی‌الیه شیب ارتفاعات زاگرس در شهرستان گیلانغرب استان کرمانشاه با مختصات جغرافیایی $45^{\circ} 52' \text{ و } 34^{\circ} 20' 159'' \text{ N}$ و $45^{\circ} 52' \text{ و } 34^{\circ} 20' 159'' \text{ E}$ می‌باشد. اقلیم منطقه مدیترانه‌ای با زمستان ملایم و تابستان گرم و خشک است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی کوپن و آمبرژه این منطقه جزو مناطق نیمه خشک گرم محسوب می‌شود (Milady, 1995). و طول فصل خشک با توجه به منحنی آمبروترمیک، از اواسط اردیبهشت تا اواسط آذر است و دیگر ماه‌های سال جزو فصل مرطوب به‌حساب می‌آیند. این منطقه دارای خاک‌های کم عمق تا نیمه عمیق با بافت متوسط بوده و بر روی سنگ مادر آهکی واقع شده است (Khodakarami, 2003). ارتفاع از سطح دریا حدود ۵۵۰ متر و میانگین دمای تابستان و زمستان به‌ترتیب $32/5^{\circ} \text{ و } 11^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه ۳۸۵ میلی‌متر می‌باشد.

ارزیابی درجه فشردگی استفاده از زمین

درجه فشردگی کشاورزی در چشم‌انداز مورد مطالعه بر اساس روش ارائه شده توسط هرزوک و همکاران (Herzog et al., 2006) با تکیه بر مفهوم عملیاتی فشردگی صورت گرفت که اساس آن

زیستی موجود در خود هم می‌باشند (Grashof-Bokdam & Langevelde, 2004). حال نکته مهم این است که چگونه این شبکه برای جا دادن تنوع زیستی عمل می‌کند. برخی گونه‌ها به یک نوع زیستگاه برای تمام طول چرخه حیاتشان وابسته هستند؛ برخی گونه‌ها نظیر گیاهان که غیر متحرک هستند، به یک یا تعداد محدودی زیستگاه وابسته اند. برای مثال گیاه *Anemone nemorosa* گونه ای است گل‌دهنده که در زیستگاه‌های درختی و بعضی اوقات در کلونی‌های هم‌جوار با علف‌زارها دیده می‌شود (Falinski & Canullo, 1985). برخی گونه‌ها نیز مانند *Martemartem* (pinemarten) رگه‌های سبز را به‌عنوان پناهگاه یا به‌عنوان راهروهایی^۱ برای جابه‌جایی و پراکندگی استفاده می‌کنند (Muskens et al., 2002) و برخی مثل پروانه‌ها از رگه‌های سبز برای مسیریابی در زمان حرکت (Verboom, 1998) استفاده می‌کنند. بسیاری از محققان پس از انجام بررسی‌های میدانی گسترده، مانند گراشوف-بوکدام و لانگولد (Grashof-Bokdam & Langevelde, 2004) در اظهاراتی موافق آنچه گفته شد، لکه‌های کوچک از پوشش سبز طبیعی و یا نیمه طبیعی و نیز عناصر نواری نیمه طبیعی، مانند حواشی مزارع، که به‌عنوان رگه‌های سبز مشهورند را در نگهداری و حفاظت از تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی مؤثر دانسته و بیان کردند که این عناصر به‌عنوان ناحیه (متادل‌کننده) بافری^۲ بین نقاط کشت شده و نوار پوشش گیاهی دائمی عمل می‌نمایند.

فشرده‌سازی سیستم‌های کشاورزی و بهره‌برداری فشرده از زمین، کیفیت زیست‌محیطی رگه‌های سبز را به‌ویژه از طریق رسوخ نهاده‌های شیمیایی به‌صورت جدی تهدید کرده (Aude et al., 2003). و بسیاری از عناصر رگه‌های سبز به‌دلیل از دست دادن اهمیت اقتصادی خود نظیر تأمین سوخت و تقسیم‌بندی مزارع، در حال ناپدید شدن از پهنه وسیعی از چشم‌اندازهای کشاورزی جهان هستند (Jongman, 1996)؛ در نتیجه تنوع زیستی موجود در عناصر رگه‌های سبز از جمله گونه‌های مفید کشاورزی نظیر دشمنان طبیعی آفات و یا بی‌مهرگانی که در گرده‌افشانی کمک شایانی می‌کنند در معرض خطر قرار دارند؛ از جمله خدماتی که می‌توان در بوم‌نظام‌ها انتظار داشت، مهار آفات توسط بی‌مهرگان یا کمک به گرده‌افشانی به‌وسیله برخی حشرات است (Paoletti, 1999). مطالعه تنوع زیستی

1- Corridors
2- Buffer Zone

ب) ساختار چشم‌انداز و انواع زیستگاه‌های حاشیه‌ای آن پس از بازدیدهای صحرایی مکرر از چشم‌انداز و بررسی نقشه‌ها و عکس‌های هوایی، سه گروه اصلی زیستگاه با ویژگی‌های قابل تفکیک بر مبنای تفاوت در ساختار و یا نوع فراهم‌سازی شرایط خاص بوم‌شناختی (به‌عنوان مثال شرایط خاصی که این زیستگاه‌ها از نظر رطوبت، شرایط خاکی و سایه‌اندازی دارند) در نظر گرفته شدند (Holzschuh et al., 2010; Boutin et al., 2008; Tscharnke et al., 2004; Milsom et al., 2005)، که عبارت بودند از ۱- زمین‌های زراعی ۲- حاشیه‌های زمین‌های زراعی و ۳- زیستگاه‌های طبیعی و نیمه طبیعی. سپس این سه گروه بر اساس فرم زیستگاه و نیز کارکرد آن‌ها به هفت نوع زیستگاه^۱ به شرح زیر تفکیک گردیدند: ۱- زمین‌های زراعی ۲- حاشیه‌های بین دو زمین زراعی ۳- حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (حاشیه‌هایی که از یک سو به مراتع متصل هستند) (Ma et al., 2012)، ۴- نهرهای دائمی ۵- نهرهای غیردائمی ۶- راه‌ها ۷- رگه‌های سبز درختی. لازم به ذکر است که تمامی عوارضی که دارای قطر حداکثر پنج متر (۵/۰ تا پنج متر) بودند تحت عنوان زیستگاه حاشیه‌ای در نظر گرفته شدند (Avik & Liira, 2009).

ج) نمونه‌برداری گیاهی

از آنجایی که ویژگی‌های توپوگرافیک و اقلیمی چشم‌انداز مورد مطالعه در تمامی نقاط تفاوت قابل ملاحظه‌ای نداشتند، برای نمونه‌برداری از زمین‌های زراعی و حاشیه‌های ما بین آن‌ها، کل چشم‌انداز به شش واحد کاری با مساحت یکسان تقسیم شد. در این آزمایش به دلیل وجود زیستگاه‌های حاشیه‌ای با فرم نواری و خطی، از پلات‌های چهارگوش استفاده شد و تعیین سطح بهینه پلات نیز با روش سطح حداقل صورت گرفت (Barbour et al., 1999). بدین صورت که تعداد تجمعی گونه‌ها در پلات‌های متوالی به‌روشنی قاب‌های تودر توی برون بلانکه^۲ محاسبه شد و با استفاده از داده‌های سطح قاب و تعداد تجمعی گونه‌ها، منحنی سطح به گونه رسم شد و در نهایت، اندازه ۲×۲ مترمربع برای هر پلات انتخاب شد. جهت تعیین تعداد پلات‌ها نیز از روشی مشابه استفاده گردید. از روش سیستماتیک-تصادفی برای نمونه‌برداری پوشش گیاهی استفاده شد.

مرتبط با متغیرهایی است که به‌عنوان عوامل تأثیرگذار در مباحثی مانند تنوع زیستی شناخته می‌شود، که خود به‌صورت مستقیم بر پارامترهایی نظیر کیفیت منابع آبی و خاکی تأثیر می‌گذارند. این مؤلفه‌های عملیات کشاورزی را به‌راحتی و به‌وسیله مصاحبه می‌توان از کشاورزان جمع‌آوری کرد. بدین منظور چشم‌انداز مورد بررسی به پنج ناحیه (شمال، جنوب، شرق، غرب و ناحیه مرکزی) تقسیم‌بندی شد و از آنجایی که مبنای بررسی حداقل ۱۰ درصد زمین‌های کشاورزی بود (Herzog et al., 2006)، از هر ناحیه حدود ۱۴ هکتار انتخاب شد و در نهایت، ۲۲ کشاورز از سراسر چشم‌انداز مورد مطالعه مورد مصاحبه قرار گرفتند. ملاک تعداد مصاحبه مساحت زمین‌های مورد ارزیابی بود. زیرا در بعضی نواحی چشم‌انداز، به‌ازای ۱۴ هکتار، بیش از شش کشاورز و در برخی نواحی سه کشاورز را در بر می‌گرفت؛ داده‌های جمع‌آوری شده بر مبنای میزان کاربرد به‌ازای مساحت زمین، معادل‌سازی شده و سپس میانگین استفاده از هر نهاده یا عملیات کشاورزی محاسبه گردید. عملیات کشاورزی انتخابی شامل ورودی کودهای شیمیایی و دامی (کیلوگرم نیتروژن در سال به‌ازای هر هکتار)؛ ورودی آفت‌کش‌ها (تعداد دفعات کاربرد علف‌کش‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها و سایر آفت‌کش‌ها) و تعداد دفعات عملیات خاک‌ورزی و کنترل مکانیکی علف‌های هرز بود. تخمین محتوی نیتروژن کودهای دامی از طریق بررسی منابع و میانگین‌گیری از مقادیر موجود ارائه شده در منابع گوناگون صورت گرفت (Daneshian et al., 2012; Sharifi et al., 2012; Akbarinia et al., 2004).

میزان فشردگی استفاده از زمین در چشم‌انداز مورد بررسی از طریق معادله ذیل محاسبه شد (Flohre et al., 2011; Herzog et al., 2006):

$$AI = \frac{\sum_{i=1}^n (v_i - v_{min})}{(v_{max} - v_{min})} \times 100$$

که در آن، AI: شاخص فشردگی کشاورزی؛ v_i : مقادیر و یا تعداد دفعات مشاهده شده کاربرد نهاده‌ها (تعداد دفعات کاربرد آفت‌کش‌ها، میزان استفاده از کودهای شیمیایی و آلی و تعداد عملیات خاک‌ورزی اعمال شده)؛ v_{max} و v_{min} : به‌ترتیب حداقل و حداکثر مقدار مشاهده شده نهاده‌ها در تمام مزارع ارزیابی شده؛ و n : تعداد شاخص‌های مورد بررسی می‌باشد.

1- Sub-habitat

2- Braun Blanquet

گردید. شاخص‌های تنوع زیستی شامل شاخص تنوع شانون وینر، بریلیون و سیمپسون؛ و شاخص‌های یکنواختی اسمیت-ویلسون و کامارگو، شاخص تشابه سورنسون و نهایتاً شاخص غنای جک نایف مطابق پوربابایی و آهنی هم برای تنوع گونه‌ای کل و هم به تفکیک گونه‌های متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی مورد محاسبه قرار گرفتند (Poorbabae & Ahani, 2004). همچنین محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی به کمک نرم‌افزار Ecological Methodology^۲ انجام پذیرفت.

نتایج و بحث

الف) برآورد میزان فشردگی استفاده از زمین

مقادیر محاسبه شده درجه فشردگی استفاده از زمین در این مطالعه نشان داد که زمین‌های زراعی و منابع آب و خاک این منطقه به شکل فشرده مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. مقدار محاسبه شده شاخص فشردگی کشاورزی (AI) برای چشم‌انداز مورد بررسی، ۴۹/۵۶ می‌باشد که این مقدار در مقیاس سطح فشردگی بالا قرار می‌گیرد. فلور و همکاران (Flohre et al, 2011) در مطالعه‌ای در سطح اروپا عنوان کردند که در میان نه کشور اروپایی، بیشترین و کمترین مقدار فشردگی استفاده از زمین مربوط به کشور آلمان و به ترتیب به میزان ۳۶/۴۲ و ۳/۰۷ بود؛ مقدار کلی محاسبه شده برای هر نه کشور عبارت بودند از ۲۸/۵۷ برای حالت فشردگی بالا و ۲۰/۵۶ برای فشردگی در سطح متوسط و ۱۲/۶۵ برای حالت فشردگی پایین. بنابراین، به نظر می‌رسد درجه فشردگی استفاده از زمین در چشم‌انداز مورد مطالعه ما بیش از حد انتظار و نگران‌کننده بوده؛ لذا برنامه‌ریزی مدیریتی بر مبنای اصول بوم‌شناختی و استانداردهای کشاورزی پایدار جهت کاهش میزان فشردگی در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.

۱- مسیر استفاده شده در نرم‌افزار برای شاخص‌های تنوع شانون وینر، بریلیون و سیمپسون؛ و شاخص‌های یکنواختی اسمیت-ویلسون و کامارگو مطابق ذیل بود: Species diversity/Heterogeneity and Evenness measures برای شاخص غنای جک نایف؛

Species diversity/ Jackknife for Quadrat Counts

شاخص تشابه سورنسون نیز مطابق معادله مقابل به صورت دستی محاسبه شد، که در آن، SS: شاخص تشابه سورنسون؛ j: تعداد گونه‌هایی که در هر دو جامعه یافت می‌شوند؛ و a و b: به ترتیب تعداد گونه‌هایی که فقط در جامعه a و b یافت می‌شوند.

$$SS = \frac{2j}{(a + b + 2j)}$$

جهت اجتناب از خودهمبستگی فضایی^۱ احتمالی پلات‌ها در یک زیستگاه، معیاری تحت عنوان حداقل فاصله ۲۰۰ متری کوادرات‌ها از همدیگر تعیین شد و به منظور رعایت آسان این معیار از ترانسکت‌های ۴۰۰ متری استفاده و در طول هر ترانسکت خطوط فرضی عمود بر آن ترسیم و به صورت تصادفی در یک نقطه نمونه‌برداری انجام شد. در زیستگاه‌های نواری با عرض بیش از دو متر (جاده‌ها) کوادرات‌ها در قسمت متمایل به مرکز مستقر شدند. برای زیستگاه‌های نواری با عرض محدود، تقریباً تمام زیستگاه‌های حاشیه‌ای بین زمین‌های زراعی و بیشتر نهرهای دائم و غیردائم با عرض کمتر و یا در برخی موارد کمی بیشتر از یک متر، از کوادرات‌های ۱×۴ متر استفاده شد. برای زیستگاه‌های نواری متصل به مراتع هم‌جوار هم معیار فاصله حداکثر ۰/۵ متر از سمت هم‌جوار با زمین زراعی جهت استقرار کوادرات، در نظر گرفته شد، هدف از تعیین این معیار ارزیابی هر چه بیشتر اثر حاشیه‌ای زمین‌های زراعی بود (Avik & Liira, 2010). نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در اواسط تیر ماه که مقارن با رشد مناسب اکثر گونه‌های گیاهی چشم‌انداز بود انجام شد.

به منظور دسته‌بندی گونه‌های گیاهی موجود از لحاظ تحمل آفت‌گذاری ناشی از فعالیت‌های زراعی، مقیاس ۲×۲ متر (مقیاس پلات‌های نمونه‌برداری) مدنظر قرار گرفت و گونه‌ها به دو گروه متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی تقسیم‌بندی شدند. گونه‌هایی که فراوانی حضور آن‌ها در پلات‌های نمونه‌برداری در زمین‌های زراعی ۱۰ درصد یا بیشتر بود، به عنوان گونه گیاهی متحمل در نظر گرفته شد (Aavik et al, 2008; Aavik & Liira, 2009).

د) آنالیز داده‌ها

از آنجایی که تعداد نمونه‌ها در قسمت‌های مختلف چشم‌انداز متفاوت بود، از روش رقیق‌سازی جهت معادل نمودن داده‌های پوشش گیاهی استفاده شد (Hurlbert, 1971; Simberloff, 1972). واریانس غنای گونه‌ای موجود در بوم‌نظام‌ها براساس مدل رقیق‌سازی نیز به روش هک و همکاران (Heck et al., 1975) محاسبه شد. نتایج حاصل از رقیق‌سازی نشان داد که تغییر واریانس در تعداد گونه‌ها نسبت به افزایش حجم نمونه‌برداری غیر معنی‌دار بود ($R^2 = 0.0016$) و در نتیجه، از داده‌های اصلی مربوط به پلات‌ها استفاده

1- Spatial autocorrelation

گونه)، رگه‌های سبز درختی (۳۲ گونه)، حاشیه‌های بین دو زمین زراعی (۳۰ گونه)، نهرهای دائمی (۲۶ گونه)، نهرهای غیردائمی (۲۳ گونه) و نهایتاً راه‌ها و جاده‌ها (۲۲ گونه) بود. به عبارت دیگر، بیشتر تعداد گونه‌های گیاهی ثبت شده در این چشم‌انداز متعلق به رگه‌های سبز (۴۴ گونه) بود و این در حالی است که سهم زمین‌های زراعی از کل چشم‌انداز، بیش از ۵۰ درصد ثبت شد.

ب) گونه‌های متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی

علاوه بر گونه‌های زراعی موجود در چشم‌انداز مورد مطالعه، ۸۷ گونه گیاهی غیرزراعی نیز مورد شناسایی و ثبت قرار گرفتند. بیشترین غنای گونه‌ای مشاهده شده مربوط به زمین‌های زراعی (گونه ۴۳) و پس از آن به ترتیب حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (۳۷)

جدول ۱- مقادیر متوسط، کمینه و بیشینه مربوط به شاخص‌های ارزیابی شده در چشم‌انداز مورد مطالعه (میانگین در هکتار)

Table 1- Average, maximum and minimum values of the AI indicators in the landscape (weighted per ha)

شاخص Indicators	متوسط مقادیر مشاهده شده Mean observed values	بیشینه Maximum	کمینه Minimum
ورودی نیتروژن شیمیایی و آلی ^۱ Nitrogen inputs (kg.ha ⁻¹)	211.36	300.75	100.12
تعداد دفعات مصرف آفت‌کش ^۲ Pesticide input	2.36	4	1
تعداد دفعات خاک‌ورزی ^۳ No. of tillage operations	2.36	4	1

۱- نیتروژن (کیلوگرم در هکتار در سال)، ۲- حشرمکش، علف‌کش، فارچکش و سایر آفت‌کش‌ها، ۳- خاک‌ورزی و کنترل مکانیکی علف‌های هرز
1- Nitrogen inputs (kg.ha⁻¹) 2- Pesticide input 3- No. of tillage operations

تشکیل‌دهنده چشم‌انداز به‌جز زمین‌های زراعی، یعنی گونه‌های ارزشمند طبیعی، از این قرار بودند: *Mentha aquatica* (۲۰/۸۳) درصد از کل فراوانی افراد موجود در تمام پلات‌های مربوط به عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز منهای زمین‌های زراعی، *Arundo donax* (۴/۳۵) درصد، *Typhalatifolia* (۳/۵۲) درصد، *Phleum pratense* (۳/۱۷) درصد، *Agrostis stolonifera* (۲/۴۹) درصد، *Cirsium arvense* (۱/۷۱) درصد، *Catabrosa aquatic* (۱/۰۹۲) درصد و *Achillea millefolium* (۰/۷۸) درصد.

ج) ارزیابی شاخص‌های تنوع زیستی

– شاخص‌های تنوع و یکنواختی ترکیب پوشش گیاهی چشم‌انداز مورد مطالعه

به‌منظور ارزیابی میزان تنوع گیاهی در هرکدام از عناصر ساختاری تشکیل‌دهنده چشم‌انداز، شاخص‌های تنوع مورد محاسبه قرار گرفتند. بیشترین غنای برآورد شده به‌روش جکنایف در زمین‌های زراعی (۴۸/۷) و پس از آن در حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (۴۲/۴) و رگه‌های سبز درختی (۴۱/۵) دیده می‌شود. همچنین بیشترین تعداد گونه منحصر به فرد در رگه‌های سبز درختی (۱۰ گونه) و نهرهای غیردائمی (هشت گونه) مشاهده شد (جدول ۲).

از لحاظ فراوانی، گونه‌های با بیشترین فراوانی در زمین‌های زراعی، که بیشتر آن‌ها در میان لیست گونه‌های متحمل زراعی نیز می‌باشند، از این قرار بودند: *Sorghum halepense* (۴۶/۵۶) درصد از کل فراوانی افراد^۱ موجود در تمام پلات‌های مربوط به زمین‌های زراعی، *Cynodon dactylon* (۱۱/۵۲) درصد، *Convolvulus arvensis* (۸/۸) درصد، *Echinochloa crus-galli* (۴/۴۸) درصد، *Cyperus rotundus* (۴) درصد، *Setaria viridis* (۲/۴) درصد، *Malva neglecta* (۲/۲۴) درصد و *Glycyrrhiza glabra* (۱/۷۶) درصد. در مجموع، از میان تمامی گونه‌های گیاهی موجود در زمین‌های کشاورزی، ۲۱ گونه تحت عنوان گونه‌های متحمل زراعی، یعنی گونه‌هایی مورد ارزیابی قرار گرفتند. در میان این گونه‌ها بیشترین درصد حضور در پلات‌های نمونه‌برداری به‌ترتیب متعلق به *Sorghum halepense* (حضور در ۴۴/۴۴ درصد پلات‌های نمونه‌برداری)، *Convolvulus arvensis* (۳۸/۸۸ درصد)، *Amaranthus retroflexus* (۲۷/۷۷ درصد)، *Cynodon dactylon* (۲۲/۲۲) درصد و *Setaria viridis* (۲۲/۲۲) درصد بودند.

از لحاظ فراوانی، گونه‌های با بیشترین فراوانی در تمامی عناصر

جدول ۲- مقادیر غنای گونه‌ای جک نایف محاسبه شده در عناصر سازنده چشم‌انداز مورد بررسی

Table 2- Jackknife species richness calculated for elements of the landscape structure

غنای جک نایف Jackknife species richness	غنای گونه‌ای Estimate of species richness	انحراف استاندارد از برآورد Standard deviation of the estimate	تعداد گونه منحصر به فرد Number of unique species
W.F.E	33.6	1.47	4
R	23.8	1.2	2
P.D	31.4	1.99	6
N.P.D	30.2	2.94	8
N.F.E	42.4	2.4	6
W.Gr	41.5	2.33	10
Fi	48.7	2.38	6

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr: رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

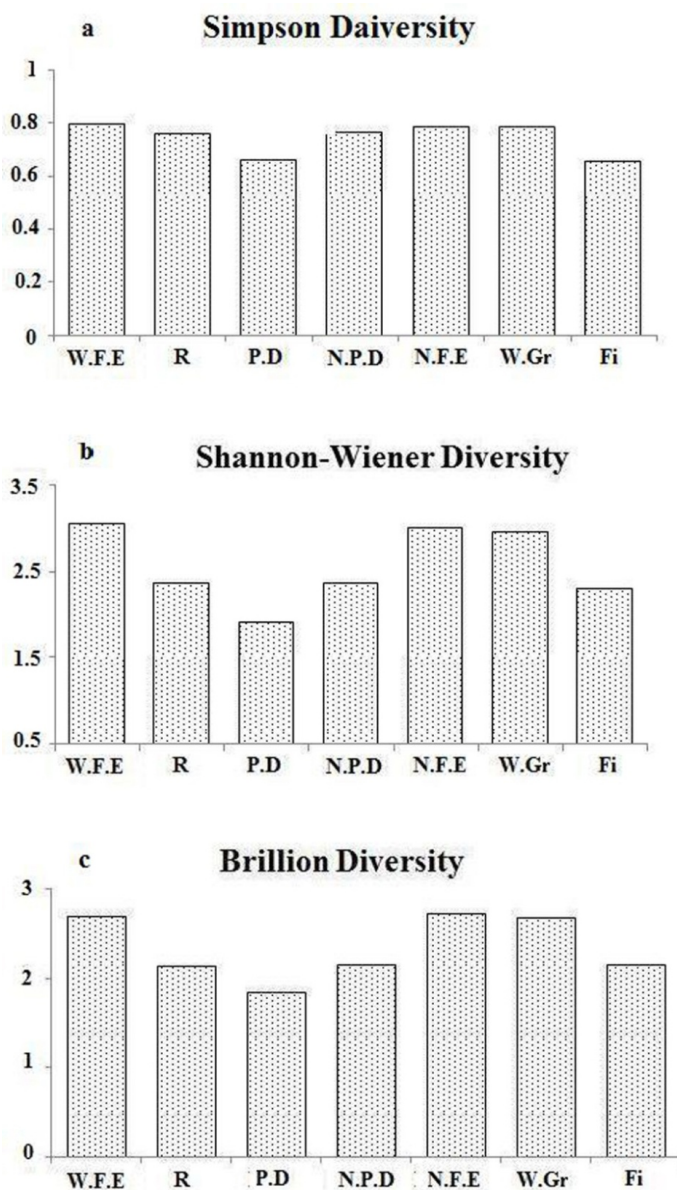
W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.

زمین زراعی قابل توجه می‌باشد. این نتایج را به کمک فرضیه آشفتگی^۱ (Pollock et al., 1998) بدین گونه می‌توان توجیه کرد که آشفتگی، شرایط محیطی را در مقیاس محلی به شکلی تغییر می‌دهد که ترکیب گونه‌ای، به دلیل حضور گونه‌های غالب متفاوت در جمعیت‌های مختلف، در جهت افزایش تنوع گیاهی تغییر کند. مقادیر محاسبه شده مربوط به شاخص‌های یکنواختی کامارگو و اسمیت-ویلسون حاکی از توزیع یکنواخت‌تر از لحاظ فراوانی گونه‌ها در عناصر سازنده چشم‌انداز مانند حاشیه‌های بین دو زمین زراعی (به ترتیب ۰/۰۵۲۵ و ۰/۶۴۲)، رگه‌های سبز درختی (۰/۴۴ و ۰/۴۹)، نهرهای غیردائمی (۰/۴۱ و ۰/۴۴) و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (۰/۴۱ و ۰/۵۰) است (شکل ۲ a, b). همچنین میزان شاخص تنوع در این عناصر، چنانکه پیشتر ذکر شد، بالاتر است. پایین بودن شاخص تنوع در راه‌ها می‌تواند توجیهی متفاوت نسبت به دلیل پایین بودن تنوع در نهرهای دائمی و زمین‌های زراعی داشته باشد. چنانکه در شکل دیده می‌شود، مقدار شاخص یکنواختی کامارگو و اسمیت-ویلسون برای راه‌ها (۰/۴۲ و ۰/۴۴) نسبت به مقادیر آن‌ها برای نهرهای دائمی (۰/۲۸ و ۰/۲۶) و زمین‌های زراعی (۰/۲۷ و ۰/۴۰) بالاتر است. این مسئله نشان‌دهنده توزیع یکنواخت‌تر گونه‌های گیاهی در راه‌ها، علی‌رغم غنا (۲۲ گونه) و شاخص تنوع زیستی پایین‌تر، می‌باشد. اما در طرف مقابل غالبیت گونه‌های آبدوست (هیدروفیت) مانند *Mentha*

بیشترین و کمترین میزان شاخص تنوع مربوط به حاشیه‌های بین دو زمین زراعی و راه‌ها با مقادیر به ترتیب ۳/۰۶ و ۱/۹۲ برای شاخص شانون، و نیز مقادیر ۲/۶۹ و ۱/۸۴ برای شاخص تنوع بریلیون بود (شکل ۱ c, b). همچنین از لحاظ شاخص تنوع سیمپسون بیشترین و کمترین تنوع در حاشیه‌های بین دو زمین زراعی با میزان ۰/۸۰ و زمین‌های زراعی ۰/۰۶۶ دیده می‌شود (شکل ۱ a). همان‌گونه که در شکل ملاحظه می‌گردد، تغییرات در شاخص تنوع سیمپسون بین عناصر گوناگون تشکیل‌دهنده چشم‌انداز، به دلیل حساسیت این شاخص به تغییرات در گونه‌های فراوان‌تر، کمتر از آنچه است که در شاخص‌های تنوع شانون و بریلیون دیده می‌شود. همان‌گونه که در بخش‌های پیشین نیز ذکر شد، بیشترین تعداد گونه گیاهی یا به عبارتی غنای گونه‌ای در زمین‌های زراعی و پس از آن حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی و رگه‌های سبز درختی ثبت شد، اما شاخص‌های تنوع به دلیل لحاظ نمودن همزمان دو معیار تعیین‌کننده تنوع، یعنی غنا (تعداد گونه) و فراوانی، این طبقه‌بندی را تغییر داده و بیشترین تنوع را در حاشیه‌های بین دو زمین زراعی نشان می‌دهد. این گروه از عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز آشفتگی‌های کمتر از آنچه که در داخل زمین‌های زراعی و بیشتر از آنچه که در زیستگاه‌های نیمه طبیعی دیده می‌شود را تجربه می‌کنند. لذا طبق اظهارات تائو و همکاران (Tao et al., 2008) مبنی بر بالاتر بودن تنوع در زیستگاه‌های با درجه آشفتگی متوسط، بالا بودن تنوع در حاشیه‌های بین دو

مقدار شاخص یکنواختی را در این عناصر کاهش داده است. تارمی و همکاران در مطالعه‌ای بر روی ارزش تنوع زیستی موجود در حاشیه زمین‌های زراعی بر نقش اکولوژیک تنوع گونه‌های گیاهی در حاشیه مزارع تأکید کردند (Tarmi et al., 2002).

Phleum pratense و *aquatic* در نهرهای دائمی از سویی، و غالبیت گونه‌هایی مانند *Sorghum halepense* و *Cynodon dactylon* که در مقابل آشفته‌گی‌های مکرر موجود در زمین‌های زراعی، درجه تحمل بالایی نشان می‌دهند،

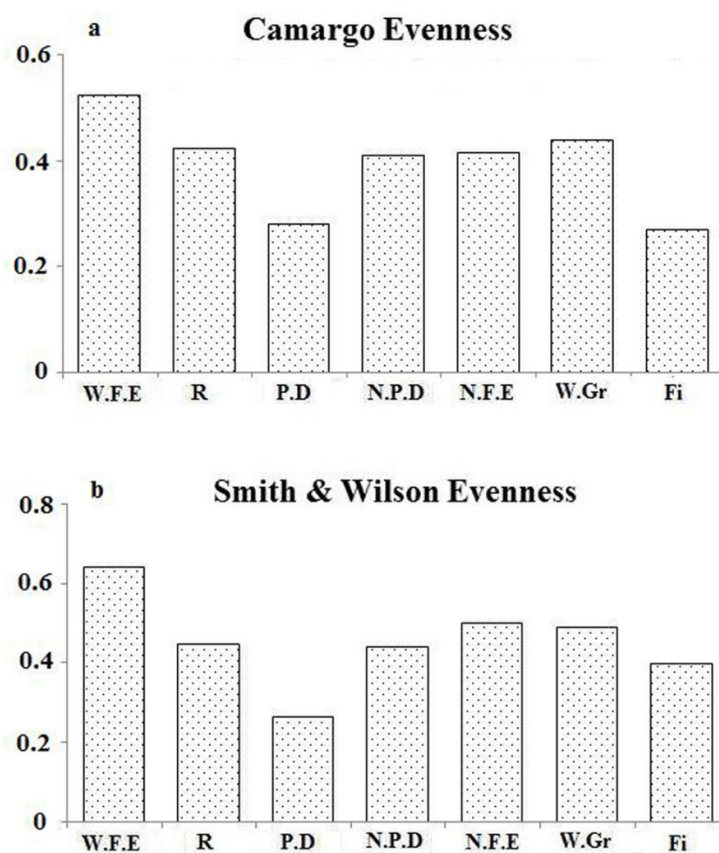


شکل ۱- شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شده برای عناصر هفت‌گانه تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 1- diversity indices of 7 structural elements of the landscape

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr: رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.



شکل ۲- شاخص‌های یکنواختی محاسبه شده برای عناصر هفت‌گانه تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 2- evenness indices of structural elements of the landscape

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها؛ P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr: رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.

شاخص‌های تنوع و یکنواختی گونه‌های متحمل زراعی و

ارزشمند طبیعی در چشم‌انداز مورد مطالعه

هرکدام از شاخص‌های تنوع و یکنواختی ذکر شده در بخش پیشین، جهت ارزیابی تنوع زیستی گیاهی در عناصر هفت‌گانه (زیستگاه‌های خرد) تشکیل‌دهنده چشم‌انداز به تفکیک گروه‌های متحمل زراعی و ارزشمند طبیعی مورد محاسبه قرار گرفتند. بیشترین مقدار شاخص تنوع زیستی محاسبه شده در گروه گیاهان متحمل زراعی در حاشیه‌های بین دو زمین زراعی (شاخص تنوع شانون- وینر ۲/۰۳ و شاخص تنوع بریلیون ۱/۸۵) و پس از آن حاشیه‌های هم‌جوار

در مطالعه‌ای همسو، تارمی و همکاران حاشیه‌های زمین‌های زراعی با پهنای بیشتر (مساحت بیشتر) و حاصلخیزی کمتر را دارای تنوع بالاتر یافتند (Tarmi et al., 2009)؛ در این مطالعه ویژگی‌های ادافیک، مدیریتی و فاکتورهای مکانی مانند توزیع و نحوه قرارگیری حاشیه‌های زمین‌های زراعی به عنوان فاکتورهای تأثیرگذار بر تنوع زیستی عنوان شدند. نتایجی مشابه در ارتباط با تنوع گونه‌های گیاهی در حاشیه مزارع توسط ما و همکاران گزارش شده است (Ma et al., 2002).

با زیستگاه‌های طبیعی (به‌ترتیب با ۱/۴ و ۱/۲۷) و زمین‌های زراعی (به‌ترتیب با ۱/۶۳ و ۱/۵۴) محاسبه شد (شکل ۳ b,c). کمترین تنوع گیاهی در گروه گیاهان متحمل زراعی در رگه‌های سبز (به‌ترتیب با ۰/۳۱ و ۰/۲) و پس از آن راه‌ها (به‌ترتیب با ۱/۱۱ و ۰/۹۹) محاسبه شد. بیشترین یکنواختی در نهرهای دائمی (به‌ترتیب با ۰/۶۳ و ۰/۶۷) حاکی از حضور مکرر چند گونه متحمل زراعی با توزیع متعادل در این گروه از عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز است (شکل ۴ a,b). در گروه گیاهان ارزشمند طبیعی بیشترین تنوع شانون-وینر و بریلیون در زمین‌های زراعی (به‌ترتیب با ۳/۰۸ و ۲/۵۲) و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی (به‌ترتیب با ۳/۰۸ و ۲/۵۲)، و کمترین مقادیر شاخص‌های تنوع در نهرهای دائمی (به‌ترتیب با ۱/۲۸ و ۱/۲۲) و راه‌ها (به‌ترتیب با ۱/۹۳ و ۱/۵۸) محاسبه شد (شکل ۵ b,c). بالا بودن مقدار شاخص تنوع در زمین‌های زراعی که ضمناً دارای بالاترین مقدار غنای گونه‌ای نیز بود و همچنین حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، قابل توجیه می‌باشد. غنای گونه‌ای و تنوع گیاهان ارزشمند طبیعی در نهرهای دائمی و رگه‌های سبز درختی بالا بود، اما یکنواختی کمتر در توزیع افراد گونه‌ها در نهرهای دائمی (به‌ترتیب با ۰/۲۳ و ۰/۲۱) برای شاخص‌های یکنواختی کامارگو و اسمیت-ویلسون) و غالبیت چند گونه هیدروفیت میزان عددی شاخص تنوع را کاهش داد (شکل ۶ a, b). در مطالعه‌ای که پوربابایی و آهنی انجام دادند، میزان شاخص یکنواختی به‌عنوان نشان‌دهنده چگونگی توزیع افراد بین گونه‌ها، مؤثر بر مقدار شاخص‌های تنوع تشخیص داده شدند (Poorbabaee & Ahani, 2004)؛ به‌عبارتی مقادیر بالاتر شاخص یکنواختی، شاخص تنوع شانون وینر را هم افزایش داده بود. ایویک و لیرا در مطالعه بر روی گونه‌های ارزشمند طبیعی و متحمل زراعی در اگر واکوسیستم‌ها نتایجی تا حدودی مشابه با این مطالعه گزارش عنوان کردند (Aavik & Liira, 2009). چنانکه نهرهای آب و لکه‌های طبیعی و نیمه طبیعی که از جمله عناصر شناخته شده به‌عنوان رگه‌های سبز می‌باشند را به‌عنوان حمایت‌کننده گونه‌های ارزشمند طبیعی، و راه‌ها را به‌دلیل مواجهه مکرر با آشفته‌گی‌ها به‌عنوان حمایت‌کننده گونه‌های متحمل زراعی معرفی کردند. از آنجا که تغییر در ساختار چشم‌اندازهای کشاورزی و فشرده‌سازی آن‌ها کاهش گسترده‌ای را از لحاظ تنوع زیستی باعث شده (Green et al., 2005)، لذا نسبت زیستگاه‌های طبیعی و نیمه طبیعی و یا با ساختار نیمه طبیعی، مانند رگه‌های سبز درختی و

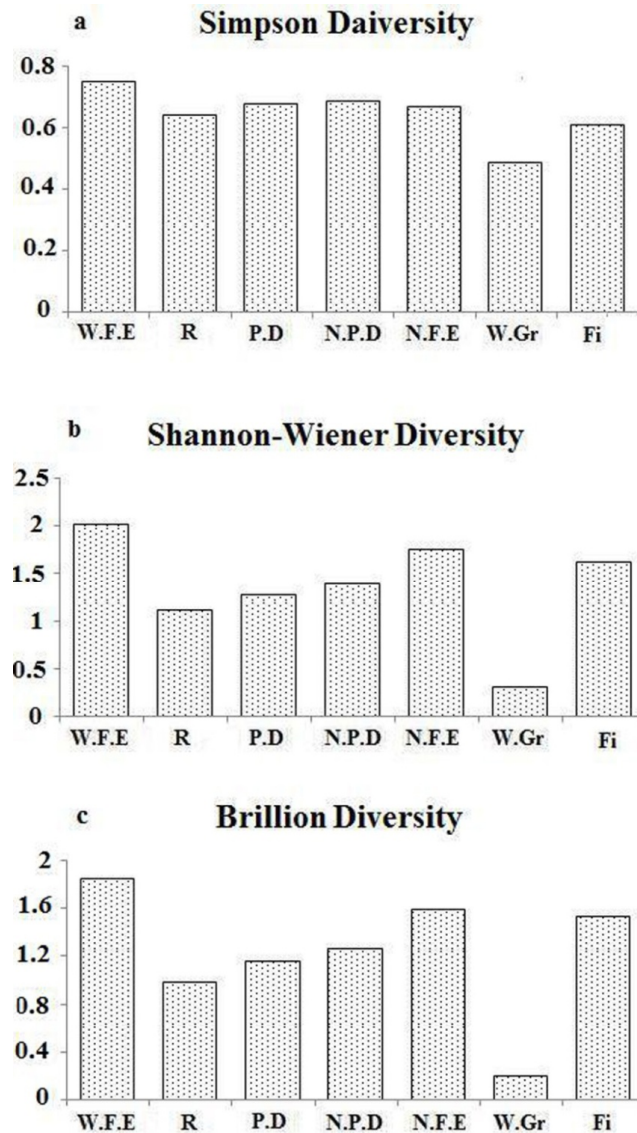
نهرهای دائمی در این مطالعه، می‌توانند به‌عنوان شاخص‌هایی جهت ارزیابی تنوع زیستی در اگر واکوسیستم‌ها مد نظر قرار گیرند (Aavik & Liira, 2009)، چنانکه عنوان شده که تنوع زیستی در سطح گاما (برای مثال در مقیاس چشم‌انداز) می‌تواند از میزان ناهمگونی زیستگاه^۱ تأثیر مثبت بپذیرد. حواشی زمین‌های زراعی به‌عنوان پناهگاهی برای بسیاری از گونه‌های حساس به فعالیت‌های زراعی در نظر گرفته شده (Partel et al., 2007)، در مطالعه حاضر نیز حواشی زمین‌های زراعی به‌خصوص آن‌ها که با مراتع هم‌جوار بودند، نقش بسزایی در حمایت از تنوع گونه‌های ارزشمند طبیعی ایفا کردند. راه‌ها بیشتر گونه‌های متحمل زراعی، ولی زیستگاه‌های با پوشش درختی گونه‌های ارزشمند طبیعی را حمایت می‌کنند (Aavik & Liira, 2009) که با نتایج مطالعه حاضر هم‌خوانی دارد.

ارزیابی شاخص تشابه سورنسون

نتایج محاسبه شاخص تشابه سورنسون حاکی از تشابه نسبتاً قابل توجه برخی عناصر و در عین حال عدم تشابه برخی دیگر می‌باشد. بیشترین تشابه موجود را می‌توان بین عناصری مانند حاشیه‌های بین دو زمین زراعی و زمین‌های زراعی (با مقدار شاخص تشابه سورنسون ۰/۶۵)، حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی و زمین‌های زراعی (۰/۵۷)، نهرهای غیردائمی و زمین‌های زراعی (۰/۵۵)، یافت (جدول ۳).

اساساً چنانکه نتایج شاخص تشابه سورنسون نشان می‌دهد، عناصری که دارای تعداد بیشتری از گونه‌های متحمل زراعی هستند، دارای تشابه بیشتری نیز هستند. تشابه خصوصیات ساختاری و مکانی، شرایط مشابهی را از نظر بوم‌شناختی و شرایط تخریب حاصل از فعالیت‌های زراعی، برای این عناصر پدید آورده است. برای مثال نهرهای غیردائمی در بسیاری موارد مرز بین زمین‌های زراعی را تشکیل می‌دهند؛ حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی علی‌رغم دربرداشتن بسیاری از گونه‌های ارزشمند طبیعی، که در زمین‌های زراعی قابل رؤیت نیستند، به‌علت هم‌جواری مستقیم با زمین‌های کشاورزی تحت تأثیر تغییرات در ترکیب عناصر غذایی خاک ناشی از کودپاشی و یا نشت و نفوذ سموم شیمیایی آفت‌کش و علف‌کش قرار می‌گیرند. حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی و حاشیه‌های

مابین دو زمین زراعی (۰/۵) نیز دارای تشابه بسیار هستند، به گونه‌ای که نیمی از گونه‌های گیاهی در این دو عنصر حاشیه‌ای مشابه هستند.



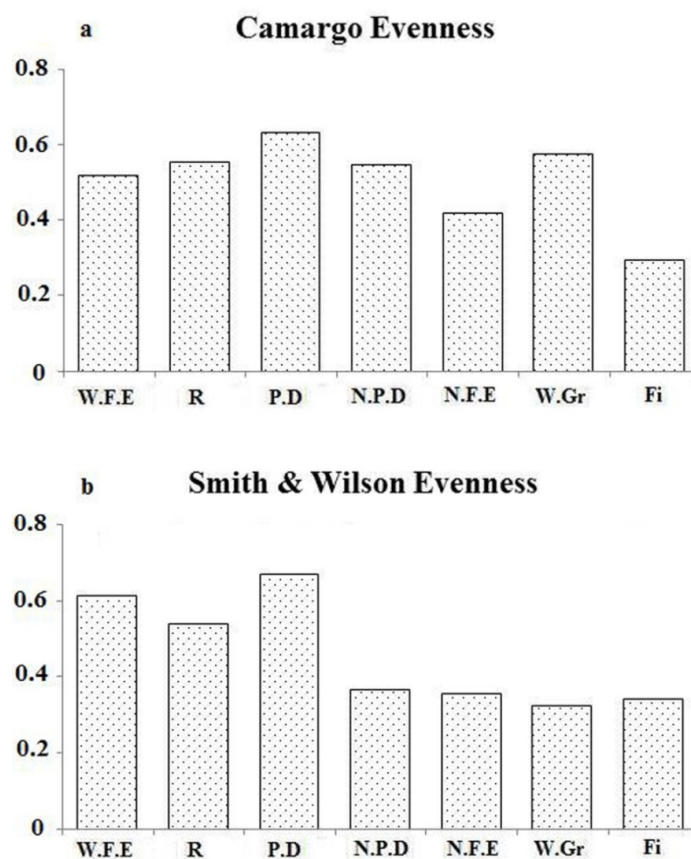
شکل ۳- شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شده برای گونه‌های متحمل زراعی عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 3- diversity indices of agrotolerant (AT) species for structural elements of the landscape/fields

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نه‌رهای دائمی، N.P.D: نه‌رهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr:

رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.



شکل ۴- شاخص‌های یکنواختی محاسبه شده برای گونه‌های متحمل زراعی عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 4- evenness indices of agrotolerant (AT) species for structural elements of the landscape

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr: رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.

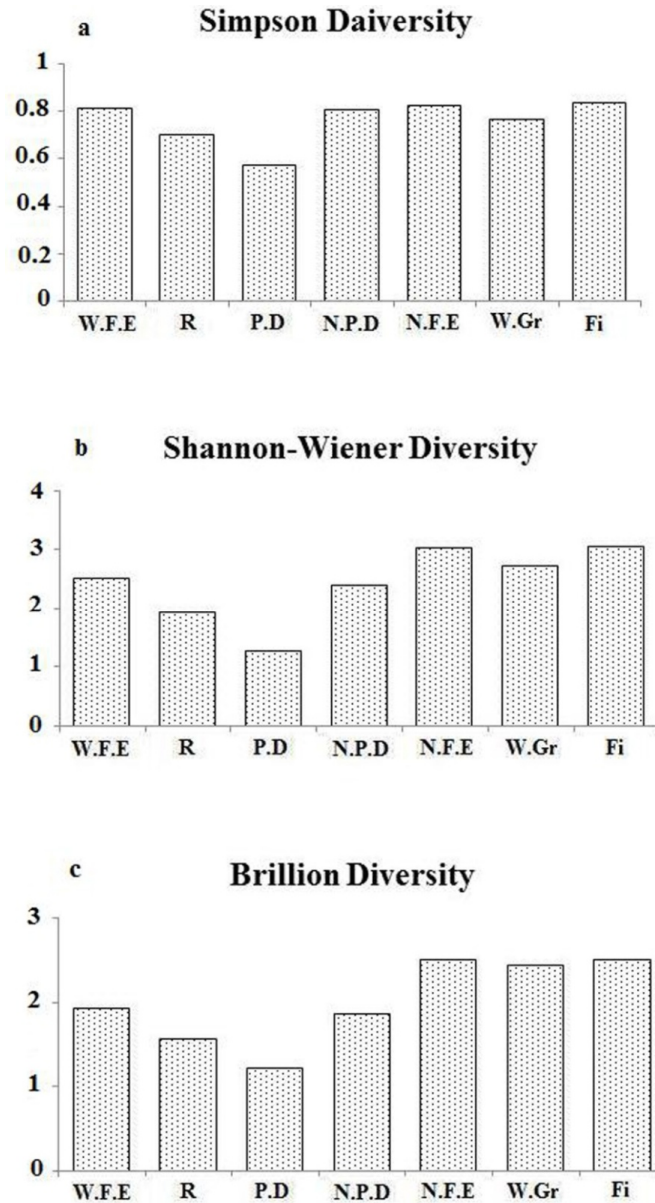
جدول ۳- مقادیر محاسبه شده شاخص تشابه سورنسون برای عناصر ساختاری تشکیل‌دهنده چشم‌انداز

Table 3- Sorenson similarity index calculated for structural elements of the landscape

	W.F.E	R	P.D	N.P.D	N.F.E	W.Gr	Fi
W.F.E	1						
R	0.46	1					
P.D	0.32	0.29	1				
N.P.D	0.32	0.4	0.28	1			
N.F.E	0.5	0.406	0.19	0.36	1		
W.Gr	0.26	0.33	0.27	0.25	0.405	1	
Fi	0.65	0.33	0.31	0.55	0.57	0.21	1

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr: رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.



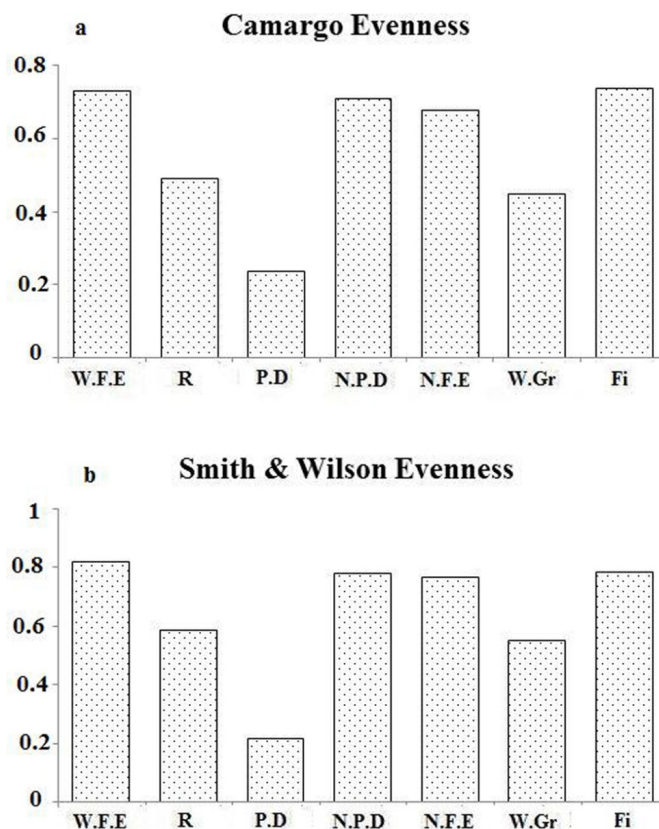
شکل ۵- شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شده برای گونه‌های ارزشمند طبیعی عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 5- diversity indices of nature-value (NV) species for structural elements of the landscape

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها، P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr:

رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.



شکل ۶- شاخص‌های یکنواختی محاسبه شده برای گونه‌های ارزشمند طبیعی عناصر تشکیل‌دهنده چشم‌انداز مورد مطالعه

Fig. 6- evenness indices of nature-value (NV) species for structural elements of the landscape

W.F.E: حاشیه‌های بین دو زمین زراعی، R: راه‌ها؛ P.D: نهرهای دائمی، N.P.D: نهرهای غیردائمی، N.F.E: حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، W.Gr:

رگه‌های سبز درختی و Fi: زمین‌های زراعی

W.F.E: within field edges, R: road verges, P.D: permanent ditches, N.P.D: non-permanent ditches, N.F.E: non-crop field edges, W.Gr: woody greenviens and Fi: fields.

های دائمی (غناى بالای گونه‌های ارزشمند طبیعی) به‌میزان ۰/۲۹ و زمین‌های زراعی (غناى بالای گونه‌های متحمل زراعی) و رگه‌های سبز درختی به‌میزان ۰/۲۱ نیز نشان‌دهنده روند ترجیح‌پذیری گونه‌های ارزشمند طبیعی برای عناصر گوناگون تشکیل‌دهنده چشم‌انداز می‌باشد. بدین ترتیب که گونه‌های متحمل زراعی عمدتاً راه‌ها، و گونه‌های ارزشمند طبیعی عمدتاً نهرهای دائمی و رگه‌های سبز درختی را ترجیح می‌دهند. هرچند از سوی دیگر، تشابه رگه‌های سبز درختی و نهرهای دائمی به‌عنوان زیستگاه‌های مطلوب گونه‌های ارزشمند طبیعی، پایین می‌باشد (۰/۲۷).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد که عناصر ساختاری با بیشترین تشابه

از سوی دیگر، چنین روندی در مورد عناصری که دربردارنده غناى بالاتر گونه‌های ارزشمند طبیعی بیشتری هستند، نیز کم و بیش دیده می‌شود. برای مثال، میزان شاخص تشابه سورنسون رگه‌های سبز درختی و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی ۰/۴۰۵ و تشابه زمین‌های زراعی و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی ۰/۵۷ می‌باشد. اما این مسئله تمایز در ترجیح‌پذیری گونه‌های ارزشمند طبیعی را روشن نمی‌سازد؛ زیرا زمین‌های زراعی و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی از نظر هر دو گروه گونه‌های متحمل زراعی و انواع ارزشمند طبیعی دارای تنوع بالایی هستند. لذا در ادامه می‌توان چنین توجیه نمود که میزان تشابه کمتر پوشش گونه‌های گیاهی در راه‌ها (غناى بالای گونه‌های متحمل زراعی) و رگه‌های سبز درختی (غناى بالای گونه‌های ارزشمند طبیعی) به‌میزان ۰/۳۳، راه‌ها و نهر-

هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی و زمین‌های زراعی، نهرهای غیردائمی و زمین‌های زراعی، بیشترین تشابه را داشتند. در مجموع، می‌توان گفت عناصری که دارای تعداد بیشتری از گونه‌های متحمل زراعی هستند، دارای تشابه بیشتری نیز هستند. در مجموع و به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی، می‌توان حفاظت و یا در صورت امکان اختصاص درصد بیشتری از چشم‌اندازهای کشاورزی به عناصر رگه‌های سبز را به‌عنوان عوامل ارتقاءدهنده تنوع زیستی در بوم‌نظام‌های زراعی پیشنهاد کرد. همان‌طور که از نتایج این مطالعه بر می‌آید نهرهای دائمی، رگه‌های سبز درختی و حتی حاشیه‌های هم‌جوار با مراتع هرکدام به‌ترتیب به‌دلیل فاکتور رطوبت، شرایط سایه و هم‌جواری با مراتع، تعداد قابل توجهی از گونه‌های ارزشمند طبیعی را در خود جای داده‌اند. لذا این مسئله مبین کیفیت زیست‌محیطی و آشفستگی تحمیل شده کمتر در این نوع زیستگاه‌هاست و از آن‌جا که حضور زیستگاه‌های با شرایط آشفستگی و اختلالات کمتر جهت استقرار بسیاری گونه‌های حساس و تخصصی^۱ ضروری است، حضور آن‌ها در بوم‌نظام‌های زراعی با ارزش قلمداد می‌گردد.

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله مراتب سپاس و قدردانی خود را از اهالی محترم منطقه به‌خاطر کمک‌های ارزشمندشان و نیز هرباریوم دانشگاه رازی که در شناسایی گونه‌ها یاری رساندند، اعلام می‌دارند.

از لحاظ کارکرد و میزان آشفستگی ناشی از عملیات کشاورزی، مانند عملیات شخم و استفاده از نهاده‌های شیمیایی، به‌وسیله گونه‌های مشابه که عمدتاً در گروه گیاهان متحمل زراعی قرار می‌گیرند، اشغال می‌گردند. از سوی دیگر، عناصر نواری دارای پوشش متراکم درختی، شرایط رطوبتی ویژه و آن‌ها که در همسایگی مراتع هم‌جوار قرار دارند، مانند رگه‌های سبز درختی، نهرهای دائمی و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، غنای گونه‌ای قابل ملاحظه‌ای از گونه‌های ارزشمند طبیعی را در خود جای دادند. بیشترین و کمترین میزان شاخص‌های تنوع محاسبه شده، در ارتباط با کل گونه‌های گیاهی موجود، به‌ترتیب مربوط به حاشیه‌های بین دو زمین زراعی و راه‌ها بود. بیشترین مقدار شاخص‌های تنوع زیستی محاسبه شده در گروه گیاهان متحمل زراعی در حاشیه‌های بین دو زمین زراعی و پس از آن حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی و زمین‌های زراعی بود. کمترین تنوع گیاهی در گروه گیاهان متحمل زراعی در رگه‌های سبز و پس از آن راه‌ها محاسبه شد و بیشترین یکنواختی در نهرهای دائمی بود. در گروه گیاهان ارزشمند طبیعی بیشترین تنوع شانون-وینر و بریلیون در زمین‌های زراعی و حاشیه‌های هم‌جوار با زیستگاه‌های طبیعی، و کمترین مقادیر شاخص‌های تنوع در نهرهای دائمی و راه‌ها محاسبه شد. غنای گونه‌ای و تنوع گیاهان ارزشمند طبیعی در نهرهای دائمی و رگه‌های سبز درختی بالا بود، اما یکنواختی کمتر در توزیع افراد گونه‌ها در نهرهای دائمی و غالبیت چند گونه هیدروفیت، شاخص تنوع را کاهش داد. از لحاظ شاخص تشابه سورنسون، حاشیه‌های مابین دو زمین زراعی و زمین‌های زراعی، حاشیه‌های

References

- Aavik, T., Augenstein, I., Bailey, D., Herzog, F., Zobel, M., and Liira, J., 2008. What is the role of local landscape structure in the vegetation composition of field boundaries? *Applied Vegetation Science* 11: 375–386.
- Aavik, T., and Liira, J., 2009. Agrotolerant and high nature-value species—plant biodiversity indicator groups in agroecosystems. *Ecological Indicators* 9: 892–901.
- Aavik, T., and Liira, J., 2010. Quantifying the effect of organic farming, field boundary type and landscape structure on the vegetation of field boundaries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135: 178–186.
- Akbarinia, A., Ghalavand, A., Sefidcon, F., Rezaee, M.B., and Sharifi, A., 2004. Study on the effect of different rates of chemical fertilizer, manure and mixture of them on seed yield and main, compositions of essential oil of ajowan (*Trachyspermum copticum*). *Pajouhesh and Sazandegi* 61: 32–41. (In Persian with English Summary)
- Aude, E., Tybirk, K., and Pedersen, M.B., 2003. Vegetation density of conventional and organic hedgerows in Denmark. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 99: 135–147.
- Barbour, M.G., Burk, J.H., and Pitts, W.D., 1999. *Terrestrial plant ecology*. 3rd edition ed. Benjamin/Cumming

Publication Company. Menlo Park, California, USA.

Boutin, C., Baril, A., and Martin, P.A., 2008. Plant diversity in crop fields and woody hedgerows of organic and conventional farms in contrasting landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123: 185–193.

Daneshian, J., Rahmani, N., and Alimohammadi, M., 2012. Effects of application nitrogen and fertilizer manure on physiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under water deficit stress. *New findings in agriculture* 3: 230-240. (In Persian with English Summary)

Falinski, J.B., and Canullo, R., 1985. La recolonisation des champs abandonnesparl'especeforestiere *Anemone nemorosa* L.: I-Distribution etdynamique. *Giorn Botany of Italy* 119: 1–26

Flohre, A., Fischer, C., Aavik, T., Bengtsson, J., Berendse, F., and Bommarco, R., 2011. Agricultural intensification and biodiversity partitioning in European landscapes comparing plants, carabids, and birds. *Ecological Application* 21: 1772–1781.

Grashof-Bokdam, C.J., and Van Langevelde, F., 2004. Green veining: landscape determinants of biodiversity in European agricultural landscapes. *Landscape Ecology* 20: 417–439.

Green, R.E., Cornell, S.J., Scharlemann, J.P.W., and Balmford, A., 2005. Farming and the fate of wild nature. *Science* 307: 550–555.

Heck, K.L., van Belle, G., and Simberloff, D., 1975. Explicit calculation of the rarefaction diversity measurement and the determination of sufficient sample size. *Ecology* 56: 1459-1461.

Herzog, F., Steiner, B., and Bailey, D., 2006. Assessing the intensity of temperate European agriculture at the landscape scale. *European Journal of Agronomy* 24: 165–181.

Holzschuh, A., Steffan Dewenter, I., and Tschamtkke, T., 2010. How do landscape compo-sition and configuration, organic farming and fallow strips affect the diversity of bees, wasps and their parasitoids? *Journal of Animal Ecology* 79: 491–500.

Hurlbert, S.H., 1971. The non-concept of species diversity: a critique and alternative parameters. *Ecology* 52: 577-586.

Jongman, R.H.G., 1996. *Ecological and Landscape Consequences of Land Use Change in Europe*. ECNC, Tilburg, the Netherlands.

Khodakarami, Y., 2003. Evaluation of vegetation in Ghalageforst area, Kermanshah. *Gilan Nature Department*, 95 pp. (In Persian)

Kleijn, D., Berendse, F., Smit, R., and Gilissen, N., 2001. Agrienviromental schemes do not effectively protect biodiversity in Dutch agricultural landscapes. *Nature* 413: 723–725.

Ma, M., Hietala, R., Kuussaari, M., and Helenius, J., 2012. Impact of edge density of field patches on plant species richness and community turnover among margin habitats in agricultural habitats. *Ecolindic* 31: 25-34.

Ma, M., Tarmi, S., and Helenius, J., 2002. Revisited species–area relationship in a semi nat-ural habitat: floral richness in agricultural buffer zones. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 89: 137–148.

Milady, M., 1995. Climatic classification: west of Iran. Paper based meteorology publication. *Meteorology of Iran* 3: 34-43.

Milsom, T.P., Sherwood, A.J., Rose, S.C., Town, S.J., and Runham, S.R., 2004. Dynamics and management of plant communities in ditches bordering arable fenland in eastern England. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 103:85–99.

Muskens, G.J.D.M., Wegman, R.M.A., and Braak, C.J.F., 2002. Boommarters en Wegen: eeneersteanalyse van de relatie 'wegbermen-verkeersslachtoffers'. *ALTERRA Internal Report*, the Netherlands.

Opdam, P., Grashof, C., and Wingerden, W., 2000. Groene dooradering.Een ruimtelijk concept voor functiecombinaties in het agrarisch landschap. *Landschap* 17(1): 45–50.

Paoletti, M.G., 1999. Using bioindicators based on biodiversity to assess landscape sustainability. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74: 1–18.

Partel, M., Helm, A., Roosalu, E., and Zobel, M., 2007. Biological diversity of Estonian semi-natural grassland ecosystems. In: Punning, J. (Ed.), *Problems of Contemporary Environmental Studies*. Tallinn University, Institute of Ecology, Tallinn, pp. 223–302. Pollock, M.M., Naiman, R.J., Hanley, T.A., 1998. Plant species richness in riparian wetlands: a test of biodiversity theory. *Ecology* 1: 94–105.

Poorabee, H., and Ahani, H., 2004. Biodiversity of woody species in Karkaf, Gilan. *Rostaniha*, 5:147-158. (In Persian)

Sharifi, M., Mirzakhani, M., and Sajedi, N.A., 2012. Effect of nitroxin, nitrogen and manure application on yield, nitrogen use efficiency and some crop characteristics in sweet corn. *New Findings in Agriculture* 2: 139-149. (In Persian with English Summary)

Simberloff, D.S., 1972. Use of rarefaction and related methods in ecology. In: Dickson, K.L., Cairns JrJ, Livingston R.J., (Eds.), *Biological data in water pollution assessment: quantitative and statistical analysis*. American Society for Testing and Materials (ASTM) Philadelphia, STP 652: 150-165.

Tao, L., Keming, M., Hongwei, N., Bojie, F., and Jieyu, Z., 2008. Variation in species composition and diversity of wetland communities under different disturbance intensity in the Sanjiang plain. *Acta Ecologica Sinica* 5: 1893-1900.

Tarmi, S., Helenius, J., and Hyvonen, T., 2009. Importance of edaphic, spatial and management factors for plant communities of field boundaries. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 131: 201–206.

Tarmi, S., Tuuri, H., and Helenius, J., 2002. Plant communities of field boundaries in Finnish farmland. *Agriculture Food Science Finland* 11: 121–135.

Tscharntke, T., Klein, A.M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., and Thies, C., 2005. Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity—ecosystem service management. *Ecology Letters* 8: 857–874.

Verboom, B., 1998. The use of edge habitats by commuting and foraging bats IBN Scientific Contributions 10. DLO Institute for Forestry and Nature Research (IBN-DLO), Wageningen, the Netherlands.



Greenveining Elements of the Landscape Structure as the Main Supporter of Biodiversity in Agroecosystems

R. Rostami¹, A. Koocheki^{2*}, P. Rezvani Moghaddam² and M. Nassiri Mahallati²

Submitted: 01-11-2015

Accepted: 05-03-2017

Rostami, R., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Nassiri Mahallati, M., 2021. Greenveining elements of the landscape structure as the main supporter of biodiversity in agroecosystems. Journal of Agroecology 13(1):39-56.

Introduction

Natural and semi-natural features including those as patches and marginal elements, construct a network of habitats referred to as green vein elements. In the green veining, the linear elements connect the different parts of the network, while the patches have a role as nodes within the network. These networks potentially place a vast range of biodiversity and play an important role as a refuge for sensitive organisms as well as some habitat specialist species. With regards to crop production and pest management in agricultural fields, pollinators and biological control agents, like predators, are among the most beneficial organisms mostly found in green vein elements. As the biodiversity in agroecosystems is considerably declining, this study was conducted to address the important role of natural and semi-natural elements of the landscape in biodiversity conservation.

Materials and Methods

The study area was an agricultural landscape located in Gilane-Gharb County, Kermanshah Province, Iran with a Mediterranean climate. The level of agricultural intensification (AI) was surveyed through interviewing the farmers and considering the indicators such as chemical and organic fertilizers (kg N.ha⁻¹ per year), pesticide input (utilization frequency of e.g. herbicides, insecticides and fungicides) and the number of tillage operations and mechanical weed control by providing the geographic map of the area and frequent field observation, seven different types of patches and marginal habitats were identified, including: 1) arable and horticultural fields (Fi); linear elements adjacent to the fields including: 2) within field edges (W.F.E) and 3) non-crop field edges (N.F.E); 4) roads; ditches including 5) permanent ditches (P.D) , 6) non-permanent ditches (N.P.D) , and 7) woody greenvein (W.Gr) element. 87 sample plots (2 m × 2 m) were recorded in all the elements. Vegetation data from fields were recorded using 18 sample plots; woody green vein 19 sample plots; and other marginal habitats including within field edges, non-crop field edges, permanent ditches, non-permanent ditches and roads, were sampled by 50 plots. Sampling was done based on systematic-randomized method. Two emergent groups of plant species were introduced regarding their response to land use intensification: Agrotolerant and Nature-value species. The calculated biodiversity indices were: Jackknife species richness, Shannon-wiener, Simpson and Brillion diversity indices, Camargo and Smith-Wilson Evenness, and finally Sorenson Similarity index using Ecological Methodology software.

Results and Discussion

The calculated agricultural intensification index (AI) was 49.56; this score was at the range of high intensified agricultural utilization (High AI). Mean observed value of nitrogen input was 211.36 kg.ha⁻¹, the weighted frequency of tillage operations and pesticide application per hectare was the same as 2.36. Apart from crop species, a total of 87 vascular plants were recorded in the agricultural landscape. The highest species richness was for agricultural fields (43 species), which followed by non-crop field edges (37), woody greenveins (32), within field edges (30), permanent ditches (26), non-permanent ditches (23) and roads (22). *Sorghum halepense* (L.) Pers.

1- PhD student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, P.O. Box 91775-1163, Iran

2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, P.O. Box 91775-1163, Iran

(*- Corresponding Author Email: akooch@um.ac.ir)

(46.56% of the total frequency of individuals existing in the field sample plots) was the most frequent species in the landscape. 21 species were recorded as agrotolerant species. Jackknife species richness was 48.7 in the fields as the most, and 23.8 in the road verges as the minimum. Woody Green veins (W.Gr) had the most number of unique species. The most Shannon-wiener and Brillion diversity indices were recorded for agrotolerant and nature-value species in within field edges (Shannon-wiener: 2.03 and Brillion: 1.85) and fields (2.52 and 3.08) respectively. Sorenson similarity index revealed that the elements inhabiting high number of agrotolerant species had a similar spatial condition especially regarding being adjacent to the agricultural fields. Studies reported the outstanding benefits of greenvein elements in promoting plant biodiversity and as a result enhancing diversity of organisms which inhabit in such elements.

Conclusion

The study indicated the effect of agricultural intensification and types of land use throughout the landscape on biodiversity. Elements with high connectivity to natural or seminatural habitats had the most positive effect on biodiversity of plant species. To gain the targets of sustainability in agroecosystems, providing as much as possible natural and semi-natural habitats and corridors are suggested.

Keywords: Agrotolerant species, Biodiversity indices, Nature-value species, Semi-natural elements.



مقاله علمی - پژوهشی

بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن و آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌سازی سطح - پاسخ

حامد منصوری^{۱*}، حمید نوشاد^۲ و مهدی حسینی^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

منصوری، ح.، نوشاد، ح. و حسینی، م.، ۱۴۰۰. بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن و آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) با استفاده از مدل‌سازی سطح - پاسخ. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۷۲-۵۷.

چکیده

هدف از انجام تحقیق حاضر، بهینه‌سازی منابع کود نیتروژن و آب در چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) در شرایط آب‌وهوایی همدان با استفاده از روش سطح - پاسخ بود. برای این منظور، داده‌های مورد نیاز از منابع موجود استخراج و در قالب طرح مرکب مرکزی بهینه‌سازی در شرایط آب‌وهوایی همدان انجام گرفت. سطوح بالا و پایین کود نیتروژن و آبیاری به ترتیب ۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و ۸۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار بودند. نتایج ارزیابی مدل بر اساس شاخص‌های آماری نشان داد که مدل از دقت قابل قبول و معنی‌داری برای شبیه‌سازی صفات چغندر قند برخوردار بود، به‌طوری‌که مقدار شاخص RMSE برای تمام صفات مورد ارزیابی کمتر از هشت درصد به‌دست آمد. برای بهینه‌سازی از دو روش هم‌پوشانی لایه‌ها و حل عددی استفاده شد. بر اساس روش هم‌پوشانی لایه‌ها، میزان مصرف ۹۵۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار و کاربرد ۱۱۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به‌عنوان بهینه مصرف آبیاری و کود نیتروژن برآورد گردید. در روش حل عددی نیز کاربرد ۱۳۳ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به‌همراه ۱۰۶۶۷ مترمکعب آب به‌عنوان مقادیر بهینه تیمارها شبیه‌سازی شد. بر اساس مقادیر بهینه پیشنهادی توسط مدل در روش حل عددی، میزان عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید، میزان نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن به‌ترتیب معادل ۸۰/۱ تن در هکتار، ۱۴/۹۴ تن در هکتار، ۱۲/۴۹ تن در هکتار در هکتار، ۲/۵۶ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم، ۱/۳۹ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب و ۷۴/۲۴ کیلوگرم شکر بر کیلوگرم نیتروژن برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: طرح مرکب مرکزی، عملکرد بهینه، عملکرد شکر، کارایی مصرف آب، کارایی مصرف نیتروژن

مقدمه

از مهم‌ترین روش‌های آماری برای حصول مقادیر بهینه نهاده‌ها، استفاده از روش سطح پاسخ می‌باشد (Aslan, 2007; Kwak, 2005). روش سطح پاسخ یک روش آماری پیشرفته می‌باشد که می‌تواند در بهینه‌سازی منابع مورد استفاده قرار گیرد که اساس آن بر پایه یک مدل غیرخطی چند متغیره استوار است (Zulkali et al., 2009; Kalavathy et al., 2006). این مدل به‌منظور به‌دست آوردن سطح پاسخ مطلوب، ترکیبی از تیمارها را طراحی کرده و یک مدل آماری با بهترین برازش برای داده‌های به‌دست آمده از نتایج طرح آزمایشی ایجاد می‌کند و در نهایت، مقادیر بهینه متغیرهای مستقل را برای حصول مقدار مورد انتظار برای متغیر وابسته تعیین می‌کند.

به‌منظور دستیابی به عملکرد اقتصادی قابل قبول و کاهش همزمان آلودگی‌های زیست‌محیطی، نهاده‌های مورد استفاده در مزرعه باید با توجه به عملکرد مورد انتظار به‌صورت بهینه مصرف شوند. یکی

۱- استادیار بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۲- استادیار مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندر قند، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

(*) - نویسنده مسئول:
(Email: h.mansori@areeo.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v13i1.79767

توسط گیاه کاهش می‌دهد. در این شرایط رشد قسمت هوایی و ریشه تا حدی کاهش یافته و در نتیجه، ساکارز به‌جای مصرف برای رشد، در ریشه ذخیره‌سازی می‌شود. البته چنین تنش رطوبتی بایستی در آخر دوره رشد باشد تا بتواند مفید باشد (Mohammadian et al., 2010; Hills et al., 1990).

استفاده از روش‌های پیشرفته آماری مانند روش سطح-پاسخ در تعیین بهینه مصرف منابع در گیاهان مختلفی از جمله کلزا (*Brassica napus* L.) (Koocheki et al., 2014)، گندم (*Triticum aestivum* L.) (Jahan et al., 2016) و گیاهان غده‌ای مانند پیاز (*Allium cepa* L.) (Mansouri et al., 2014) و موسیر (*Allium stipitatum* L.) (Mansouri et al., 2015) در سال‌های اخیر در کشور رو به گسترش بوده است. ولی مطالعه‌ای در خصوص استفاده از این روش در بهینه‌سازی گیاه چغندرقد (*Beta vulgaris* L.) انجام نگرفته است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) برای بهینه‌سازی کود نیتروژن، آبیاری و تراکم کاشت در گیاه کلزا از روش سطح-پاسخ استفاده کرده و با توجه به معنی‌داری مدل و همچنین دقت بالای آن، استفاده از روش سطح-پاسخ را روشی مناسب در جهت بهینه‌سازی مدیریت زراعی منابع تولید عنوان کردند و کاربرد ۹۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با حجم آبیاری ۲۳۴۷ مترمکعب آب در هکتار را به‌عنوان بهترین تیمار برای به‌دست آوردن عملکرد کلزا با در نظر گرفتن مسائل زیست‌محیطی و کاهش تلفات نیتروژن توصیه نمودند. منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2014) نیز در مطالعه مشابهی بر روی گیاه پیاز، استفاده از روش سطح-پاسخ را روشی مؤثر در بهینه‌سازی منابع تولید، کاهش هزینه‌های تولید و آلودگی زیست‌محیطی عنوان کردند. این محققان مصرف ۹۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با مقدار آب آبیاری معادل ۸۹۳۰ مترمکعب آب در هکتار را در کشت پیاز به‌عنوان تیمار بهینه کود نیتروژن و آب در منطقه آذرشهر گزارش کردند. بنابراین، هدف از این مطالعه بهینه‌سازی مصرف کود نیتروژن و آب در گیاه چغندرقد با استفاده از روش سطح-پاسخ و طرح مرکب مرکزی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین مقادیر بهینه کود نیتروژن و آب در زراعت چغندرقد در همدان از اطلاعات و داده‌های موجود بر اساس تحقیقات انجام گرفته در این زمینه (Mirzaei & Ghadami, 2005; Jahedi

(Montgomery, 2001; Kalavathy et al., 2009). از مزایای دیگر استفاده از روش سطح پاسخ، می‌توان به بررسی اثرات متقابل مؤثر بر متغیر وابسته و همچنین ترکیب تیمارهای مختلف به‌صورت همزمان با تعداد آزمایشات محدود اشاره کرد (Kalavathy et al., 2009). یکی از انواع روش‌های سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی می‌باشد که این طرح به‌عنوان یک طرح جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که توسط باکس و ویلسون (Box & Wilson, 1951) مطرح و توسط باکس و هانتز (Box & Hunter, 1957) تکمیل گردید. مزیت استفاده از طرح مرکب مرکزی نسبت به طرح فاکتوریل، امکان استخراج اطلاعات بیشتر از تحلیل این طرح و تعداد کمتر تیمار و تکرارهای مورد نیاز جهت انجام آزمایش می‌باشد که اجرای این طرح را آسان‌تر می‌کند. همچنین امکان تعیین ترکیب‌های مختلف متغیر مستقل را در آزمایش فراهم می‌آورد (Obeng et al., 2005; Aslan, 2007).

با توجه به اینکه کشور ایران در بخش خشک و نیمه‌خشک دنیا واقع شده است و از نظر منابع آب محدود می‌باشد، بنابراین ذخیره و صرفه‌جویی در مصرف آب در بخش کشاورزی، نقش مؤثری در افزایش تولیدات خواهد داشت. استفاده بهینه از آب تا حد زیادی به کمپایی آب بستگی دارد و برای مدیریت آن باید اصول اقتصادی لازم را مورد استفاده قرار داد. بنابراین، مدیریت صحیح آب در تخصیص بهینه این نهاده، بسیار مهم تلقی می‌شود.

نیتروژن یکی از نهاده‌های تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت گیاهان زراعی است و باعث بهبود دوام سطح برگ و افزایش آسیمیلاسیون محصول و در نتیجه، افزایش عملکرد می‌گردد. در عین حال، این عنصر به‌آسانی از خاک شسته شده و باعث آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. طبق برآوردهای انجام شده فقط حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد کود نیتروژن مصرفی، از طریق محصول کشاورزی از خاک جذب می‌شود و این نسبت با افزایش مصرف کود کاهش می‌یابد (Wenxue et al., 2005). اثرات متقابل پیچیده‌ای بین میزان آب آبیاری و میزان کود نیتروژن وجود دارد. بنابراین، بهینه مصرف منابع نیتروژن و آب و در نظر گرفتن ترکیب تیماری آن‌ها ضروری می‌باشد، به‌طوری‌که آبیاری زیاد منجر به آب‌شویی نیتروژن شده و علاوه بر غیر قابل دسترس کردن این عنصر برای گیاه منجر به آلودگی زیست‌محیطی نیز می‌شود؛ از طرف دیگر، آبیاری کم و خشکی سطح خاک، معدنی شدن نترات را کاهش می‌دهد و بنابراین، جذب آن را

گرفته می‌شود (Kalavathy et al., 2009). در طرح مرکب مرکزی، تیمارهای آزمایشی به صورت کدهای بدون واحد +۱، -۱ و ۰ نشان داده می‌شوند که به ترتیب بیانگر بالاترین سطح، پایین‌ترین سطح و میانگین سطوح متغیرهای مستقل می‌باشند. تعداد تیمارهای طراحی شده در طرح مرکب مرکزی با استفاده از فرمول $2^k + 2k + r$ محاسبه می‌شود. در این فرمول، k : نشان‌دهنده تعداد فاکتورهای مورد بررسی و r : تعداد تکرار برای نقطه مرکزی می‌باشد (Aslan, 2007). تعداد تکرار در نقطه مرکزی به دلیل برآورد خطای آزمایشی مهم می‌باشد. تعداد تکرار توصیه شده برای نقطه مرکزی در یک طرح مرکب مرکزی با دو فاکتور برابر پنج گزارش شده است (Aslan, 2007). بنابراین، برای طرح‌های مرکب مرکزی با دو فاکتور ۱۳ تیمار آزمایشی بر اساس معادله ۲ تعریف می‌شود.

$$2^k + 2k + r = 2^2 + (2 \times 2) + 5 = 13 \quad \text{معادله (۲)}$$

(et al., 2012) استفاده شد. بنابراین، تیمارهای مورد نیاز با توجه به سطوح بالا و پایین کود نیتروژن (۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و آب (۸۰۰۰ و ۱۴۰۰۰ مترمکعب در هکتار) با استفاده از نرم‌افزار Minitab نسخه ۱۶ به صورت طرح مرکب مرکزی تعریف شد.

روش سطح پاسخ به صورت یک تابع چند متغیره بر اساس معادله ۱ تعریف می‌شود (Kalavathy et al., 2009):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_k) \quad \text{معادله (۱)}$$

که در این تابع، y : به عنوان متغیر پاسخ و x_i : به عنوان متغیر مستقل می‌باشند. همان‌طور که در قبل نیز بیان شد یکی از انواع روش‌های سطح پاسخ، طرح مرکب مرکزی می‌باشد. طرح مرکب مرکزی به صورت یک طرح آزمایشی به منظور تعیین مقادیر متغیرهای مستقل برای حصول متغیر وابسته پیش‌بینی شده تعریف می‌شود که در این طرح میانگین سطوح فاکتورها به عنوان نقطه مرکزی در نظر

جدول ۱- کد ضرایب و مقادیر واقعی متغیرهای مستقل

Table 1- Coefficient code and actual values of independent variables

کد ضرایب Coefficient code		مقدار Value	
آبیاری Irrigation	کود نیتروژن N fertilizer	آبیاری Irrigation (m ³ .ha ⁻¹)	کود نیتروژن N fertilizer (kg N.ha ⁻¹)
+1	+1	14000	240
0	+1	11000	240
0	0	11000	120
0	0	11000	120
-1	-1	8000	0
+1	0	14000	120
0	-1	11000	0
0	0	11000	120
0	0	11000	120
0	0	11000	120
-1	+1	8000	240
+1	-1	14000	0
-1	0	8000	120

میانگین مربعات خط (RMSE)، کارایی مدل (R^2)، ضریب تبیین (R^2) و همچنین مقایسه با خط ۱:۱ استفاده گردید (Mansouri et al., 2014). معادله چند جمله‌ای مورد استفاده در مدل رگرسیونی به صورت زیر می‌باشد (Aslan, 2007):

معادله (۳)

$$y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2$$

جهت برازش داده‌ها، معادله رگرسیونی چند متغیره با افزودن جملات خطی، درجه ۲ و اثر متقابل بین فاکتورها، برازش و بر اساس تجزیه واریانس رگرسیون مورد ارزیابی قرار گرفت و در نهایت، معنی‌داری مدل و دقت آن در برازش داده‌ها مشخص شد. برای ارزیابی و آزمون معنی‌داری آماری مدل، از تجزیه واریانس رگرسیونی استفاده شد. به منظور مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهده شده از جذر

میزان نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف نیتروژن بود. مقدار کارایی مصرف آب (WUE) و کارایی مصرف نیتروژن (NUE) نیز با استفاده از معادلات ۷ و ۸ به‌دست آمد (Koocheki et al., 2014).

$$WUE = \frac{SY}{water} \quad \text{معادله (۷)}$$

$$NUE = \frac{SY}{N_{soil} + N_{fertilizer}} \quad \text{معادله (۸)}$$

که در آن‌ها، SY: عملکرد شکر بر حسب کیلوگرم در هکتار، water: مقدار آب مصرف شده بر حسب مترمکعب در هکتار، N_{soil} : نیتروژن موجود در خاک (۱۳/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک) و $N_{fertilizer}$: نیتروژن موجود در کود مصرفی بر حسب کیلوگرم در هکتار می‌باشند.

بعد از ارزیابی مدل، حد مطلوب صفات چغندر قند وارد مدل شده و مقادیر بهینه نیتروژن و آب به دو روش بر هم نهادن جواب‌ها (هم‌پوشانی لایه‌ها) و حل عددی برآورد گردید. حد مطلوب صفات مربوط به چغندر قند با توجه به داده‌های آزمایش برای عملکرد چغندر قند، عملکرد قند، میزان نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن در روش بر هم نهادن جواب‌ها به‌ترتیب ۷۵-۱۰۰ تن در هکتار، ۱۴-۱۸ تن در هکتار، ۱۱-۱۴ تن در هکتار، ۱/۸-۲/۵ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر، ۱/۱-۱/۵ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب و ۷۵-۱۰۰ کیلوگرم شکر بر کیلوگرم نیتروژن و در حل عددی به‌ترتیب ۸۰ تن در هکتار، ۱۵ تن در هکتار، ۱۲/۵ تن در هکتار، ۲ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر، ۱/۴ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب و ۸۰ کیلوگرم شکر بر کیلوگرم نیتروژن در نظر گرفته شد. در روش هم‌پوشانی لایه‌ها، محدوده‌ای از تیمارها که در تمام لایه‌ها با مقدار تعیین شده برای هر صفت هم‌پوشانی داشت، به‌عنوان محدوده مطلوب تیمارها انتخاب گردید. در نهایت، برای ارزیابی میزان دقت مدل در تعیین مقادیر بهینه متغیرهای مستقل (نیتروژن و آبیاری) در روش حل عددی از شاخص مطلوبیت استفاده شد که مقدار این شاخص هرچقدر به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل می‌باشد. برای انجام طرح مرکب مرکزی و بهینه‌سازی از نرم‌افزار Minitab ver. 16 و برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel ver. 10 استفاده گردید. لازم به ذکر است نقشه هم‌پوشانی لایه‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار Minitab ver. 16 ترسیم و تعیین شد.

که در آن، y: متغیر وابسته؛ i: خصوصیات کمی و کیفی چغندر قند، کارایی مصرف نیتروژن و کارایی مصرف آب؛ x_1 و x_2 : به‌ترتیب متغیرهای مستقل کود نیتروژن و آبیاری و a: ضرایب معادله می‌باشند. همان‌طور که بیان شد برای مقایسه نتایج مدل با مقادیر مشاهده شده از جذر میانگین مربعات خطا و کارایی مدل استفاده گردید که از معادلات زیر محاسبه شدند (Bannayan et al., 2014).

$$RMSE = \frac{100}{\delta} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad \text{معادله (۴)}$$

$$ME = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (\delta - O_i)^2} \quad \text{معادله (۵)}$$

که در آن‌ها، P_i : مقادیر پیش‌بینی شده، O_i : مقادیر اندازه‌گیری شده، n: تعداد مشاهدات و δ : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشند. مقادیر کمتر از ۱۰ درصد برای شاخص RMSE نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل برای شبیه‌سازی متغیرها می‌باشد. مقدار شاخص کارایی مدل نیز هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر دقت بالای مدل می‌باشد (Bannayan et al., 2014).

برآزش رگرسیونی بین مشاهدات و داده‌های شبیه‌سازی شده و مقایسه آن با خط ۱:۱ از جمله رایج‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های اعتبار مدل‌هاست (Nassiri et al., 2006). مدل در صورتی از دقت کافی در پیش‌بینی مشاهدات برخوردار خواهد بود که خط رگرسیون دارای شیبی برابر یک بوده و بر خط ۱:۱ ($y=x$) منطبق باشد. برای این منظور معادله خط رگرسیونی برآزش داده شده بین داده‌های مشاهده شده^۳ و پیش‌بینی شده^۴ که معادله آن در زیر آمده است با خط ۱:۱ از طریق آزمون t مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$\text{Predicted} = a + (b \times \text{Observed}) \quad \text{معادله (۶)}$$

که در آن، $b=1$: به‌عنوان فرض صفر (H_0) و $b \neq 1$: به‌عنوان فرض یک (H_1) در آزمون t در نظر گرفته شد. همچنین برای ارزیابی عرض از مبدأ دو خط، $a=0$: به‌عنوان فرض صفر (H_0) و $a \neq 0$: به‌عنوان فرض یک (H_1) مدنظر قرار گرفت. اگر فرض صفر رد نشود به این معنی است که اختلاف بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده معنی‌دار نیست و فرض یک نیز عکس این موضوع را نشان می‌دهد. صفات مورد مطالعه که به‌عنوان متغیرهای وابسته در مدل مورد بررسی قرار گرفتند، شامل عملکرد ریشه، عملکرد قند،

1- Observed

2- Predicted

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که مدل رگرسیونی درجه دو کامل و اجزای آن به‌استثنای اثر متقابل بر اساس آزمون F در سطح احتمال یک درصد برای برآورد تمام متغیرهای وابسته معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به عدم معنی‌داری آزمون عدم برازش (به‌غیر از متغیر نیتروژن

مضره)، تجزیه رگرسیونی در کلیه صفات اختلاف معنی‌داری را با روش تجزیه واریانس نشان نداد که بیانگر قابلیت بالای مدل رگرسیونی در برآورد متغیرهای وابسته و برازش منحنی می‌باشد (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس رگرسیونی برای متغیرهای وابسته گیاه چغندر قند

Table 2- The results of regression variance analysis for the dependent variables in sugar beet

کارایی مصرف نیتروژن	کارایی مصرف آب	نیتروژن مضره	عملکرد شکر سفید	عملکرد شکر	عملکرد ریشه	درجه آزادی	منابع تغییر رگرسیون S.O.V.
NUE	WUE	N	WSY	SY	RY	d.f	
770**	0.344**	0.615**	20.6**	30.9**	907**	5	رگرسیون Regression
1584**	0.715**	0.861**	33.7**	52.9**	1800**	2	خطی Linear
330**	0.136**	0.665**	17.7**	24.1**	461**	2	درجه ۲ Square
22.1 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.024 ^{ns}	0.250 ^{ns}	0.360 ^{ns}	15.4 ^{ns}	1	اثر متقابل Interaction
15.2	0.007	0.056	0.418	0.753	22.9	7	اشتباه Error
20.9 ^{ns}	0.013 ^{ns}	0.124**	0.587 ^{ns}	1.23 ^{ns}	31.0 ^{ns}	3	عدم برازش Lack of fit
11.1	0.003	0.004	0.291	0.398	16.2	4	اشتباه خالص Pure error
97.3	97.1	88.8	97.2	96.7	96.6	-	R ²

RY, SY, WSY, N, WUE, and NUE: به ترتیب بیانگر عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و کارایی مصرف

نیتروژن.

RY, SY, WSY, N, WUE, and NUE: Root Yield; Sugar Yield; White Sugar Yield; α -amino nitrogen; Water Use Efficiency and Nitrogen Use Efficiency, respectively.

ضریب تبیین به‌دست آمده برای متغیرهای عملکرد ریشه، شکر، شکر سفید، کارایی مصرف آب و نیتروژن بالای ۹۶ درصد و برای صفت نیتروژن مضره معادل ۸۸/۸ درصد بود؛ بنابراین، بیش از ۹۶ درصد از تغییرات اکثر صفات مورد مطالعه در گیاه چغندر قند را می‌توان به‌وسیله مدل رگرسیونی توصیف نمود (جدول ۲).

ضرایب رگرسیون مورد استفاده برای برازش روابط بین صفات چغندر قند به‌عنوان متغیرهای وابسته و تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن به‌عنوان متغیرهای مستقل در جدول ۳ مشاهده می‌شود که برای برازش و ترسیم نمودارها از این ضرایب استفاده گردید (جدول ۳). با توجه به اینکه مقادیر محاسبه شده برای شاخص جذر میانگین مربعات خطا در تمام صفات کمتر از ۱۰ درصد و برای شاخص کارایی مدل بالای ۰/۸۹ بود، می‌توان بیان کرد که مدل برآورد مناسب و

قابل قبولی برای پیش‌بینی صفات مورد مطالعه در گیاه چغندر قند داشت (جدول ۴). در بین صفات، کارایی مصرف نیتروژن و میزان نیتروژن مضره به‌ترتیب کمترین و بالاترین جذر میانگین مربعات خطا را به خود اختصاص دادند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مدل مقدار کارایی مصرف نیتروژن را با خطای کمتر و دقت بیشتر و میزان نیتروژن مضره را با دقت کمتری نسبت به سایر صفات چغندر قند شبیه‌سازی می‌کند (جدول ۴)؛ به‌طوری‌که کارایی مصرف نیتروژن و میزان نیتروژن مضره به‌ترتیب با اختلاف $\pm 3/98$ و $\pm 7/22$ درصد از داده‌های اندازه‌گیری شده توسط مدل شبیه‌سازی شدند (جدول ۴).

داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل و مقایسه رگرسیون برازش داده شده بین آن‌ها با خط ۱:۱ در شکل ۱ نشان داده شده است. نتایج آزمون t مربوط به مقایسه خط رگرسیون برازش

شد. دقت بالای مدل مورد استفاده در طرح مرکب مرکزی در پیش‌بینی صفات سایر گیاهان زراعی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است. کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2014) برای بهینه‌سازی کود نیتروژن، آبیاری و تراکم کاشت در گیاه کلزا از طرح مرکب مرکزی استفاده کردند و دقت بالای مدل را بر اساس شاخص‌های آماری گزارش کردند. منصوری و همکاران (Mansouri et al., 2014) نیز در مطالعه مشابهی بر روی گیاه پیاز گزارش کردند که با استفاده از مدل چندجمله‌ای درجه دوم کامل در طرح مرکب مرکزی می‌توان بیش از ۹۷ درصد از تغییرات صفات مورد بررسی در پیاز را توصیف نمود و به برآورد قابل قبول و معنی‌دار مدل برای پیش‌بینی صفات مربوط به این گیاه اشاره نمودند.

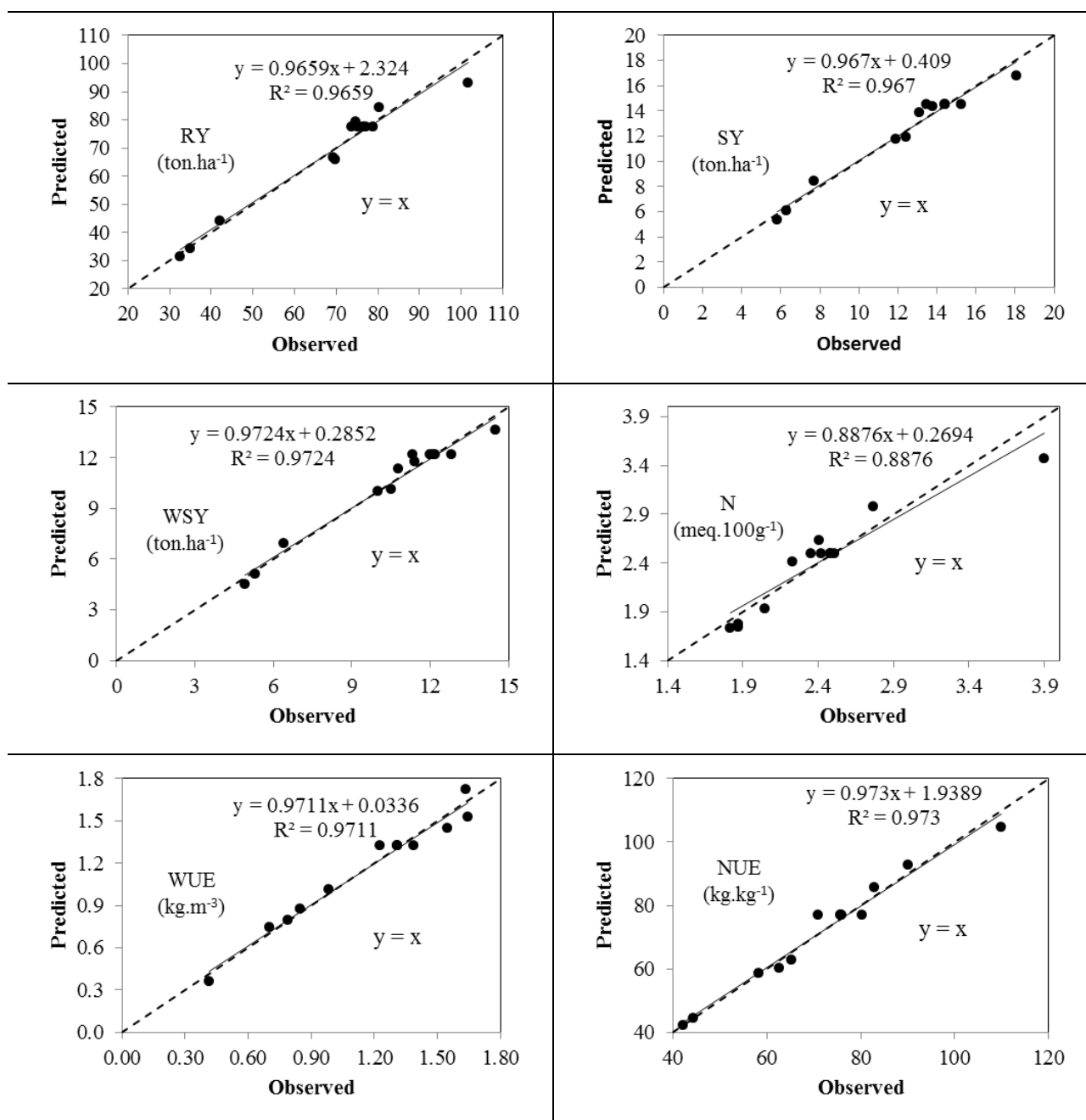
داده شده با خط ۱:۱ نیز نشان داد که در تمام صفات شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون برازشی با خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۵). صفات مورد مطالعه چغندرقد به‌طور کلی، ارزیابی مدل رگرسیونی بر اساس شاخص‌های آماری نشان داد که مدل از توانایی و دقت کافی در پیش‌بینی صفات مورد بررسی گیاه چغندرقد با توجه به تیمارهای آبیاری و کود نیتروژن برخوردار می‌باشد که با توجه به ضریب تبیین بیش از ۹۶ درصد از تغییرات اکثر صفات مورد مطالعه در گیاه چغندرقد را می‌توان به‌وسیله مدل رگرسیونی توصیف نمود و باقی‌مانده تغییرات که در اکثر صفات کمتر از چهار درصد بود به‌عنوان خطای مدل می‌باشد. از این‌رو در بهینه‌سازی مقدار آب و کود نیتروژن با استفاده از روش سطح- پاسخ و طرح مرکب مرکزی از آن استفاده

جدول ۳- ضرایب رگرسیون چند جمله‌ای درجه دو کامل برای متغیرهای وابسته
Table 3- Coefficients of polynomial full quadratic regression for dependent variables.

	$(y_i = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_1^2 + a_4x_2^2 + a_5x_1x_2)$					
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
عملکرد ریشه Root Yield	77.6	0.442	24.5	-11.3	-8.99	1.96
عملکرد شکر Sugar Yield	14.5	-0.050	4.20	-2.68	-1.93	0.300
عملکرد شکر سفید White Sugar Yield	12.2	-0.050	3.35	-2.09	-1.89	0.250
نیتروژن مضره α-amino nitrogen	2.49	-0.098	0.527	-0.662	0.442	-0.077
کارایی مصرف آب Water Use Efficiency	1.32	-0.287	0.394	-0.161	-0.188	-0.069
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen Use Efficiency	76.8	-1.25	-22.9	-15.4	4.81	2.35

جدول ۴- مقادیر RMSE و ME برای صفات مورد مطالعه چغندرقد
Table 4- Values of RMSE and ME for studied traits of sugar beet

	جذر میانگین مربعات خطا RMSE (%)	کارایی مدل ME
عملکرد ریشه Root yield	5.14	0.96
عملکرد شکر Sugar yield	5.13	0.96
عملکرد شکر سفید White sugar yield	4.56	0.97
نیتروژن مضره α-amino nitrogen	7.22	0.89
کارایی مصرف آب Water use efficiency	5.39	0.97
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	3.98	0.97



شکل ۱- داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن و مقایسه خط ۱:۱ (خط ممتد) با رگرسیون برآزش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (خط منقطع)

Fig. 1- Observed and predicted values of RY, SY, WSY, N, WUE and NUE and comparison of the 1:1 line (solid line) against the fitted regression between observed and predicted data (dotted line)

جدول ۵- نتایج تست t برای مقایسه شیب و عرض از مبدأ خط ۱:۱ با معادله رگرسیونی برازش داده شده بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده (شبیه‌سازی شده $b + a =$ مشاهده شده)

Table 5- Results of the t-test for comparing the slop (b) and intercept (a) of the 1:1 line against the fitted linear regression between observed and predicted data (Predicted = a + b × Observed)

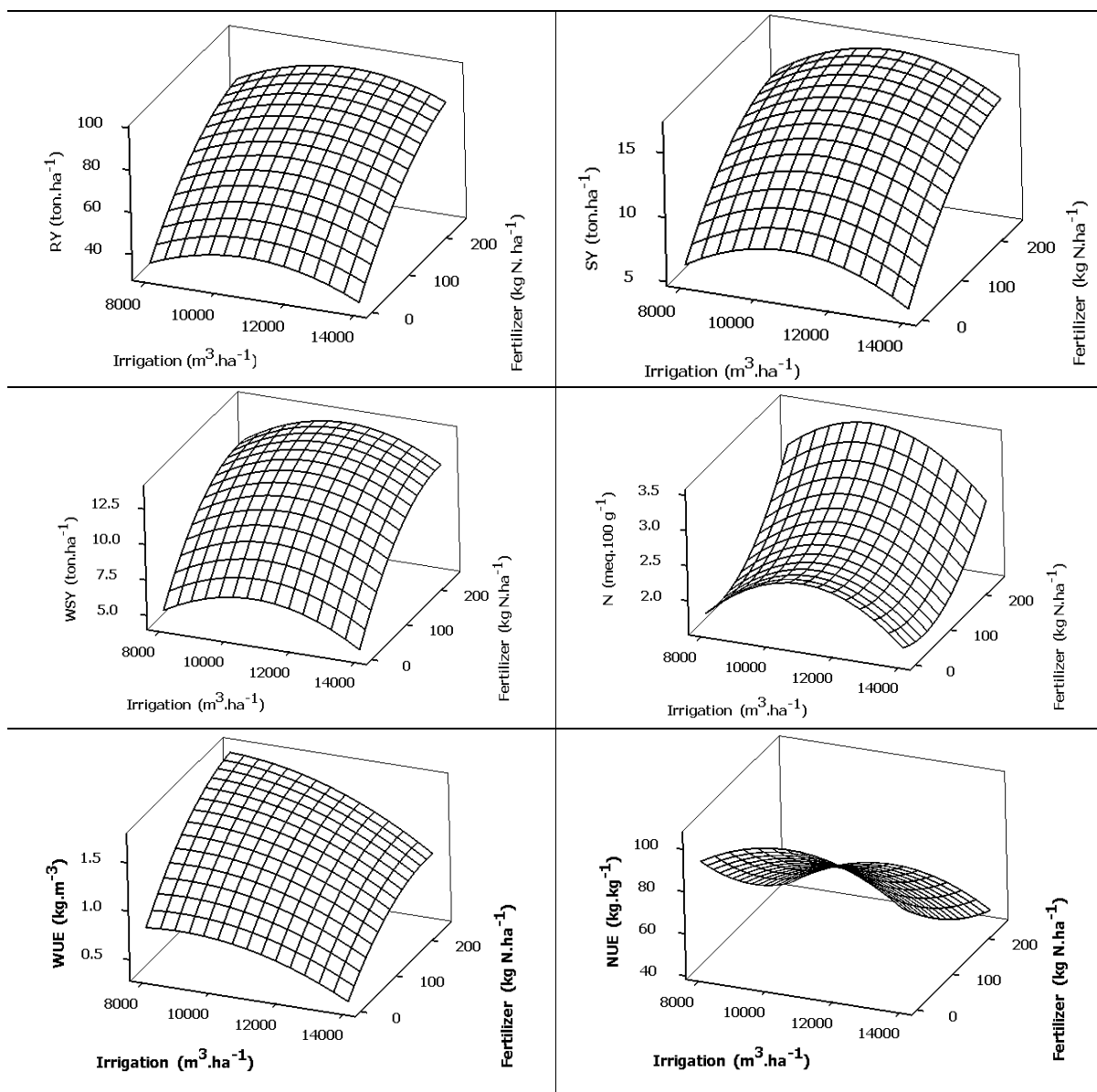
صفت Trait	عرض از مبدأ (a) Intercept (a)		شیب (b) Slope (b)		t		فرض صفر (H0)
	مقدار Value	انحراف معیار SE	مقدار Value	انحراف معیار SE	t _a مقدار t برای عرض از مبدأ	t _b مقدار t برای شیب	(a=0), (b=1)
عملکرد ریشه Root yield	2.32	3.87	0.966	0.055	0.602	0.625	قبول Accepted
عملکرد شکر Sugar yield	0.409	0.693	0.967	0.054	0.600	0.624	قبول Accepted
عملکرد شکر سفید White sugar yield	0.285	0.592	0.972	0.049	0.547	0.563	قبول Accepted
نیتروژن مضره α-amino nitrogen	0.269	0.234	0.887	0.095	1.15	1.17	قبول Accepted
کارایی مصرف آب Water use efficiency	0.034	0.061	0.971	0.050	0.570	0.638	قبول Accepted
کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency	1.94	3.61	0.973	0.049	0.535	0.550	قبول Accepted

SE: Standard Error.

(Hossain & Mohona, 2018) نیز به تغییر نسبت اندام هوایی به ریشه در اثر افزایش مقدار آبیاری اشاره کردند و بیان داشتند که افزایش رژیم آبیاری منجر به افزایش رشد رویشی اندام هوایی شده و کاهش مقدار ریشه را به دنبال دارد.

به طوری که در مقادیر بالای مصرف کود نیتروژن با افزایش مصرف آب، روند افزایش و کاهش عملکرد ریشه با شیب خیلی ملایم و کند همراه بود. منحنی سطح پاسخ میزان نیتروژن مضره تحت تأثیر آبیاری و نیتروژن نشان داد که در کلیه سطوح تیمار آبیاری، با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن (از حدود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) میزان نیتروژن مضره ریشه چغندر قند نیز افزایش یافت. محمدیان (Mohammadian, 2016) نیز در مطالعه خود افزایش میزان نیتروژن مضره در ریشه چغندر قند با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن را گزارش نمود. همچنین با توجه به منحنی در تمام سطوح کودی، میزان نیتروژن موجود در ریشه در کمترین و بیشترین مقدار آبیاری، در حداقل میزان خود قرار داشت.

واکنش صفات مختلف چغندر قند تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژن در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج برازش مدل رگرسیونی نشان داد که منحنی سطح پاسخ عملکرد ریشه، عملکرد شکر و عملکرد شکر سفید به سطوح مختلف متغیرهای مستقل آب و نیتروژن مشابه بود (شکل ۲). نتایج نشان داد که در کلیه سطوح آبیاری با افزایش سطوح کود نیتروژن عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید افزایش یافت. در صورتی که با افزایش آبیاری، در تمامی سطوح کود نیتروژن مقدار عملکرد ابتدا افزایش یافته و سپس روند کاهشی داشت و حالت زنگوله‌ای در نمودار سطح پاسخ مشاهده شد؛ با این وجود روند افزایشی و کاهشی عملکرد ریشه نسبت به عملکرد شکر و شکر سفید کمتر بود. به نظر می‌رسد در سطوح بالای آبیاری به دلیل تغییر نسبت اندام هوایی به ریشه و تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام هوایی و برگ‌ها، عملکرد ریشه کاهش پیدا می‌کند، به عبارتی تخصیص مواد فتوسنتزی بیشتر به برگ‌ها اختصاص پیدا می‌کند تا اینکه به ریشه انتقال یابد و در نتیجه، رشد رویشی برگ‌ها بیشتر شده و کاهش عملکرد ریشه اتفاق می‌افتد. هوساین و موهونا



شکل ۲- سطح پاسخ صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن چغندر قند تحت تأثیر متغیرهای مستقل کود نیتروژن و آبیاری

Fig. 2- Response- surface of sugar beet traits included RY, SY, WSY, N, WUE and NUE affected as independent variables of nitrogen fertilizer and irrigation

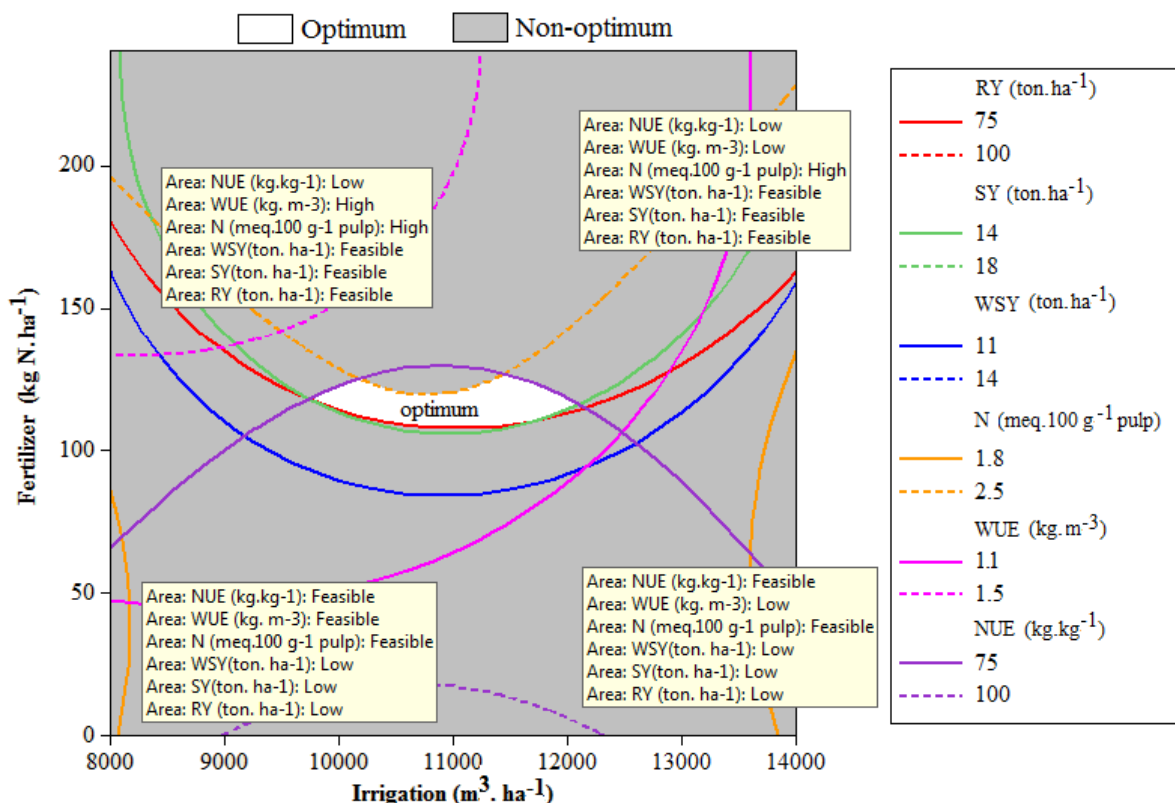
al., 1990)، با توجه به اینکه اثرات متقابل پیچیده‌ای بین میزان آب آبیاری و میزان کود نیتروژن وجود دارد؛ بنابراین، تعیین بهینه مصرف منابع نیتروژن و آب و در نظر گرفتن ترکیب بهینه تیماری آن‌ها ضروری می‌باشد. در کلیه سطوح نیتروژن با افزایش آب مصرفی، کارایی مصرف

زیرا آبیاری زیاد منجر به آبشویی نیتروژن و غیر قابل دسترس کردن این عنصر برای گیاه می‌شود و آبیاری کم و خشکی سطح خاک نیز معدنی شدن نیترات را کاهش می‌دهد؛ بنابراین جذب نیتروژن توسط گیاه در هر دو شرایط (کمترین و بیشترین مقدار آبیاری) کاهش می‌یابد (Mohammadian et al., 2010; Hills et

مقدار آب در مخرج کسر قرار دارد، در نتیجه با افزایش مقدار آبیاری، کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد.

منحنی پاسخ کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر اثر متقابل آبیاری $\times$ کود نیتروژن نیز نشان داد که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن در تمامی سطوح آبیاری میزان کارایی مصرف نیتروژن کاهش می‌یابد؛ با این وجود میزان کاهش کارایی مصرف نیتروژن در مقایسه متوسط مصرف آب (۱۱۰۰۰ - ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار) نسبت به سطوح پایین و بالای مصرف آب کمتر بود (شکل ۲). این نتایج با گزارش‌های سایر مطالعات (Noshad et al., 2012; Mohammadian, 2016; Laufer et al., 2016) مبنی بر کاهش میزان کارایی مصرف نیتروژن با افزایش مصرف کود در گیاه چغندرقتد مطابقت دارد.

آب کاهش نشان داد. همچنین برهم‌کنش کود نیتروژن و آبیاری بر میزان کارایی مصرف آب نشان داد که افزایش کود نیتروژن در تمامی سطوح آبیاری منجر به بهبود کارایی مصرف آب می‌گردد. به‌طوری‌که کمترین مقدار کارایی مصرف آب در کاربرد کمترین مقدار کود نیتروژن و بیشترین سطح آبیاری مشاهده شد و بیشترین کارایی مصرف آب نیز در بالاترین مقدار نیتروژن و پایین‌ترین مقدار آبیاری به‌دست آمد (شکل ۲). حسین‌پور (Hosseinpour, 2008)، توپاک و همکاران (Topak et al., 2011) و مارسی و همکاران (Masri et al., 2015) نیز در پژوهش‌های خود بر روی گیاه چغندرقتد به این نتیجه رسیدند که با افزایش میزان مصرف آب آبیاری از ۵۰ درصد تا ۱۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد. زیرا به همان نسبتی که مقدار آب افزایش پیدا می‌کند به همان نسبت عملکرد افزایش پیدا نمی‌کند و با توجه به اینکه عملکرد در صورت و



شکل ۳- نقشه هم‌پوشانی لایه‌ها برای حد مطلوب متغیرهای وابسته چغندرقتد شامل صفات عملکرد ریشه، عملکرد شکر، عملکرد شکر سفید، نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن

Fig. 3- Overlapped plot of layers for optimum level of dependent variables of sugar beet included RY, SY, WSY, N, WUE, and NUE

دامنه بهینه متغیرهای مستقل آب و کود نیتروژن برای به‌دست آوردن حد مطلوب متغیرهای وابسته با استفاده از روش برهم نهادن جواب‌ها و هم‌پوشانی لایه‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. در این روش حد مطلوب صفات با توجه به داده‌های آزمایش برابر با ۷۵-۱۰۰ تن در هکتار برای عملکرد ریشه چغندر قند، ۱۴-۱۸ تن در هکتار برای عملکرد شکر، ۱۱-۱۴ تن در هکتار برای عملکرد شکر سفید، ۱/۸-۲/۵ میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خمیر برای میزان نیتروژن مضره ریشه، ۱/۱-۱/۵ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب برای کارایی مصرف آب و ۷۵-۱۰۰ کیلوگرم شکر بر کیلوگرم نیتروژن برای کارایی مصرف نیتروژن در نظر گرفته شد و بر این اساس دامنه بهینه تیمارها بعد از لایه‌گذاری جواب‌ها و هم‌پوشانی بین لایه‌ها، به‌ترتیب مصرف ۹۵۰۰ تا ۱۲۰۰۰ مترمکعب در هکتار برای تیمار آبیاری و کاربرد ۱۱۰ تا ۱۳۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای تیمار کود نیتروژن به‌دست آمد (شکل ۳). مقادیر مصرف بالاتر و کمتر از دامنه بهینه مصرف تیمارها منجر به فاصله گرفتن یک یا چند متغیر وابسته از حد مطلوب می‌شود؛ به‌طوری‌که در سطوح پایین آبیاری و کود

نیتروژن (پایین - چپ نمودار) وضعیت سه متغیر نیتروژن مضره، کارایی مصرف نیتروژن و آب در حد مطلوب، ولی سه متغیر عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید پایین‌تر از حد مطلوب برآورد شد. کاربرد مقدار کود نیتروژن بیشتر از دامنه بهینه در سطوح کم آبیاری (بالا - چپ نمودار) منجر به تولید عملکرد ریشه، شکر و عملکرد شکر سفید در حد مطلوب شد، ولی میزان نیتروژن مضره بالاتر از حد مطلوب و کارایی مصرف نیتروژن پایین‌تر از حد مطلوب قرار گرفت. افزایش مقدار آب آبیاری بیش از حد بهینه در سطوح پایین کاربرد کود نیتروژن (پایین - راست نمودار)، کاهش عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید و کارایی مصرف آب را به‌همراه داشت، در صورتی‌که میزان نیتروژن مضره و کارایی مصرف نیتروژن در حد مطلوب بود. در سطوح بالای مصرف آب و کود نیتروژن (بالا - راست نمودار) نیز با وجود اینکه برای متغیرهای عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید حد مطلوب این صفات به‌دست آمد، ولی میزان نیتروژن مضره بیش از حد مطلوب و میزان کارایی مصرف آب و نیتروژن کمتر از حد مطلوب برآورد شد (شکل ۳).

جدول ۶. مقادیر هدف و شبیه‌سازی شده متغیرهای وابسته و مقدار بهینه متغیرهای مستقل در گیاه چغندر قند.

Table 6. Target and simulated values of dependent variables along with optimum values of independent variables in sugar beet.

مقدار بهینه	شبیه‌سازی شده	هدف	
Optimum	Simulated	Target	
-	80.1	80	عملکرد ریشه Root Yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
-	14.94	15	عملکرد شکر Sugar yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
-	12.49	12.5	عملکرد شکر سفید White sugar yield ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$)
-	2.56	2	نیتروژن مضره α -amino nitrogen ($\text{meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$)
-	1.39	1.4	کارایی مصرف آب Water use efficiency ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
-	74.24	80	کارایی مصرف نیتروژن Nitrogen use efficiency ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
10667	-	-	آبیاری Irrigation ($\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)
133	-	-	کود نیتروژن N fertilizer ($\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$)
	0.833		شاخص مطلوبیت (DI)

نتایج بهینه‌سازی تیمارها با استفاده از روش حل عددی نیز در جدول ۶ نشان داده شده است که در این روش کاربرد ۱۳۳ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار به همراه ۱۰۶۶۷ مترمکعب آب به عنوان مقادیر بهینه تیمارها پیشنهاد شد. بر اساس مقادیر بهینه پیشنهادی توسط مدل، میزان عملکرد ریشه، شکر و شکر سفید، میزان نیتروژن مضره، کارایی مصرف آب و نیتروژن به ترتیب معادل ۸۰/۱ تن در هکتار، ۱۴/۹۴ تن در هکتار، ۱۲/۴۹ تن در هکتار در هکتار، ۲/۵۶ میلی اکی‌والان در ۱۰۰ گرم، ۱/۳۹ کیلوگرم شکر بر مترمکعب آب و ۷۴/۲۴ کیلوگرم شکر بر کیلوگرم نیتروژن برآورد شد (جدول ۶). شاخص مطلوبیت بیانگر میزان دقت مدل در تعیین ترکیب تیمارهای مورد بررسی برای دستیابی به عملکرد هدف می‌باشد که مقدار این شاخص هر چقدر به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی مقدار متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل می‌باشد. مقدار شاخص مطلوبیت در روش حل عددی برای تعیین مقدار بهینه تیمارها برابر با ۰/۸۳۳ به دست آمد که بیانگر دقت قابل قبول و مناسب مدل در برآورد مقدار بهینه تیمارها بود (جدول ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج ارزیابی مدل سطح- پاسخ نشان داد که روش سطح- پاسخ و طرح مرکب مرکزی از دقت و توانایی کافی در پیش‌بینی و شبیه‌سازی صفات چغندرقد تحت تأثیر تیمارهای کود نیتروژن و آب برخوردار بود. بر اساس نتایج مدل و با در نظر گرفتن مقادیر هدف برای متغیرهای وابسته (صفات)، مصرف ۱۳۳ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار و ۱۰۶۶۷ مترمکعب آب در هکتار به عنوان تیمارهای بهینه توسط مدل پیشنهاد شد. مقدار مصرف کود نیتروژن با استفاده از طرح آماری فاکتوریل که در منابع مورد استفاده در همدان گزارش شد، معادل مصرف ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با حجم آب ۱۲۹۳۰ مترمکعب در هکتار بود. نتایج نشان داد که مقادیر بهینه

تیمارها در روش سطح- پاسخ کمتر (حدود ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن و تقریباً ۲۰۰۰ مترمکعب آب در هکتار) از مقادیر به دست آمده در منابع پیشنهاد گردید. همچنین بر اساس روش ارائه شده برای تعیین نیاز کود نیتروژن چغندرقد که بر اساس نیتروژن قابل دسترس خاک توصیه می‌شود، مقدار کود نیتروژن برای به دست آوردن ۸۰ تن ریشه در هکتار برابر با ۱۸۲ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به دست آمد. لازم به ذکر است میزان نیتروژن قابل دسترس خاک برابر با ۱۳/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. با توجه به نتایج می‌توان عنوان کرد که مقدار بهینه توصیه شده در روش سطح- پاسخ نسبت به دو روش دیگر پایین می‌باشد؛ بنابراین تعیین مصرف بهینه تیمارها با استفاده از این روش علاوه بر کاهش هزینه تولید، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بیش از حد منابع را نیز به همراه خواهد داشت. علاوه بر این، مقدار بهینه تیمارها در روش سطح- پاسخ با در نظر گرفتن تمام صفات مورد مطالعه توصیه گردید، در حالی که در سایر روش‌ها این امکان برای توصیه مقادیر بهینه تیمارها وجود ندارد. به عبارتی، در طرح فاکتوریل بسته به صفت مورد نظر، تیمار پیشنهادی متفاوت خواهد بود. در روش تعیین کود نیتروژن بر اساس نیتروژن قابل دسترس خاک نیز تنها عملکرد ریشه در هکتار ملاک تعیین کود نیتروژن قرار می‌گیرد.

سپاسگزاری

بودجه این طرح از پروژه مصوب به شماره ۹۷۰۰۳۴-۰۰۱-۰۰۲-۶۳ معاونت پژوهش و فناوری مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه بذر چغندرقد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی تأمین شده است که بدینوسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

- Aslan, N., 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a Multi-gravity Separator for coal cleaning. *Fuel* 86: 769–776.
- Bannayan, M., Mansoori, H., and Eyshi Rezaei, E., 2014. Estimating climate change, CO₂ and technology development effects on wheat yield in northeast Iran. *International Journal of Biometeorology* 58: 395–405.
- Box, G.E.P., and Hunter, J.S., 1957. Multi-factor experimental design for exploring response surfaces. *Annals of Mathematical Statistics* 28:195–241.

- Box, G.E.P., and Wilson, K.B., 1951. On the experimental attainment of optimum conditions. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology) 13: 1–45.
- Hills, F.J., Winter, S.R., and Henderson, D.W., 1990. Sugar beet. In: Stewart, B.A., Nielsen, D.R., (Eds.). Irrigation of Agricultural Crops. pp. 795-810, Madison, Wisconsin, USA.
- Hossain, M., and Mohona, M.J., 2018. Shoot-root traits of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica* L.) as influenced by different irrigation schedules. International Journal of Horticultural Science and Technology 5(1): 11-18.
- Hosseinpour, M., 2008. Water and radiation use efficiency of winter sugar beet affected by nitrogen, irrigation, and growth duration management. Final Report of Sugar Beet Seed Institute. Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Khalilzade, H., Bigonah, R., and Razavi, A.R., 2016. Optimizing of nitrogen, phosphorus and cattle manure fertilizers application in winter wheat production using response-surface methodology (RSM). Iranian Journal of Field Crops Research 13(4): 823-839. (In Persian with English Summary)
- Jahedi, A., Nourozi, A., Hassani, M., and Hamdi, F., 2012. Effect of irrigation methods and nitrogen application on sugar beet yield and quality. Sugar Beet 28(1): 43-53. (In Persian with English Summary)
- Kalavathy, H.M., Regupathi, I., Pillai, M.G., and Miranda, L.R., 2009. Modelling, analysis and optimization of adsorption parameters for H₃PO₄ activated rubber wood sawdust using response surface methodology (RSM). Colloids and Surfaces B: Biointerfaces 70: 35–45.
- Koocheki, A., Nassiri, M., Moradi, R., and Mansouri, H., 2014. Optimizing water, nitrogen, and crop density in canola cultivation using response surface methodology and central composite design. Soil Science and Plant Nutrition 1: 1-13.
- Kwak, J.S., 2005. Application of Taguchi and response surface methodologies for geometric error in surface grinding process. International Journal of Machine Tools and Manufacture 45: 327–34.
- Laufer, D., Nielsen, O., Wilting, P., Koch, H.J., and Märlander, B. 2016. Yield and nitrogen use efficiency of fodder and sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in contrasting environments of Northwestern Europe. European Journal of Agronomy. 73: 124-132.
- Mansouri, H., Bannayan, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian, A., 2014. Management of nitrogen fertilizer, irrigation, and plant density in onion production using response surface methodology as optimization approach. African Journal of Agricultural Research 9(7): 676-687.
- Mansouri, H., Bannayan, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian, A., 2015. Management of nitrogen, irrigation, and planting density in Persian shallot (*Allium hirtifolium*) by using central composite optimizing method. Agricultural Science and Sustainable Production 24(4): 41-60.
- Masri, M.I., Ramadan, B.S.B., El-Shafai, A.M.A., and El-Kady, M.S., 2015. Effect of water stress and fertilization on yield and quality of sugar beet under drip and sprinkler irrigation systems in sandy soil. International Journal of Agriculture Sciences 5(3): 414-425.
- Mirzaei, M.R., and Ghadami, A., 2005. Evaluation of quantity and quality of sugar beet under furrow and tape irrigation systems. Final Report of Sugar Beet Seed Institute. Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mohammadian, R., 2016. Determination of the best plant population and nitrogen amount of sugar beet under tape drip irrigation system. Final Report of Sugar Beet Seed Institute. Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Mohammadian, R., Taleghani, D., and Sadeghzadeh, S., 2010. Effect of different irrigation managements on quantity and quality of sugar beet. Sugar Beet 26(2): 139-156.
- Montgomery, D.C., 2001. Design and Analysis of Experiments, fifth ed., John Wiley & Sons, New York. 734 p.
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G.A., and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. Archives of Agronomy and Soil Science 52: 113-124.
- Noshad, H., Abdollahian-Noghabi, M., and Babaei, B., 2012. Effect of Nitrogen and Phosphorous Application on the Efficiency of Nitrogen Uptake and Consumption in Sugar Beet (*Beta vulgaris* L.). Iranian Journal of Crop Sciences 43(3): 529-539. (In Persian with English Summary)
- Obeng, D.P., Morrell, S., and Napier, T.J.N., 2005. Application of central composite rotatable design to modeling the effect of some operating variables on the performance of the three-product cyclone. International Journal of Mineral Processing 769: 181–92.
- Topak, R., Süheri, S., and Acar, B., 2011. Effect of different drip irrigation regimes on sugar beet (*Beta vulgaris* L.) yield, quality, and water use efficiency in Middle Anatolian, Turkey. Irrigation Science 29(1): 79-89.

- Wenxue, L., Long, L., Jianhao, S., Tianwen, G., Fusuo, Z., Xingguo, B., Peng A., and Tang, C., 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105: 483–491.
- Zulkali, M.M.D., Ahmad, A.L., and Norulakmal, N.H., 2006. *Oryza sativa* L husk as heavy metal adsorbent: optimization with lead as model solution. *Bioresource Technology* 97: 21-25.



Optimization of Nitrogen Fertilizer and Water Consumption in Sugar Beet by using Response–Surface Method

H. Mansouri^{1*}, H. Noshad² and M. Hassani¹

Submitted: 17-03-2019

Accepted: 11-11-2019

Mansouri, H., Noshad H., and Hassani, M., 2021. Optimization of nitrogen fertilizer and water consumption in sugar beet by using response–surface method. Journal of Agroecology 13(1):57-72.

Introduction

With respect to this issue that Iran is located in semi-arid conditions and limited by water resources, so water conservation in agricultural systems plays main role to increase production and determination of water optimum amount is first step to gain this purpose. Nitrogen is one of the main effective factors on quantity and quality of crops. According to the studies, only 40-60% of nitrogen fertilizers is used by crops and this value decreases with increasing of fertilizer application. There is complicated interaction between amount of irrigation water and nitrogen fertilizer, thus it is necessary to consider optimum level of them simultaneously. To obtain acceptable economical yield and reducing environmental pollutions, used inputs in farms should be applied as optimum with respect to expected target. One of the important methods to gain optimum level of inputs is response-surface method. There is no study to investigate usage of this method for inputs optimization in sugar beet. Therefore, the purpose of the study was optimizing of nitrogen fertilizer and irrigation in sugar beet via the response-surface method by using a central composite design.

Material and Methods

We used available data and information from studies which had been accomplished about nitrogen fertilizer and irrigation in Hamedan, Iran to determine optimum levels of these treatments. So needed treatments were designed based on high and low levels of nitrogen fertilizer (0 and 240 kg.ha⁻¹) and irrigation (8000 and 14000 m³.ha⁻¹) by Minitab software ver.16 as central composite design (CCD). CCD is one of the response-surface methods and the number of treatments in this design is calculated by equation of $2^k + 2k + r$, where k is the studied factors and r is number of replication for central point. Number of replication for central point under two factors has been reported as 5, thus for central composite design with two factors, 13 treatments is needed. To fit data, regression equation was used and evaluated based on regression variance analysis. In general, the full quadratic polynomial equation was tested to determine the significance of the model and the components of the model. RMSE, ME, R² indexes, and 1:1 line were used to judge the difference between simulated and observed data.

Results and Discussion

ANOVA results showed that regression model was significant to estimate all dependent variables based on F test. Correlation coefficient of dependent variables including root yield, sugar, and sugar white, water use efficiency and nitrogen use efficiency determined as higher than 96%. It implies that the high proportion of the variability for these traits was explained by the fitted regression model. According to the lower values of RMSE than 10 and higher values of ME than 0.89, it could be concluded that the model had acceptable and suitable results to estimate studied traits in sugar beet. The results of t-test to compare fitted regression with line 1:1 illustrated that slope and intercept values in fitted and 1:1 line had no significant difference. The results showed that root, sugar and white sugar yield were increased by increasing nitrogen fertilizer under all levels of irrigation. Response-surface curve of α -amino

1- Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran.

2- Assistant Professor, Sugar Beet Seed Institute, AREEO, Karaj, Iran.

(*- Corresponding Author Email: h.mansori@areeo.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v13i1.79767

nitrogen as affected by irrigation and nitrogen fertilizer indicated that α -amino was elevated by increasing nitrogen fertilizer application. As data, water use efficiency decreased by water consumption. In the other hand, nitrogen use efficiency was decreased by applying nitrogen fertilizer under all levels of irrigation. Optimum range of treatments were obtained as 9500-12000 m³.ha⁻¹ for irrigation and 110-130 kg.ha⁻¹ for nitrogen fertilizer treatment based on overlaid plot method. The results of treatments optimization by using analytical solution method illustrated that applying 133 kg.ha⁻¹ and 10667 m³.ha⁻¹ were suggested as optimum amounts of treatments. Based on these optimum levels of treatments, root yield, sugar and white sugar yield, α -amino, water use efficiency and nitrogen use efficiency were estimated as 80.1 t.ha⁻¹, 14.94 t.ha⁻¹, 12.49 t.ha⁻¹, 2.56 meq.100 g⁻¹, 1.39 kg sugar.m⁻³ and 74.24 kg sugar. kg⁻¹, respectively.

Conclusion

As result, to optimize treatments including nitrogen fertilizer and irrigation, response-surface method had acceptable adequate to predict variables in sugar beet based on statistical indexes. Optimum value of nitrogen fertilizer and irrigation were predicted as 133 kg.ha⁻¹ and 10667 m³.ha⁻¹, respectively by using analytical solution. Therefore, the results indicate that the application of optimum values can reduce environmental hazards and produced acceptable sugar yield.

Keywords: Central Composite Design, Optimum Treatment, Sugar Yield, Water Use Efficiency, Nitrogen Use Efficiency



مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر کودهای بیولوژیک، شیمیایی و اسید هیومیک بر برخی پارامترهای میکروبی و عناصر خاک، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria*. L)

پریا بویری ده‌شیخ^۱، محمد محمودی سورستانی^{۲*}، مریم ذوالفقاری^۳ و نعیمه عنایتی ضمیر^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۴

بویری ده‌شیخ، پ.، محمودی سورستانی، م.، ذوالفقاری، م.، و عنایتی ضمیر، ن.، ۱۴۰۰. تأثیر کودهای بیولوژیک، شیمیایی و اسید هیومیک بر برخی پارامترهای میکروبی و عناصر خاک، کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria*. L). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۷۳-۸۸.

چکیده

به‌منظور مطالعه اثر کودهای بیولوژیک، شیمیایی و اسید هیومیک بر میزان تنفس و زیست‌توده میکروبی خاک، میزان ماده آلی خاک، میزان عناصر نیتروژن و فسفر برگ و کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria*. L)، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فاکتور اول تیمارهای کودی در پنج سطح (شاهد، ازتوبارور-۱، فسفات بارور-۲، تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، کود شیمیایی شامل کود اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم کود سوپر فسفات تریپل و فاکتور دوم اسید هیومیک در دو سطح (۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) بودند. صفات مورد مطالعه در این پژوهش شامل میزان تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی خاک، ماده آلی خاک، مقادیر نیتروژن و فسفر برگ، تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس و میزان، عملکرد و اجزای اسانس بودند. با توجه به نتایج حاصل، بیشترین مقادیر تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی خاک مربوط به تیمار تلفیق کودهای بیولوژیک و بیشترین میزان ماده آلی خاک نیز مربوط به تیمار کاربرد کود شیمیایی + اسید هیومیک بود. بیشترین میزان عناصر نیتروژن و فسفر برگ، به‌ترتیب در تیمارهای کود شیمیایی و فسفات بارور-۲ به‌دست آمد. تیمار تلفیق کودهای بیولوژیک بیشترین تعداد کرک‌های ترشحی در سطوح فوقانی و تحتانی برگ را به خود اختصاص داد و بزرگ‌ترین کرک‌های ترشحی در سطح فوقانی و تحتانی برگ نیز در تیمار کود فسفات بارور-۲ مشاهده شد که با تیمارهای تلفیق کودهای بیولوژیک و کود شیمیایی تفاوت معنی‌داری نداشت. حداکثر میزان و عملکرد اسانس به‌ترتیب در تیمارهای فسفات بارور-۲ و تلفیق دو نوع کود بیولوژیک مشاهده شد. ترکیبات اصلی و غالب شناسایی شده در اسانس شامل ایزومرهای نپتالاکتون، کاربوفیلین اکساید، ترانس کاربوفیلین و ای-ای-فارنسن بود و تیمارهای به‌کار رفته سبب تغییر در میزان آن‌ها گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، کاربرد تلفیقی کودهای بیولوژیک تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات به‌جای کودهای شیمیایی توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: ازتوبارور-۱، فسفات بارور-۲، فسفر، کرک ترشحی، نپتالاکتون، نیتروژن

گیاه دارویی نعنای گربه‌ای معطر با نام علمی *Nepeta cataria*

مقدمه

L. گیاهی علفی و چندساله متعلق به خانواده نعنائیان می‌باشد. این گیاه دارای خصوصیات دارویی مانند آرام‌بخش، معرق، مسکن، ضد تشنج و دافع حشرات است و در صنایع مختلفی نظیر داروسازی، آرایشی بهداشتی و ساخت آفت‌کش‌های زیستی کاربرد فراوان دارد (Tucker & Tucker, 1988). اندام‌های رویشی و گل‌های گیاه نعنای گربه‌ای حاوی ۸۹/۰ درصد اسانس می‌باشد که از جمله ترکیبات غالب شناسایی شده در اسانس آن می‌توان به ایزومرهای مختلفی از

- ۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد گیاهان دارویی، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- ۲ و ۳- دانشیار و استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- ۴- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir
Doi: 10.22067/jag.v13i1.79970

نپتالاکتون مانند ۴-آ-آلفا، ۷-آلفا، ۷-آ-آلفا، نپتالاکتون، ۴-آ-آلفا، ۷-آلفا، ۷-آ-آلفا، نپتالاکتون، بتا کاربوفیلن، کاربوفیلن اکساید و بتا پینن اشاره نمود (Suschke et al., 2006).

بهبود و حاصلخیزی خاک به دلیل تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه و کمک به افزایش عملکرد آن از اهمیت ویژه‌ای در کشت‌وکار گیاهان دارویی برخوردار است. اغلب خاک‌ها به دلیل کمبود ماده آلی و آب‌شویی زیاد، دچار کمبود برخی عناصر غذایی همچون نیتروژن هستند. بخش اعظمی از عنصر فسفر نیز به فرم نامحلول و غیر قابل استفاده برای گیاه (سنگ‌های فسفات) در خاک وجود دارد و این امر سبب شده تا مصرف کودهای شیمیایی جهت فائق آمدن بر مشکلات فوق و تأمین نیازهای گیاه روند رو به افزایش داشته باشد. افزایش مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی در کشاورزی سبب بروز مشکلات زیست‌محیطی بسیار زیاد در دهه‌های اخیر گردیده است (Sharma, 2002). کشاورزی پایدار بر پایه مصرف کودهای بیولوژیک و آلی با هدف حذف یا تقلیل چشمگیر مصرف کودهای شیمیایی، یک راه حل مطلوب برای غلبه بر این مشکلات به‌شمار می‌آید. کود بیولوژیک از توبرور-۱ حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن/ازتوباکتر ویلندی (*Azotobacter vinlandii*) است. این باکتری، همیار با ریشه گیاه و فاقد اندام هم‌زیستی خاص است و نیتروژن موجود در اتمسفر را که به‌طور مستقیم برای گیاهان قابل استفاده نمی‌باشد، احیا کرده و به‌صورت آمونیوم در اختیار گیاه قرار می‌دهد، همچنین این باکتری با ترشح مواد محرک رشد باعث افزایش رشد گیاه گردیده و انرژی مورد نیاز برای این فرآیند را از ترشحات ریشه گیاه دریافت می‌کند. کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ نیز حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات سودوموناس پوتیدا (*Pseudomonas putida*) و پانتوا آگلومرانس (*Pantoea agglomerans*) می‌باشد. این باکتری‌ها با مکانیسم‌هایی نظیر تولید و ترشح اسیدهای آلی به‌ویژه اسید اگزالیک و اسید سیتریک، در حالیت فسفات‌های معدنی کم‌محلول و با تولید آنزیم‌های فسفاتاز در آزاد شدن فسفر از ترکیبات آلی فسفره نقش مهمی ایفا می‌کنند (Amoaghaei & Mostageran, 2008).

اسید هیومیک از جمله انواع مواد آلی می‌باشد که در کشت و تولید گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده ضمن اصلاح ساختمان فیزیکی خاک، از طریق کلات کردن عناصر غذایی ضروری گیاه از جمله نیتروژن و آزادسازی عنصر فسفر از کانی‌های کم‌محلول و نامحلول آن، می‌تواند عناصر مورد نیاز گیاه را در اختیار آن قرار دهد (Chen & Ariad, 1990). تاکنون پژوهش‌های متعددی به بررسی تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و یا اسید هیومیک بر میزان جذب

عناصر در گیاه پرداخته‌اند. کابلی فرشچی و همکاران (Kaboli Farshchi et al., 2015) در پژوهشی بر روی گیاه دارویی گل راعی (*Hypericum perforatum*) گزارش نمودند که کاربرد اسید هیومیک به‌میزان ۴۰ لیتر در هکتار مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در برگ گل راعی به‌طور معنی‌داری افزایش داد. همچنین کاربرد کودهای بیولوژیک در گیاه دارویی گل همیشه بهار بر میزان نیتروژن و فسفر موجود در برگ تأثیر معنی‌داری داشته است (Hosseinizadah et al., 2011). در تحقیقی که توسط پورهادی (Pourhadi, 2011) بر روی گیاه دارویی نعنای فلفلی (*Mentha piperita* L.) صورت گرفت، میزان منتول و منتون موجود در اسانس در پاسخ به کاربرد کودهای بیولوژیک تثبیت‌کننده نیتروژن و فسفر و سوپرنیتروپلاس افزایش یافت. در گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) نیز کاربرد جداگانه و تلفیقی کودهای بیولوژیک محتوی باکتری‌های آزوسپیریلیوم و سودوموناس و همچنین ازتوباکتر منجر به افزایش تیمول و گاما-ترینین موجود در اسانس این گیاه گردید (Faraji Mehmani et al., 2015). کاربرد اسید هیومیک با غلظت ۰/۴ میلی گرم بر لیتر در گیاه دارویی نعنای فلفلی و غلظت ۱/۵ در هزار در گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) سبب افزایش معنی‌دار درصد و عملکرد اسانس آن‌ها گردید. (Farahani & Maddani, 2014; Gohary et al., 2014).

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر این دسته از کودها بر میزان شاخص‌های بیولوژیک و ماده آلی خاک، عناصر نیتروژن و فسفر برگ، تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس و کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۰ تیمار و سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۹۴-۱۳۹۳ اجرا شد. فاکتور اول شامل تیمارهای کودی در پنج سطح (شاهد، ازتوبارور-۱، فسفات بارور-۲، تلفیق دو نوع کود بیولوژیک مذکور، کود شیمیایی) و فاکتور دوم شامل اسید هیومیک در دو سطح (۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار) بود. قبل از کشت گیاه در زمین اصلی، نمونه‌ای مرکب از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک تهیه گردید (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک مزرعه تحقیقاتی (عمق ۳۰ - ۰ سانتی متری)

Table1- Physical and chemical characteristics of research farm (0-30 cm).

روزی Absorbable Zn (mg.kg ⁻¹)	مس Absorbable Cu (mg.kg ⁻¹)	آهن Absorbable Fe (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم Absorbable K (mg.kg ⁻¹)	فسفر Absorbable P (mg.kg ⁻¹)	نیتروژن کل Total N (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته pH	بافت خاک Soil texture
13.06	3.70	20.66	216	16.1	0.03	0.48	1.26	7.2	شنی-لومی Sandy-Loamy

اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری شاخص‌های بیولوژیکی خاک (تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی) نمونه‌برداری خاک در مرحله برداشت گیاه، از خاک مرطوب ناحیه اطراف ریشه صورت گرفت. جهت اندازه‌گیری تنفس میکروبی خاک از روش تیتراسیون برگشتی با سود و کربن زیست‌توده میکروبی خاک از روش تدخین-استخراج استفاده گردید (Anderson, 2003; Barajas Aceves, 2005). جهت اندازه‌گیری میزان ماده آلی خاک نیز نمونه‌برداری از خاک مرطوب ناحیه اطراف ریشه گیاه انجام و میزان آن به‌روش والکی و بلاک (Walkly & Black, 1934) اندازه‌گیری شد. به‌منظور اندازه‌گیری میزان عناصر نیتروژن و فسفر برگ، نمونه‌گیری در ابتدای مرحله گل‌دهی، به‌صورت تصادفی و از برگ‌های بالغ (جفت برگ سوم و چهارم) موجود در هر واحد آزمایشی صورت گرفت. میزان عنصر نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال مدل Kjeltac Auto1030 Analyser و میزان عنصر فسفر با استفاده از روش هضم خشک اندازه‌گیری شد (Johnson & Wilrinson, 1992; Bingham & Bartels, 1996). جهت ارزیابی تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس، نمونه‌گیری به‌صورت تصادفی و از برگ‌های بالغ و توسعه‌یافته جفت سوم و چهارم گیاه انجام و پس از شست‌وشو و خشک شدن، تا زمان اندازه‌گیری صفات مورد نظر در محلول محتوی اتانول ۷۰ درصد، فرمالدهید و اسید استیک (با نسبت ۱۷:۲:۱) تثبیت شدند. پس از آن، تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس سطح فوقانی و تحتانی برگ با استفاده از دستگاه بینوکولار Olympus مدل SZX7 با بزرگ‌نمایی X20 اندازه‌گیری شد. بدین منظور، ابتدا لایه نازکی از اپیدرم برگ جدا و نمونه‌ای با مساحت یک میلی‌متر مربع تهیه گردید. سپس تعداد کرک‌های ترشحاتی در مساحت مذکور شمارش و اندازه آن‌ها با استفاده از عدسی چشمی مدرج

بذر گیاه از پژوهشکده گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه و در آبان ماه در خزانه کشت و نشاهای حاصل در مرحله شش تا هشت برگی در اسفندماه به زمین اصلی انتقال داده شدند. زمین اصلی به‌صورت جوی و پشته در قالب واحد آزمایشی ۲ × ۲ متر آماده گردید. کود شیمیایی اوره به‌میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار و در دو مرحله (۵۰ درصد در زمان آماده‌سازی زمین و ۵۰ درصد بعد از استقرار نشاء) و کود سوپر فسفات تریپل به‌میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در زمان آماده‌سازی زمین به‌صورت نواری با فاصله پنج سانتی‌متر از بوته به کرت‌های مربوط به تیمار کود شیمیایی اعمال شد. کودهای بیولوژیک از توبرور-۱ (حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن) و فسفات بارور-۲ (حاوی باکتری‌های حل‌کننده فسفات) و اسید هیومیک از شرکت زیست‌فناور سبز تهیه گردید. هر بسته کودی شامل ۱۰^۸ CFU/g باکتری زنده و فعال بود. کودهای بیولوژیک مذکور در دو مرحله (در زمان انتقال نشاها و دو هفته پس از کاشت در زمین اصلی) اعمال شدند. در زمان کاشت در زمین اصلی ریشه‌های نشاء با کودهای بیولوژیک از توبرور-۱ و فسفات بارور-۲ با نسبت‌های مشخص (۱۰۰ گرم در هکتار) و بر اساس دستورالعمل توصیه شده تلقیح شدند. اسید هیومیک نیز به‌میزان ۲۰ کیلوگرم در هکتار و در دو مرحله (در زمان کاشت نشاء و دو هفته بعد از استقرار نشاها) اعمال شد. این ترکیب در مرحله اول به‌صورت پودری با فاصله پنج سانتی‌متر از بوته و در مرحله دوم همراه با آب آبیاری در اختیار گیاه قرار گرفت. جهت جلوگیری از اختلاط تیمارها آبیاری به‌صورت سیفونی انجام و علف‌های هرز در طی دوره رشد به‌صورت دستی کنترل شد. صفات میزان عناصر نیتروژن و فسفر برگ در ابتدای مرحله گل‌دهی و شاخص‌های بیولوژیکی و ماده آلی خاک و همچنین تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس و کمیت و کیفیت اسانس در مرحله تمام‌گل

تعیین شد. داده‌های آزمایش توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ آنالیز شد و جهت مقایسه میانگین آن‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید.

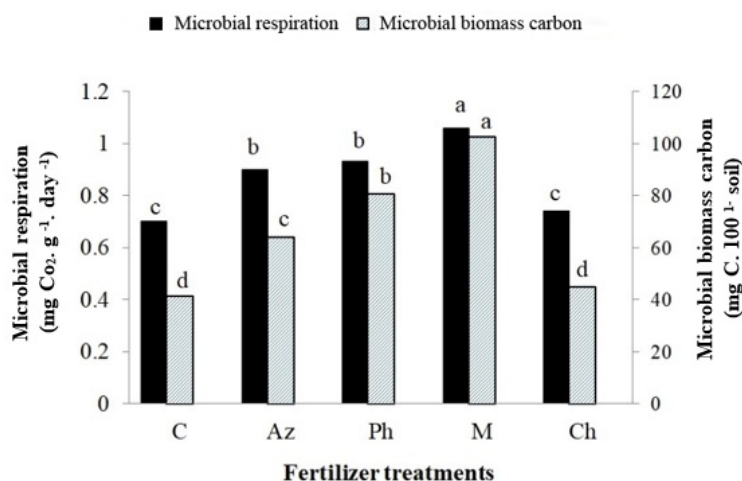
نتایج و بحث

تنفس میکروبی و کربن زیست‌توده میکروبی خاک

بیشترین میزان تنفس میکروبی خاک در تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک (۱/۰۶ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) مشاهده گردید که در قیاس با کاربرد جداگانه کودهای بیولوژیک، تیمار کود شیمیایی و شاهد دارای تفاوت معنی‌دار بود (شکل ۱). پس از آن، به‌ترتیب تیمارهای فسفات بارور-۲ (۰/۹۳ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز)، ازتوبارور-۱ (۰/۹۰ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز)، کود شیمیایی (۰/۷۴ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) و شاهد (۰/۷۰ میلی گرم دی‌اکسید کربن بر گرم خاک در روز) در جایگاه‌های بعدی قرارداشتند. گرچه میزان این صفت در تیمارهای ازتوبارور-۱ و فسفات بارور-۲ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت، اما اعمال تیمارهای فوق سبب افزایش قابل توجه تنفس میکروبی خاک در مقایسه با تیمار کود شیمیایی و شاهد گردید. در ارتباط با میزان کربن زیست‌توده میکروبی خاک، تیمار تلفیق کودهای بیولوژیک بیشترین میزان این صفت (۱۰۲/۶۸ میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک) را به خود اختصاص داد که دارای برتری معنی‌داری نسبت به کاربرد جداگانه ازتوبارور-۱ (۶۴/۲۲ میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک) و فسفات بارور-۲ (۸۰/۵۵ میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک)، کود شیمیایی (۴۵ میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک) و شاهد (۴۱/۵۸ میلی گرم کربن در ۱۰۰ گرم خاک) بود (شکل ۱).

صفات تنفس و کربن زیست‌توده میکروبی از جمله شاخص‌های بیولوژیک خاک به‌شمار می‌آیند و بالا بودن این دو شاخص در خاک دلالت بر استقرار و زنده بودن میکروارگانیسم‌های آن و فعالیت و پویایی جامعه میکروبی خاک دارد. با توجه به این امر، چنین به نظر می‌رسد که در تحقیق حاضر، باکتری‌های موجود در کودهای بیولوژیک توانسته‌اند به‌خوبی با محیط جدید سازگار شده و با استقرار موفق در آن به تکثیر و فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهند.

تخمین زده شد. جهت اندازه‌گیری میزان اسانس، گیاهان در مرحله تمام‌گل برداشت و در دمای حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و سایه خشک گردید. استخراج اسانس به‌روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر و در مدت زمان سه ساعت بر اساس فارماکوپه اروپا انجام شد (Maisonneuve, 1975). درصد اسانس به‌صورت وزنی- وزنی بر اساس وزن خشک محاسبه شد. سپس نمونه‌های اسانس توسط سولفات سدیم آب‌گیری و تا زمان انجام آنالیز اجزای آن‌ها در دمای چهار درجه سانتی‌گراد و تاریکی نگهداری شدند. جهت برآورد عملکرد اسانس برحسب گرم در مترمربع، برگ‌ها و گل‌های گیاهان موجود در مساحت یک مترمربع از هر واحد آزمایشی جدا و توزین گردید و عملکرد اسانس، از حاصل ضرب مقدار اسانس در عملکرد بیولوژیک تقسیم بر ۱۰۰ به‌دست آمد. به‌منظور شناسایی و تعیین مقادیر اجزای اسانس، به‌ترتیب از دستگاه‌های کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) و کروماتوگرافی گازی (GC) استفاده گردید. دستگاه گاز کروماتوگراف متصل به طیف‌سنج جرمی مورد استفاده از نوع Agilent مدل ۵۹۷۵، مجهز به ستون HP-5 ms به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر با ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر و سرعت جریان گاز حامل هلیوم ۱/۵ میلی‌لیتر در دقیقه بود. برنامه دمایی ستون از ۴۰ درجه سانتی‌گراد شروع شد. دمای ستون به‌مدت یک دقیقه در این دما متوقف و سپس به‌تدریج با سرعت پنج درجه در دقیقه افزایش یافت و پس از گذشت ۱۱ دقیقه به دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رسید. دمای محفظه تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۸۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود. شناسایی طیف ترکیبات اسانس به‌کمک بانک اطلاعات جرمی، زمان بازداری، محاسبه شاخص کواتس، بررسی طیف‌های جرمی هر یک از اجزای اسانس و الگوهای شکست آن‌ها، مقایسه با طیف‌های استاندارد و استفاده از منابع معتبر صورت گرفت (Adams, 2007). جهت تعیین درصد نسبی هر یک از ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس، از دستگاه گاز کروماتوگرافی مدل Varian 3800 مجهز به آشکارساز FID و ستون CP-Sil-CB به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۳۲ میلی‌متر با ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. برنامه دمایی مشابه برنامه استفاده شده در کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی بود. در نهایت، درصد نسبی اجزای اسانس با توجه به سطح زیر منحنی پیک‌های هر یک از ترکیبات اسانس در کروماتوگرام GC به‌روش نرمال کردن سطح زیر منحنی و مقایسه آن با سطح کل زیر منحنی،



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر میزان تنفس میکروبی و کربن زیست توده میکروبی خاک
Fig. 1- Mean comparisons for the effect of fertilizer treatments on the soil microbial respiration and biomass carbon

حروف متفاوت، نشان دهنده اختلاف معنی دار آماری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون دانکن است.
 The bars with different letter are significantly difference at 0.05 probability levels according to Duncan's test.

C: شاهد، Az: ازتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی
 C: Control, H: Humic acid, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer

ماده آلی خاک

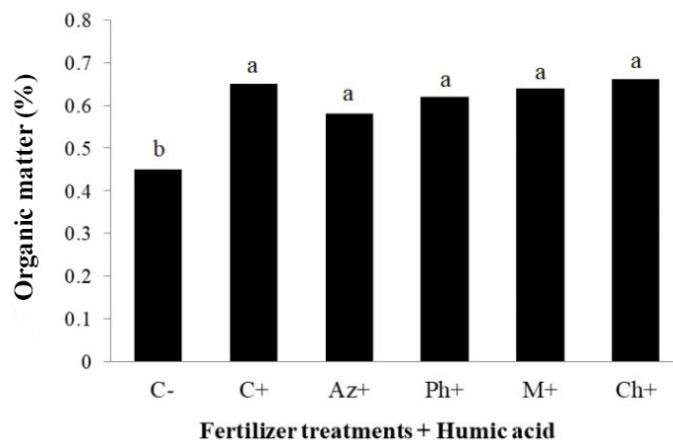
بررسی مقایسه میانگین صفت فوق حاکی از افزایش معنی دار میزان این صفت در نتیجه کاربرد همزمان اسید هیومیک و تیمارهای کودی بود و این امر در حالی است که میان تیمارهای فوق اختلاف آماری معنی داری مشاهده نشد (شکل ۲). حداکثر میزان ماده آلی خاک، در کاربرد تیمارهای کود شیمیایی همراه با اسید هیومیک (۰/۶۶ درصد) و اسید هیومیک (۰/۶۵ درصد) به دست آمد و شاهد کمترین میزان ماده آلی خاک (۰/۴۵ درصد) را به خود اختصاص داد. ماده آلی خاک از جمله شاخص های مهم خاک محسوب می شود که میزان بالای آن در خاک بیانگر حاصلخیزی آن می باشد. اسید هیومیک در نتیجه تجزیه مواد آلی خاک به ویژه با منشأ گیاهی به وجود می آید و با توجه به نتایج تحقیق حاضر، به نظر می رسد افزودن این ترکیب به خاک سبب افزایش میزان ماده آلی خاک شده است. مقایسه میزان ماده آلی خاک در کاربرد توأم اسید هیومیک و کودهای بیولوژیک نشان می دهد علی رغم پایین تر بودن میزان صفت فوق در این تیمارها نسبت به تیمار کود شیمیایی، کاربرد همزمان دو عامل فوق سبب افزایش نسبی میزان ماده آلی خاک در مقایسه با

شاهد گردیده است.

از آنجا که ریزجانداران خاک از مواد آلی موجود در خاک به عنوان منبع انرژی استفاده می کنند، علت پایین تر بودن ماده آلی خاک در کاربرد توأم اسید هیومیک و کودهای بیولوژیک و عدم وجود تفاوت معنی دار میان این تیمارها نیز می تواند استفاده بخشی از اسید هیومیک توسط باکتری های موجود در کودهای بیولوژیک به عنوان منبع انرژی باشد (Tikhonov et al., 2010).

میزان عناصر نیتروژن و فسفر برگ

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده ها، اعمال تیمارهای کودی سبب افزایش معنی دار غلظت عنصر نیتروژن در برگ نسبت به شاهد گردید (جدول ۲). حداکثر میزان این عنصر در نتیجه کاربرد تیمار کود شیمیایی (۳/۱۶ درصد) به دست آمد که افزایش آن در قیاس با سایر تیمارها معنی دار بود.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر کاربردی تلفیق تیمارهای کودی و اسید هیومیک بر میزان ماده آلی خاک

Fig. 2- Mean comparisons for the effect of simultaneous application of fertilizer treatments and humic acid on soil organic matter

حروف متفاوت، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار آماری در سطح پنج درصد است

The bars with different letter are significantly difference at 0.05 probability levels according to Duncan's test

C: شاهد، Az: ازتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی، (+): کاربرد اسید هیومیک

C: Control, H: Humic acid, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer, (+): Application of humic acid

حسین‌زاده و همکاران (Hosseinzadah et al., 2011) با هدف بررسی تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک بر میزان جذب عناصر نیتروژن و فسفر گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) انجام شد، مشخص گردید کاربرد تلفیق کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (*ازتوباکتر*) و حل‌کننده فسفر (سودوموناس) سبب افزایش معنی‌دار حدود ۵۰ درصدی در میزان این عناصر در گیاه گردید. نیتروژن و فسفر از جمله عناصر ضروری و پر مصرف در گیاهان به‌شمار می‌آیند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین نتیجه گرفت کاربرد باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (*ازتوباکتر وینلندی*) در تحقیق حاضر توانسته است با افزایش تثبیت نیتروژن مولکولی هوا سبب افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه گردد. از سوی دیگر، با توجه به اثر مثبت کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ بر میزان عنصر فسفر در گیاه نعنای گربه‌ای به نظر می‌رسد باکتری‌های حل‌کننده فسفر (سودوموناس پوتیلیا و پانتوآ آگلومرانس) موجود در این کود نیز توانسته‌اند با انحلال فسفات‌های کم‌محلول و نامحلول موجود در خاک، میزان این عنصر در خاک و در نهایت، جذب آن توسط گیاه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهند.

پس از آن، تلقیح گیاه با کود بیولوژیک ازتوبارور-۱ (۲/۷۵ درصد)، تلفیق دو نوع کود بیولوژیک (۲/۷۰ درصد) و فسفات بارور-۲ (۲/۴۶) دارای بیشترین میزان نیتروژن برگ بودند و کمترین میزان این عنصر نیز در شاهد (۲/۳۱ درصد) مشاهده شد. بررسی میزان عنصر فسفر برگ در تیمارهای اعمال شده نیز نشان داد گیاهان تلقیح شده با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (کود بیولوژیک فسفات بارور-۲) دارای بالاترین میزان این عنصر (۰/۵۳ درصد) نسبت به سایر تیمارها بودند، اما این تیمار تفاوت آماری معنی‌داری با تیمارهای تلفیق کودهای بیولوژیک (۰/۴۹ درصد) و کود شیمیایی (۰/۴۸ درصد) نداشت (جدول ۲). کمترین میزان عنصر مذکور نیز به‌ترتیب در تیمارهای ازتوبارور-۱ (۰/۳۳ درصد) و شاهد (۰/۲۹ درصد) مشاهده شد. در پژوهشی دیگر، بخشنده لریمی و همکاران (Bakhshandeh Larimi et al., 2014) با بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) گزارش نمودند کاربرد کودهای بیولوژیک حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن (*ازتوباکتر* و *آزوسپیریلیوم*) میزان جذب این عنصر در گیاه را به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش داد. علاوه‌براین در مطالعه‌ای مشابه که توسط

تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۲)، سطح فوقانی برگ در تیمار تلفیق کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس ($1/30$ عدد در هر میلی‌مترمربع) بود. تیمار فوق میزان این صفت را حدود $1/5$ برابر نسبت به شاهد افزایش داد. پس از آن، بیشترین تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس در سطح فوقانی برگ مربوط به تیمارهای کود شیمیایی ($1/16$ عدد در میلی‌مترمربع)، ازتوبارور-۱ ($1/14$ عدد در میلی‌مترمربع) و فسفات بارور-۲ ($0/99$ عدد در میلی‌مترمربع) بود و کمترین میزان آن به شاهد ($0/88$ عدد در میلی‌مترمربع) تعلق داشت. بررسی تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس در سطح تحتانی برگ نیز نشان داد تلفیق گیاه با تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، این صفت را به حداکثر میزان خود ($6/26$ عدد در میلی‌مترمربع) در مقایسه با سایر تیمارها رساند. پس از تیمار فوق، تیمار کود شیمیایی، کودهای بیولوژیک ازتوبارور-۱ و فسفات بارور-۲ دارای بیشترین تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس در سطح تحتانی برگ بودند. کمترین میزان صفت فوق در شاهد ($4/21$ عدد در میلی‌مترمربع) ثبت گردید.

بزرگ‌ترین کرک‌های ترشح‌کننده اسانس در سطوح فوقانی ($200/76$ میکرومترمربع) و تحتانی برگ ($206/53$ میکرومترمربع) در تیمار فسفات بارور-۲ به‌دست آمد و کوچک‌ترین آن‌ها مربوط به شاهد ($177/21$ و $186/27$ میکرومترمربع) بود (جدول ۲). صفات فوق در تیمار فسفات بارور-۲ تفاوت معنی‌داری با تیمارهای کود شیمیایی ($193/08$ و $204/38$ میکرومترمربع) و تلفیق کودهای بیولوژیک ($194/80$ و $201/60$ میکرومترمربع) نداشت، اما کاربرد این تیمار سبب افزایش معنی‌دار اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس سطوح فوقانی و تحتانی برگ نسبت به سایر تیمارهای کودی گردید. تاکنون تحقیقی درباره تأثیر کاربرد کودهای بیولوژیک و اسید هیومیک بر تعداد و اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس نعنای صورت نگرفته است. گیاهان دارویی دارای اندام‌های مختلف جهت تولید و ذخیره متابولیت‌های ثانویه هستند و کرک‌های ترشحی محل تولید و تجمع اسانس در گیاهان اسانس‌دار می‌باشند. عنصر نیتروژن به‌دلیل شرکت در ساختار اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها دارای نقش مهم در فرآیند تقسیم و توسعه سلولی، افزایش رشد رویشی گیاه و سطح برگ و در نهایت، تعداد اندام‌های ترشح‌کننده اسانس می‌باشد. عنصر فسفر نیز علاوه بر اینکه در ساختمان مولکول‌های حامل انرژی حضور دارد و

سبب تأمین انرژی فرآیندهای حیاتی گیاه همچون تقسیم و توسعه سلول‌های آن می‌گردد، با شرکت در فرآیند فتوسنتز و ساختار پیش‌ماده‌های اسانس در افزایش میزان این متابولیت ثانویه نقش دارد. با توجه به نتایج تحقیق حاضر به نظر می‌رسد احتمالاً کاربرد تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک توانسته است با تأمین عناصر نیتروژن و فسفر سبب افزایش توان تقسیم سلولی و در نهایت، افزایش تعداد کرک‌های ترشحی (اندام ترشحی) اسانس گردد. همچنین با توجه به اثر مثبت تیمار کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ بر اندازه کرک‌های ترشحی سطح فوقانی و تحتانی برگ می‌توان چنین استدلال نمود که تلفیق گیاه با باکتری‌های حل‌کننده فسفر توانسته است میزان این عنصر در گیاه را بالا برده و با افزایش فرآیند فتوسنتز و اختصاص آسیمیلات‌های بیشتر به‌سمت مسیر بیوسنتزی ترکیبات اسانس سبب افزایش میزان اسانس و فشار وارده بر دیواره‌های سلولی کرک‌های ترشح‌کننده آن و در نتیجه، افزایش اندازه این اندام‌ها گردد.

میزان و عملکرد اسانس

در بررسی مقایسه میانگین میزان اسانس (جدول ۲) مشاهده می‌شود گیاهان تیمار شده با کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ بیشترین میزان اسانس را تولید کردند، به‌طوری‌که مقدار آن در این تیمار به حدود $1/5$ برابر نسبت به شاهد رسید. پس از تیمار فوق، به‌ترتیب تیمارهای کود شیمیایی ($1/22$ درصد)، تلفیق کودهای بیولوژیک ($1/18$ درصد) و ازتوبارور-۱ ($1/15$ درصد) بیشترین میزان اسانس را به خود اختصاص دادند. نتایج مقایسه میانگین عملکرد اسانس گیاه (جدول ۲) نیز نشان می‌دهد کاربرد تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک عملکرد اسانس را حدود $1/5$ برابر نسبت به شاهد افزایش داد و این صفت را به حداکثر مقدار خود ($2/15$ گرم در مترمربع) در میان تیمارهای کودی اعمال شده رساند. اگرچه میان تیمار فوق و شاهد ($1/43$ گرم در مترمربع) تفاوت آماری معنی‌داری مشاهده شد، اما عملکرد اسانس در این تیمار اختلاف آماری معنی‌دار با سایر تیمارهای کودی نداشت. پس از تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، به‌ترتیب گیاهان تیمار شده با کود شیمیایی ($2/08$ گرم در مترمربع) و کودهای بیولوژیک ازتوبارور-۱ ($1/87$ گرم در مترمربع) و فسفات بارور-۲ ($1/87$ گرم در مترمربع) دارای بیشترین عملکرد اسانس بودند. طاهرآبادی و همکاران (Taherabadi et al., 2015) نیز در بررسی اثر کاربرد کودهای بیولوژیک بر گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis*) به این نتیجه دست یافتند که میزان اسانس در گیاهان تلفیق شده با باکتری‌های حل‌کننده فسفات (*باسیلوس* و *سودوموناس*) بهبود یافت.

رویشی گیاه می‌باشد، نقش عناصر پرمصرفی همچون نیتروژن و فسفر در افزایش آن مهم و اساسی است. از آنجا که تحقیقات انجام شده پیشین نشان می‌دهد کاربرد تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک ازتوبارور-۱ و فسفات بارور-۲ سبب افزایش تعداد و سطح برگ و رشد گیاه می‌گردد، به نظر می‌رسد کاربرد تیمار فوق توانسته است از یک سو با تأمین نیتروژن سبب بهبود رشد پیکره رویشی گیاه مانند تعداد و سطح برگ و همچنین تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس شود و از سوی دیگر، با تأمین عنصر فسفر باعث افزایش پیش‌ماده‌های ترکیبات اسانس، اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس و در نهایت، افزایش میزان اسانس گیاه گردد (Boveiri Dehsheikh et al., 2017; Yoonsey et al., 2014). به این ترتیب، می‌توان چنین نتیجه گرفت کاربرد تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک توانست با تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه موجب افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی و نرخ تعرق گیاهان گردد و این امر، در نهایت افزایش رشد اندام‌های رویشی و میزان و عملکرد اسانس را در پی داشته است.

اجزای اسانس

بر اساس نتایج آنالیز کیفی اسانس توسط دستگاه GC/MS، ۱۳ ترکیب در اسانس گیاه نعنای گربه‌ای شناسایی شد. جدول ۳ ترکیبات شناسایی شده اسانس را به همراه شاخص کواتس و درصد نسبی آن‌ها در تیمارهای اعمال شده نمایش می‌دهد. ترکیبات غالب اسانس به ترتیب شامل ایزومر ۲ نپتالاکتون (۴-آ-بتا، ۷ آلفا، ۷ آلفا-بتا-نپتالاکتون)، ایزومر ۱ نپتالاکتون (۴-آ-آلفا، ۷ آلفا، ۷ آلفا-بتا-نپتالاکتون)، کاربوفیلین اکساید، ترانس کاربوفیلین و ای-فارنسنین بودند که بیش از ۷۰ درصد اجزای اسانس را در گیاهان تیمار شده تشکیل می‌دادند. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مشخص شد اثر ساده کاربرد کودهای بیولوژیک بر میزان ترکیبات ایزومر ۱ و ۲ نپتالاکتون و کاربوفیلین اکساید در سطح احتمال پنج درصد و اثر متقابل اعمال کودهای بیولوژیک و اسید هیومیک بر میزان ترانس کاربوفیلین و ای-فارنسنین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود.

به‌طوری‌که میزان این صفت در تیمار مذکور تفاوت معنی‌داری با اعمال کود شیمیایی نداشت. در گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) نیز کاربرد کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ توانست درصد اسانس این گیاه را در قیاس با شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش دهد (Alijani et al., 2012). همچنین فرجی مهمانی و همکاران (Faraji Mehmani et al., 2015) نیز در پژوهشی بر روی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) گزارش نمودند کاربرد تلفیق کودهای بیولوژیک سبب افزایش ۱/۵ برابری میزان اسانس و بهبود دو برابری عملکرد آن نسبت به شاهد گردید. نتایج پژوهش حاضر با نتایج تحقیقات بر روی گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L.)، مرزنجوش (*Majorana hortensis*) و زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) مطابقت دارد (Weisany et al., 2012; Fatma et al., 2008; Rezaee Chianeh et al., 2015). در بررسی تأثیر اسید هیومیک نیز خزائی و همکاران (Khazaie et al., 2011) به این نتیجه دست یافتند که کاربرد این ترکیب اثر معنی‌داری بر میزان اسانس گیاه دارویی زوفا نداشت. گرچه میزان متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی تحت کنترل ژن‌هاست، اما مقدار، غلظت و تجمع آن‌ها به‌طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی و ادا فیزیکی است. یکی از عوامل تأثیرگذار بر کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه، تأمین کافی عناصر غذایی می‌باشد و حاصلخیزی خاک و تغذیه صحیح گیاه نقش عمده‌ای در ارتقاء کمی و کیفی این ترکیبات دارد. اسانس‌ها ترکیباتی از گروه شیمیایی ترین‌ها می‌باشند و یا دارای منشأ ترپنی هستند. واحد سازنده اسانس‌ها، ترکیباتی چون ایزوپنتیل پیروفسفات و دی‌متیل آلیل پیروفسفات می‌باشد و عنصر فسفر از اجزای اصلی ساختار آن‌ها محسوب می‌گردد. همچنین ترکیبات شیمیایی موجود در اسانس، ترکیباتی سنگین و پیچیده‌اند و ساخت آن‌ها مستلزم صرف انرژی و مولکول‌های ATP و NADPH می‌باشد. با توجه به نقش عنصر فسفر در ساختار واحدهای سازنده ترکیبات اسانس و مولکول‌های حامل انرژی ATP و NADPH، تأمین کافی و متعادل این عنصر جهت تشکیل اسانس در این گیاهان، ضروری است (Loomis & Croteau, 1972). با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان چنین استدلال کرد کاربرد کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ توانسته است میزان جذب عنصر فسفر را در گیاه نعنای گربه‌ای بالا برده و تأمین کافی این عنصر با شرکت در ساختار واحدهای سازنده ترکیبات اسانس، سبب افزایش میزان اسانس این گیاه گردیده است. علاوه بر میزان اسانس، عملکرد آن در واحد سطح نیز از جمله پارامترهای مهم در تعیین کمیت این متابولیت ثانویه در گیاهان اسانس‌دار می‌باشد. با توجه به اینکه عملکرد اسانس در گیاهان دارویی، حاصل‌ضرب میزان اسانس در عملکرد اندام‌های

جدول ۲ - مقایسه میانگین اثر تیمارهای کودی بر برخی صفات آناتومی و بیوشیمیایی گیاه دارویی نعناع گریبای (*Nepeta cataria* L.)
Table 2- Means comparison for the effect of fertilizer treatments on anatomical and biochemical traits of catnip (*Nepeta cataria* L.)

تیمار Treatment	میزان نیتروژن Leaf nitrogen content (%)	میزان فسفر برگ Leaf phosphorus content (%)	تعداد کرک‌های ترشح کننده اسانس Number of essential oil secretory trichomes (No.mm ⁻²)				اندازه کرک‌های ترشح کننده اسانس Size of essential oil secretory trichomes (μm ²)				میزان اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (g.m ⁻²)
			سطح فوقانی برگ Upper surface of leaf		سطح تحتانی برگ Lower surface of leaf		سطح فوقانی برگ Upper surface of leaf		سطح تحتانی برگ Lower surface of leaf			
			برگ Upper surface of leaf	برگ Lower surface of leaf	برگ Upper surface of leaf	برگ Lower surface of leaf	برگ Upper surface of leaf	برگ Lower surface of leaf				
C	2.31 ^{d*}	0.29 ^b	0.88 ^c	4.21 ^c	177.21 ^c	186.27 ^c	177.21 ^c	186.27 ^c	0.86 ^b	1.43 ^b		
Az	2.75 ^b	0.33 ^b	1.14 ^b	5.25 ^b	188.21 ^b	194.80 ^b	188.21 ^b	194.80 ^b	1.15 ^a	1.87 ^a		
Ph	2.46 ^c	0.53 ^a	0.99 ^c	4.55 ^c	200.76 ^a	206.53 ^a	200.76 ^a	206.53 ^a	1.30 ^a	1.87 ^a		
M	2.70 ^b	0.49 ^a	1.30 ^a	6.26 ^a	194.80 ^{ab}	201.60 ^a	194.80 ^{ab}	201.60 ^a	1.18 ^a	2.15 ^a		
Ch	3.16 ^a	0.48 ^a	1.16 ^b	5.92 ^a	193.08 ^{ab}	204.38 ^a	193.08 ^{ab}	204.38 ^a	1.22 ^a	2.08 ^a		

Ch: شادند، Az: ازتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی

C: Control, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer.

* میانگین‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

* Means with the different letters have significant difference at 0.05 probability level based on Duncan's multiple range test.

میزان ترکیبات منتول و منتون اسانس این گیاه می‌شود (Pourhadi, 2011). فرجی مهمانی و همکاران (Faraji Mehmani et al., 2015) نیز در بررسی تأثیر کودهای بیولوژیک بر میزان اجزای غالب اسانس گیاه دارویی مرزه نشان دادند که تلفیق گیاه با تلفیق کودهای بیولوژیک تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات سبب افزایش معنی‌دار میزان ترکیب لیمون و گاما ترپنین اسانس نسبت به سایر تیمارها می‌گردد، اما کاربرد این تیمار باعث کاهش ترکیباتی چون تیمول، ترپنین-۴-ال و پی سیمین می‌شود. گزارش‌های اندکی در زمینه تأثیر اسید هیومیک بر کیفیت و اجزای اسانس گیاهان دارویی وجود دارد. خلید و همکاران (Khalid et al., 2015) در تحقیقی بر روی گیاه دارویی رازیانه (*Foeniculum vulgare*)، گزارش نمودند که کاربرد اسید هیومیک سبب افزایش معنی‌دار میزان استراگول و ترانس آنتول اسانس گیاه می‌گردد. تولید اسانس و ترکیبات موجود در آن تحت تأثیر عوامل ژنتیکی، تنوع فصلی، شرایط اقلیمی، تغذیه گیاه، تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی و تنش‌های محیطی قرار دارد. میزان عناصر غذایی و تغذیه صحیح گیاه از جمله عوامل اثرگذار بر کمیت و کیفیت اسانس گیاهان دارویی می‌باشد. عنصر فسفر به‌واسطه شرکت در ساختار ترکیبات موجود در اسانس و عنصر نیتروژن به‌دلیل حضور در ساختار آنزیم‌های دخیل در مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات اسانس از اهمیت ویژه‌ای در کمیت و کیفیت اجزای اسانس گیاهان دارویی برخوردارند. با توجه به نتایج تحقیق حاضر مشخص شد در نتیجه کاربرد تیمارهای کودی میزان ایزومر ۱ نپتالاکتون کاهش و در مقابل، میزان ایزومر ۲ آن افزایش یافت. به این ترتیب می‌توان چنین استدلال کرد، اعمال تیمارهای کودی به‌کار رفته به‌ویژه کودهای بیولوژیک سبب تبدیل پیش‌ماده مشترک نپتالاکتون به‌سمت تولید ایزومر ۲ و کاهش میزان ایزومر ۱ آن شده است. همچنین نتایج نشان داد، میزان ترکیب ترانس کاربوفیلین در پاسخ به تیمارهای اعمال شده افزایش و در مقابل میزان کاربوفیلین اکساید که فرم اکسید شده این ترکیب است، کاهش یافته است. بنابراین چنین به نظر می‌رسد، احتمالاً کاربرد تیمارهای کودی مانع از اکسید شدن ترکیب ترانس کاربوفیلین و تولید کاربوفیلین اکساید شده است. میزان ای-ای-فارنسنین موجود در اسانس نیز به‌طور مثبت تحت تأثیر تیمارهای کودی قرار گرفت که می‌تواند گواه اثر مثبت تیمارهای کودی به‌کار رفته باشد.

کاربرد اسید هیومیک به‌تنهایی اثر معنی‌داری بر اجزای اسانس این گیاه نداشته است. در بررسی مقایسه میانگین اجزای اسانس مشاهده شد حداکثر میزان ایزومر ۲ نپتالاکتون در نتیجه اعمال کود شیمیایی (۶۲/۰۳ درصد) به‌دست آمد و این تیمار تفاوت معنی‌دار با تیمارهای تلفیق دو نوع کود بیولوژیک (۶۰/۰۸ درصد)، ازتوبارور-۱ (۵۹/۹۱ درصد)، و فسفات بارور-۲ (۵۹/۸۵ درصد) نداشت، اما سبب افزایش معنی‌دار این ترکیب نسبت به شاهد (۴۷/۳۹ درصد) گردید. همچنین نتایج نشان داد اسانس گیاهان تیمار شده با کود بیولوژیک ازتوبارور-۱ دارای بیشترین میزان ایزومر ۱ نپتالاکتون (۲۹/۸۵ درصد) بود. تفاوت میزان این ترکیب در تیمار مذکور در مقایسه با شاهد (۲۸/۴۹ درصد) و تیمار تلفیق دو نوع کود بیولوژیک (۲۶/۹۵ درصد) از لحاظ آماری معنی‌دار نبود، اما نسبت به تیمارهای کود شیمیایی (۲۴/۲۱ درصد) و فسفات بارور-۲ (۲۲/۴۹ درصد) اختلاف معنی‌دار نشان داد. کمترین میزان این ترکیب نیز در تیمار فسفات بارور-۲ مشاهده شد (جدول ۴). بررسی میزان ترکیب کاربوفیلین اکساید در تیمارهای اعمال شده، بیانگر آن است که تیمارهای شاهد، فسفات بارور-۲ و ازتوبارور-۱ به‌ترتیب با مقادیر ۳/۷۹، ۳/۶۶ و ۳/۰۸ درصد بالاترین میزان ترکیب فوق را به خود اختصاص دادند. کمترین میزان کاربوفیلین اکساید نیز در گیاهان تیمار شده با تلفیق دو نوع کود بیولوژیک (۲/۰۱ درصد) و کود شیمیایی (۱/۸۵ درصد) به‌دست آمد و تیمارهای مذکور دارای تفاوت معنی‌دار با سایر تیمارهای اعمال شده بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کودی و اسید هیومیک بر میزان ترکیب ترانس کاربوفیلین نشان داد تیمار کاربرد توأم تلفیق دو نوع کود بیولوژیک و اسید هیومیک میزان این ترکیب را به بالاترین مقدار خود (۴/۰۸ درصد) در قیاس با دیگر تیمارهای اعمال شده رساند و پس از آن اسانس گیاهان تیمار شده با کود شیمیایی + اسید هیومیک (۳/۳۴ درصد) و کود بیولوژیک ازتوبارور-۱ (۳/۲۹ درصد) بیشترین میزان این ترکیب را دارا بودند (جدول ۵). حداکثر میزان ترکیب ای-ای-فارنسنین نیز در تیمار کاربرد همزمان کود شیمیایی و اسید هیومیک (۱/۸۳ درصد) به‌دست آمد که افزایش آن نسبت به تیمارهای تلفیق دو نوع کود بیولوژیک و اسید هیومیک (۱/۱۲ درصد)، فسفات بارور-۲ (۰/۹۸ درصد) و کود شیمیایی (۰/۸۸ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۵). در تحقیقی مشابه بر روی گیاه دارویی نعناع فلفلی، مشخص گردید کاربرد کودهای بیولوژیک سبب افزایش

جدول ۳- ترکیبات شناسایی شده اسانس گیاه نفع گریه‌ای (*Nepeta cataria* L.) تحت تیمارهای کودی و اسید هیومیک
Table 3- Identified compounds of Catnip (*Nepeta cataria* L.) essential oil under fertilizer treatments and humic acid

ردیف Row	زمان بازداری Retention time	نام ترکیب Compound name	شاخص کوواتس Kovats index	C-	C+	Az-	Az+	Ph-	Ph+	M-	M+	Ch-	Ch+
1	7.99	آلفا-پینن α -Pinene	942	0.12	0.11	0.17	0.10	0.07	0.09	-	0.09	-	-
2	9.22	بتا-پینن β -Pinene	977	0.86	1.09	1.48	0.56	1.01	1.01	0.89	0.92	0.88	0.76
3	11	سیس-آسیمین <i>cis</i> -Ocimene	1035	0.10	0.07	0.10	0.12	0.11	0.08	0.15	0.06	0.13	-
4	15.65	متیل سالسیلات Methyl salicylate	1191	0.45	0.43	0.73	0.30	0.42	0.45	0.25	0.24	0.31	0.48
5	20.49	۴-آلفا، ۷-آلفا، ۷-بتا-نپتالاکتون (ایزومر ۱) 4- α -6, 7 α , 7 β -Nepetalactone (Isomer 1)	1357	29.81	27.19	26.05	33.66	23.92	21.06	27.56	26.35	27.64	20.80
6	21.40	۴-آلفا، ۷-آلفا، ۷-بتا-نپتالاکتون (ایزومر ۲) 4- α -6, 7 α , 7 β -Nepetalactone (Isomer 2)	1400	38.18	56.61	61.56	58.26	64.09	55.63	60.33	59.83	64.82	59.24
7	21.87	ترانس کاروفیلن <i>trans</i> -Caryophyllene	1424	1.94	1.27	3.30	1.21	1.94	1.27	1.72	4.08	1.61	3.34
8	22.67	آلفا-هومولن α -Humulene	1457	0.31	0.42	0.15	0.21	0.27	0.15	0.20	0.20	0.13	0.33
9	23.41	بتا-یونون β -Ionone	1488	0.28	0.13	0.10	0.12	0.11	0.23	0.07	0.19	0.22	0.13
10	23.90	ای-ای-فارنسن (E,E)-Farnesene	1508	1.39	1.19	1.21	1.45	0.98	1.65	1.71	1.12	0.88	1.83
11	25.8	کاروفیلن اکساید Caryophyllene oxide	1586	2.89	4.69	2.77	3.40	3.53	3.79	2.51	1.53	2.14	1.57
12	26.18	بتا-یودسمان β -Eudesmane	1602	0.20	0.21	0.21	0.17	0.18	0.09	0.15	0.11	0.09	0.21
13	43.70	دی ایزو اکتیل فتالات Diisooctyl phthalate	1640	0.23	0.46	1.45	0.39	0.50	0.12	0.40	0.83	0.42	1.19
کل Total				76.76	93.87	99.28	99.95	97.13	85.62	95.94	95.55	99.27	89.88

C: Control, H: Humic acid, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer, (+): Application of humic acid, (-): without application of humic acid.
C: شاهد، H: اسید هیومیک، Az: آزتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی، (+): کاربرد اسید هیومیک، (-): عدم کاربرد اسید هیومیک. مقادیر بر رنگ، ترکیبات اصلی اسانس هستند.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای کودی بر ترکیبات اصلی اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria* L.)Table 4- Means comparison of the simple effect of fertilizer treatments on main oil components of catnip (*Nepeta cataria* L.) oil

تیمار Treatment	۴-آ-بتا، ۷ آلفا، ۷ آلفا-بتا-نیتالاکتون (ایزومر ۱) 4-a-α, 7α, 7αβ- Nepetalactone (Isomer 1)	۴-آ-بتا، ۷ آلفا، ۷ آلفا-بتا-نیتالاکتون (ایزومر ۲) 4-a-β, 7α, 7αβ- Nepetalactone (Isomer 2)	کاربوفیلین اکساید Caryophyllene oxide
C	28.49 ^{ab*}	47.39 ^b	3.79 ^a
Az	29.85 ^a	59.91 ^a	3.08 ^a
Ph	22.49 ^c	59.85 ^a	3.66 ^a
M	26.95 ^{ab}	60.08 ^a	2.01 ^b
Ch	24.21 ^{bc}	62.03 ^a	1.85 ^b

C: شاهد، Az: ازتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی

C: Control, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer.

* میانگین‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

* Means with the different letters have significant difference at 0.05 probability level based on Duncan's multiple range test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل تیمارهای کودی و اسید هیومیک بر ترکیبات اصلی اسانس گیاه دارویی نعنای گربه‌ای (*Nepeta cataria* L.)Table 5- Means comparison of the interaction effect of fertilizer treatments and humic acid on main oil components of catnip (*Nepeta cataria* L.) oil

تیمار Treatment	ترانس کاربوفیلین trans- Caryophyllene	ای-ای-فارنسین (E,E)- Farnesene
C-	1.94 ^{b*}	1.39 ^{abc}
C+	1.27 ^b	1.19 ^{abc}
Az-	3.29 ^a	1.21 ^{abc}
Az+	1.20 ^b	1.45 ^{abc}
Ph-	1.94 ^b	0.98 ^c
Ph+	1.27 ^b	1.65 ^{ab}
M-	1.71 ^b	1.71 ^{ab}
M+	4.08 ^a	1.12 ^{bc}
Ch-	1.61 ^b	0.88 ^c
Ch+	3.34 ^a	1.83 ^a

C: شاهد، Az: ازتوبارور-۱، Ph: فسفات بارور-۲، M: تلفیق دو نوع کود بیولوژیک، Ch: کود شیمیایی، (+): کاربرد اسید هیومیک، (-): عدم کاربرد اسید هیومیک.

C: Control, Az: Azetobarvar-1, Ph: Phosphatbarvar-2, M: Combination of biofertilizers, Ch: Chemical fertilizer, (+): Application of humic acid, (-): without application of humic acid.

* میانگین‌های با حروف متفاوت، دارای اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشند.

* Means with the different letters have significant difference at 0.05 probability level based on Duncan's multiple range test.

نتیجه‌گیری

هوا و در نتیجه، افزایش جذب نیتروژن توسط گیاه باشد. افزایش میزان فسفر گیاه به دنبال کاربرد باکتری‌های حل‌کننده فسفات (سودوموناس پوتیلیا و پانتوا آگلومرانس) نشان داد این باکتری‌ها توانستند احتمالاً از طریق انحلال فسفات‌های کم‌محلول و نامحلول موجود در خاک، میزان این عنصر را در محلول خاک بالا برده و جذب آن را توسط گیاه افزایش دهند. گیاهان تیمار شده با تلفیق کودهای بیولوژیک دارای بیشترین تعداد کرک‌های ترشح‌کننده اسانس بودند که به نظر می‌رسد در نتیجه تأثیر باکتری‌های اعمال شده بر میزان جذب عناصر نیتروژن و فسفر و احتمالاً افزایش تقسیم و بزرگ شدن سلولی در کرک‌های ترشحی باشد. اندازه کرک‌های ترشح‌کننده اسانس در پی کاربرد کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ افزایش یافت که این امر احتمالاً به دلیل افزایش میزان جذب عنصر فسفر توسط گیاه و

در تحقیق حاضر کاربرد تلفیق کودهای بیولوژیک سبب افزایش میزان تنفس و کربن‌زیست‌توده میکروبی خاک گردید که احتمالاً نشان‌دهنده زنده‌مانی، استقرار و فعالیت این باکتری‌ها در خاک و به دنبال آن افزایش جامعه میکروبی خاک می‌باشد. همچنین کاربرد کودهای بیولوژیک سبب کاهش میزان ماده آلی خاک گردید که با توجه به افزایش تنفس و کربن‌زیست‌توده میکروبی خاک به نظر می‌رسد این امر احتمالاً به دلیل تغذیه باکتری‌های خاک از اسید هیومیک اعمال شده باشد. میزان نیتروژن گیاه در پاسخ به کاربرد کود بیولوژیک حاوی باکتری تثبیت‌کننده نیتروژن (ازتوباکتر وینلندی) افزایش یافت که ممکن است به دلیل افزایش تثبیت نیتروژن مولکولی

و به دنبال آن بهبود تعداد و اندازه کرک‌های ترش‌چی و میزان، عملکرد و اجزای اسانس گیاه دارویی نناع گربه‌ای کمک نماید. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که این آزمایش در مقیاس بزرگ‌تر و برای مدت طولانی‌تر مورد بررسی قرار گیرد تا در صورت موفقیت‌آمیز بودن جهت کاربرد تجاری کودهای مذکور توصیه‌های لازم به عمل آید. با توجه به عدم تأثیر معنی‌دار اسید هیومیک در اغلب صفات مورد بررسی در این پژوهش به نظر می‌رسد کاربرد آن در کشت‌وکار گیاهان دارویی نیازمند بررسی‌های بیشتر است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز (گرت: SCU.Ah98.775) و شرکت زیست‌فناور سبز به جهت حمایت‌های مالی از طرح و تأمین کودهای بیولوژیک و اسید هیومیک، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

تولید فرآورده‌های فتوسنتزی و تخصیص بیشتر این ترکیبات به سمت تولید اسانس، افزایش فشار وارد شده به دیواره سلولی این کرک‌ها و اندازه آن‌ها است. به کارگیری کود بیولوژیک فسفات بارور-۲ سبب افزایش میزان اسانس گیاه و تلفیق آن با کود بیولوژیک ازت‌بارور-۱ موجب بهبود عملکرد اسانس گردید. به نظر می‌رسد افزایش جذب فسفر سبب تولید بیشتر پیش‌ماده‌های اسانس و میزان این متابولیت ثانویه در گیاه شده است. عملکرد اسانس نیز به دنبال افزایش رشد و توسعه بیشتر اندام‌های رویشی و همچنین تعداد و اندازه کرک‌های ترش‌چی در واحد سطح بهبود یافت. تیمارهای کودی مورد استفاده در این پژوهش به‌ویژه کودهای بیولوژیک سبب تغییر مسیر پیش‌ماده سنتز نپتالاکتون اسانس به سمت تولید ایزومر ۲ آن، کاهش اکسیداسیون ترانس کاربوفیلین و افزایش میزان این ترکیب به همراه ای-ای-فارنسن در اسانس گردید. با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق، می‌توان چنین نتیجه گرفت کاربرد کودهای بیولوژیک محتوی باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن و حل‌کننده فسفات می‌توانند به جذب بیشتر عناصر غذایی ضروری مانند نیتروژن و فسفر

References

- Adams, R.P., 2007. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy, Fourth ed. Allured Publishing Corporation, Illinois.
- Alijani, M., Amini Dehghi, M., Malboei, M.A., Zahedi, M., and Modarres Sanavi, S.A.M., 2012. Effect of phosphorus fertilizer combined with organic fertilizer, phosphate barvar-2 on yield, oil content, and chamazulene Chamomile German (*Matricaria recutita* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 27: 450-459. (In Persian with English Summary)
- Amoaghaei, R., and Mostageran, A., 2008. Plant-bacteria symbiosis assistance systems. Isfahan University, Iran. (In Persian).
- Anderson, T.H., 2003. Microbial eco-physiological indicators to asses soil quality. Agriculture, Ecosystems and Environment 98: 285-293.
- Bakhshandeh Larimi, S., Shakiba, M.R., Dabbagh Mohammadinasab, A., and Moghaddam Vahed, M., 2014. Changes in nitrogen and chlorophyll density and leaf area of Sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.) affected by biofertilizer and nitrogen application. International Journal of Biosciences 9: 256-265.
- Barajas Aceves, M., 2005. Comparison of different microbial biomass and activity measurement methods in metal-contaminated soil. Journal Bioresource Technology 96: 1405-1414.
- Bingham, F.T., and Bartels, J.M., 1996. Methods of Soil Analysis. Vol. 1, Part 3. Chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. pp. 752-758.
- Boveiri Dehsheikh, P., Mahmoodi Sourestani, M., Enayatizami, N., and Zolfaghari, M., 2017. The study on the effect of biological and chemical fertilizers and humic acid on the growth, physiological characteristics, and essential oil content of catnip (*Nepeta cataria* L.). Journal of Plant Production Research 24: 61-76.
- Chen, Y., and Ariad, T., 1990. Effects of humic substances in plant growth. Soil Science Society of America, pp. 161-186.
- Faraji Mehmani, A., Esmailpour, B., Sefidkon, F., Abbaszadeh, B., Khavazi, K., and Ghanbari, A., 2015. Effects of biofertilizers on growth criteria, quantitative and qualitative yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 6: 870-879. (In Persian with English Summary)

- Farahani, A., and Maddani, H., 2014. Evaluate the usefulness of humic acid organic matter in comparison to chemical fertilizer and manure and their combination in summer savory (*Satureja hortensis* L.). New Finding in Agriculture 8: 323-337. (In Persian with English Summary)
- Fatma, A.G., Lobna, A.M., and Osman, N.M., 2008. Effect of compost and biofertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) Plant. International Journal of Agriculture and Biology 10: 381-387.
- Gohary, A.E.E., Sherbeny, S.E.E. and Ghazal, G.M.E.M., 2014. Evaluation of essential oil and monoterpenes of peppermint (*Mentha piperita* L.) under humic acid with foliar nutrition. Journal of Materials and Environmental Science 5: 1885-1890.
- Hosseinzadah, F., Satei, A., and Ramezanpour, M.R., 2011. Effects of mycorrhiza and plant growth promoting rhizobacteria on growth, nutrients uptake and physiological characteristics in *Calendula officinalis* L. Middle-East Journal of Scientific Research 8: 947-953.
- Johnson, J.W., and Wilrinson, R.E., 1992. Wheat growth response of cultivars to H⁺ concentration. Plant and Soil 146: 55-59.
- Kaboli Farshchi, H., Azizi, M., Nemeti, H., and Roshan-Sourestani, V., 2015. Effect of potassium sulphate and humic acid on growth, yield, and essential oil content in *Hypericum perforatum* L. Journal of Horticultural Science 29: 518-527. (In Persian with English Summary)
- Khalid, K.A., Omer, E.A., El Gendy, A.G., and Hussein, M.S., 2015. Impact of organic compost and humic acid on essential oil composition of sweet fennel (*Foeniculum vulgare* var. Dulce) under sandy soil conditions in Egypt. World Journal of Pharmaceutical Sciences 3: 160-166.
- Khazaie, H.R., Eyshi Rezaie, E., and Eyshi Rezaie, M., 2011. Application times and concentration of humic acid impact on aboveground biomass and oil production of hyssop (*Hyssopus officinalis*). Journal of Medicinal Plants Research 5: 5148-5154.
- Loomis, W.D., and Corteau, R., 1972. Essential oil biosynthesis. Recent Advances in Phytochemistry 6: 147-185.
- Maisonneuve, S.A., 1975. European Pharmacopoeia. Sainte-Ruffine.
- Pourhadi, M., 2011. Effect of biofertilizers on yield and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.). Journal of Herbal Drugs 2: 137-148. (In Persian with English Summary)
- Rezaee Chianeh, I., Pirzad, A., and Fargami, A., 2015. The effect of bacteria suppliers nitrogen, phosphorus and sulfur on seed yield and essential oil of cumin (*Cuminum cyminum* L.). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 24: 71-83. (In Persian with English Summary)
- Sharma, A.K., 2002. Biofertilizers for sustainable agriculture. Agrobios, India.
- Suschke, U., Geiss, H.K., and Reichling, J., 2006. Antibacterial activity of the essential oils of catnip (*Nepeta cataria* L.) and lemon balm (*Melissa officinalis* L.) against clinical isolates from the respiratory tract. Planta Medica 72(11): 27.
- Taherabadi, S., Neemati, N.B., Pazoki, A., and Naderi Boroujerdi, G., 2015. Application of biological fertilizer to reducing the need for chemical fertilizers in hyssop (*Hyssopus officinalis* L.). Agronomic Research in Semi Desert Regions 11: 107-116. (In Persian with English Summary)
- Tikhonov, V.V., Yakushev A.V., Zavgorodnyaya, Y.A., Byzov, B.A., and Demin, V.V., 2010. Effects of humic acids on the growth of bacteria. Eurasia Soil Science 43: 305-313.
- Tucker, A.O., and Tucker, S.S., 1988. Catnip and the catnip response. Economic Botany 42: 214-231.
- Walkly, A., and Black, I.A., 1934. An examination of the degtjare of method for determination soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science 37: 29-38.
- Weisany, V., Rahimzadeh, S., Sohrabi, Y., 2012. Effect of biofertilizers on morphological, physiological characteristic and essential oil content in basil (*Ocimum basilicum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 28: 73-87.
- Yoonesy, A.R., Sadeghian Motahar, S.Y., Sajedi, N.A., and Naderi Boroujerdi, G.R., 2014. Effects of biological and chemical fertilizers (nitrogen and phosphorus) on yield and oil content of peppermint plant under the climatically conditions of Arak. New Finding in Agriculture 8: 275-290. (In Persian with English Summary)



The Effects of Biological, Chemical Fertilizers and Humic Acid on some Microbial Parameters, Elements and Oil Quantity and Quality of Catnip (*Nepeta cataria* L.)

P. Boveiri Dehsheikh¹, M. Mahmoodi Sourestani^{*2}, M. Zolfaghari³ and N. Enayati Zamir⁴

Submitted: 08-04-2019

Accepted: 06-10-2019

Boveiri Dehsheikh, P., Mahmoodi Sourestani, M., Zolfaghari, M., and Enayati Zamir, N., 2021. The effects of biological, chemical fertilizers and humic acid on some microbial parameters, elements and oil quantity and quality of Catnip (*Nepeta cataria* L.). Journal of Agroecology 13(1):73-88.

Introduction

Catnip (*Nepeta cataria* L.) is one of the most important medicinal plants belonged to the Lamiaceae family that referred to considerable pharmacological, antimicrobial, antibacterial and pesticides activities of its essential oil in most of the literatures. The harmful effects of chemical fertilizers on the environment and human health and lack of soil organic matter in arid and semi-arid regions have resulted in an increase in the use of chemical fertilizers in these areas. Excessive use of these fertilizers has led to serious environmental pollutions during the last decades. With respect to the hazards of chemical fertilizers and the importance of medicinal plants, researchers have recently considered the application of biofertilizers and organic materials. According to literatures, the application of biofertilizers and organic fertilizers can be recommended as a proper alternation for the improvement of the quantity and quality of essential oil in Catnip.

Material and Methods

This research was conducted as factorial layout based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications at the research farm of the faculty of agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. The first factor was included fertilizer treatments in five levels (Control (C), Azetobarvar-1 (Az), Phosphatbarvar-2 (Ph), Combination of Az and Ph (M), chemical fertilizer (Ch) included 150 kg.ha⁻¹ granular urea (46% N) and 100 kg.ha⁻¹ triple superphosphate (46% P₂O₅) and the second factor was comprised humic acid in two levels (0 and 20 kg.ha⁻¹). The studied traits in this research included soil microbial respiration and biomass carbon and soil organic matter contents, leaf nitrogen and phosphorus amounts, number and size of secretory trichomes, essential oil content, yield and composition. Leaf nitrogen and phosphorus concentrations were measured at the beginning of reproductive stage by Kjeldahl method and colorimetric method using a UV-2100-Unico spectrophotometer, respectively. Moreover, the soil microbial respiration and soil biomass carbon were determined by alkali absorption and the fumigated extraction, respectively, and soil organic matter was estimated by the modified Walkly and Black's methods. Furthermore, the number and size of secretory trichomes was registered using Binocular microscope and essential oil was extracted by Clevenger-type apparatus and analyzed using GC and GC-MS at full bloom stage.

Results and Discussion

According to the results, the sole application of fertilizer treatment was positively affected on soil microbial respiration and biomass carbon, leaf nitrogen and phosphorus contents. The number and size of secretory trichomes,

1- M.Sc. Graduated of Medicinal Plants, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2,3- Associate and Assistant Professors, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Corresponding Author Email: m.mahmoodi@scu.ac.ir)

Doi:10.22067/jag.v13i1.79970

essential oil content and yield and essential oil composition were significantly influenced when fertilizer treatments and humic acid were applied simultaneously. The highest amount of soil microbial respiration as well as biomass carbon was detected in M and the lowest was observed in control. The application of Ch and humic acid was significantly improved the soil organic matter. However, no significant difference was found between these treatments and biofertilizers treatments. The lowest amount of soil organic matter was detected in control. The maximum content of leaf nitrogen element was observed in plant treated by Ch and minimum was registered in control. The highest level of leaf phosphorus element, the size of secretory trichomes and essential oil content were obtained when Ph was applied while there was no significant difference between this biofertilizer and Ch and M. The maximum number of secretory trichomes and essential oil yield was detected in plant treated with M. The most amounts of isomers 1 and 2 of nepetalactone and caryophyllene oxide was observed in Az, Ch and control, respectively, and least was in control, Ph and Ch, respectively. The highest level of trans- caryophyllene and (E,E)-Farnesene was obtained in the oil of plant treated with M+ and Ch+ and lowest detected in Az+ and Ch-.

Conclusion

According to the results, to improve the quantity and quality of Catnip essential oil, the application of biological fertilizers instead of chemical fertilizers is recommended and further research is also required to investigate both the effects of applying humic acid alone and in combination with biofertilizers on some traits.

Keywords: Azetobarvar-1, Nepetalactone, Nitrogen, Phosphorus, Phosphatbarvar-2, Secretory trichome



مقاله علمی - پژوهشی

اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

اردلان قیلاوی‌زاده^۱، اسماعیل حدیدی ماسوله^{۲*}، حمیدرضا ذاکرین^۲ و سید علیرضا ولدآبادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸

قیلاوی‌زاده، ا.، حدیدی ماسوله، ا.، ذاکرین، ح و ولدآبادی، س.ع.، ۱۴۰۰. اثر تنش خشکی و غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۸۹-۱۰۱.

چکیده

رازیانه (*Foeniculum vulgare* L.) گیاهی است چندساله که از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاهان دارویی به‌شمار می‌آید و عمدتاً به‌منظور استفاده از اسانس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد. این تحقیق با هدف بررسی اثرات غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر خصوصیات کمی و کیفی رازیانه تحت شرایط تنش خشکی انجام گردید. آزمایش به‌صورت اسپلت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ در شهرستان رزن به‌اجرا در آمد. فاکتور اصلی شامل پنج سطح رژیم آبیاری (آبیاری کامل، حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی و حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه) و فاکتور فرعی شامل چهار غلظت مختلف اسید سالیسیلیک (آب خالص، سه، شش و هشت میلی‌مولار) بود. در تیمار رژیم آبیاری، پس از حذف آبیاری در هر یک از تیمارهای خشکی، مجدداً آبیاری (بعد از ۲۰ روز) تا انتهای دوره رشد انجام شد. نتایج نشان داد که دو تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه و کاربرد شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به‌ترتیب با ۲۱/۳ و ۲۰/۳ عدد شاخه فرعی در بوته، بیشترین انشعابات فرعی در بوته را به خود اختصاص دادند. تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه بیشترین تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه را از خود نشان داد. بیشترین تعداد چترک در چتر متعلق به تیمارهای کاربرد شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه بود. کمترین مقادیر دانه در چترک در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل با تولید بیش از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند.

واژه‌های کلیدی: خصوصیات کمی و کیفی، رژیم آبیاری، محلول‌پاشی

مقدمه

ایران از نظر تنوع آب‌وهوایی، موقعیت جغرافیایی و زمینه رشد

گیاهان دارویی یکی از بهترین مناطق جهان محسوب شده و گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران به‌شمار می‌روند. با این وجود، کشور ما در بخشی از کره زمین قرار گرفته که نزولات ناچیز جوی در بسیاری از نقاط آن، نیاز آبی گیاهان زراعی و باغی را تأمین نمی‌کند (Hassani & Omidbaigi, 2006). فراهمی آب از مهم‌ترین عوامل محیطی است که تأثیر عمده‌ای بر رشد و نمو و همچنین مواد مؤثره گیاهان دارویی دارد (Rhodes & Hanson, 1993). خشکی شایع‌ترین تنش محیطی و از عمده‌ترین

۱- دانشجوی دکتری کشاورزی زراعت گرایش اکولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.

۲- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.

۳- دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تاکستان، ایران.

(*)- نویسنده مسئول: (Email: hadidimasole@gmail.com
Doi: 10.22067/jag.v13i1.77417

چالش‌ها برای تولید محصولات زراعی در جهان به‌شمار می‌رود (Kafi et al., 2009) و به‌خوبی مشخص شده که اثر تنش آبی بر رشد، عملکرد و کیفیت گیاهان، به مدت زمان و میزان کمبود آب بستگی دارد (Pandey et al., 2001).

از آنجا که تنش خشکی بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوسنتز متابولیت‌های گیاه اثرات بارزی دارد، شناخت آثار تنش خشکی بر روی گیاه می‌تواند به پی بردن به مراحل حساس رشدی و عکس‌العمل گیاه در برابر تنش خشکی کمک کند (Kafi et al., 2009). چرا که وقوع تنش خشکی، تغییرات فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی متعددی را در گیاهان سبب می‌شود که می‌توانند تأثیر بازدارندگی شدیدی در رشد گیاه و در نتیجه، کاهش کمیت و کیفیت محصول داشته باشند (Imam & Zavarehi, 2005).

رازینانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی است چند ساله و متعلق به تیره چتریان (Apiaceae) که از مهم‌ترین و پر مصرف‌ترین گیاهان دارویی این تیره به‌شمار می‌آید و عمدتاً به‌منظور استفاده از اساس حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت قرار می‌گیرد (Omidbaigi, 2007). این گیاه به‌طور وسیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان کشت شده و وجود آب‌وهوای مدیترانه‌ای و گرم برای رشد و نمو آن مطلوب است (Omidbaigi & Hornok, 1991). بنابراین، تنش خشکی می‌تواند عملکرد و کیفیت این گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. محمد و عبدو (Mohamed & Abdu, 2004) گزارش کردند که تنش کم‌آبی ارتفاع گیاه، تعداد شاخه در ساقه اصلی و عملکرد میوه رازینانه را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج تحقیق عثمان (Osman, 2009) نیز نشان داد که با افزایش میزان آبیاری، ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و عملکرد میوه رازینانه افزایش معنی‌داری پیدا کرد. رضایی چپانه و همکاران (Rezaei Chiyaneh et al., 2013) در مطالعه واکنش‌های فیزیولوژیکی رازینانه به محدودیت آب، بیان نمودند که با افزایش سطح آبیاری از ۶۰ میلی‌متر به ۱۵۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک تبخیر غلظت کلروفیل a، کلروفیل b، محتوای نسبی آب برگ و پتانسیل آب برگ به‌ترتیب ۳۰، ۲۴، ۲۷ و ۴۱ درصد کاهش یافت. در تحقیقی دیگر، الکیسی و همکاران (Al-Kayssi et al., 2011) طی بررسی اثر تنش خشکی بر روی گیاه دارویی زیره سیاه، (*Bunium persicum*) گزارش کردند که کاهش فراهمی آب و رطوبت خاک، مراحل رشدی، تشکیل بذر و تعداد روز تا رسیدگی زیره سیاه را

به‌شدت تحت تأثیر قرار داد. Aziz et al. (2008) نیز با بررسی رژیم‌های مختلف آبیاری در گیاه دارویی آویشن باغی، اظهار داشتند که گیاهان آبیاری شده با مدارهای آبیاری ۳ و ۱۰ روز یک بار آبیاری، به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن خشک بوته را از خود نشان دادند.

تحقیقات نشان داده‌اند که یکی از ترکیباتی که می‌تواند به افزایش مقاومت گیاه در شرایط تنش خشکی، کمک کند، اسید سالیسیلیک است (Belkhadi et al., 2010). کاربرد اسید سالیسیلیک در گیاهان سبب مهار رادیکال‌های آزاد فعال اکسیژن (ROS^1) تولید شده تحت تنش می‌گردد (Wang et al., 2006). محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک میزان نشت الکترولیت را کاهش داده و از طریق افزایش محتوای رطوبت نسبی برگ، منجر به حفظ تورم و آماس برگ می‌شود. غشای سلولی را حفاظت کرده و با افزایش رنگدانه‌های فتوسنتزی و حفظ آن‌ها تحت شرایط تنش موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی گیاه و مقاومت گیاه را در شرایط سخت ناشی از تنش می‌گردد (Belkhadi et al., 2010). از این رو، هدف از این تحقیق بررسی اثرات غلظت‌های مختلف اسید سالیسیلیک بر خصوصیات کمی و کیفی رازینانه تحت شرایط تنش خشکی در مراحل مختلف فنولوژی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش، در یک مزرعه شخصی در شهرستان رزن استان همدان با ارتفاع ۲۷۹۹ متر از سطح دریا و میانگین بارندگی سالیانه ۳۰۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۱ درجه سانتیگراد طی سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام گردید. مختصات جغرافیایی محل انجام آزمایش شامل: عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱ دقیقه شرقی می‌باشد. آزمایش به‌صورت اسپلٹ پلات (کرت‌های خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به‌اجرا در آمد. فاکتور اصلی شامل پنج سطح رژیم آبیاری (آبیاری کامل، حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی و حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه) و فاکتور فرعی شامل چهار غلظت مختلف اسید سالیسیلیک (صفر (آب خالص)، سه، شش و هشت میلی‌مولار) بود. تیمار اسید سالیسیلیک به‌صورت محلول‌پاشی و

در مراحل ابتدای ساقه‌دهی و ابتدای غنچه‌دهی به‌وسیله سم‌پاش پشته‌ای اعمال گردید. در تیمار رژیم آبیاری، پس از حذف آبیاری در تیمارهای خشکی، مجدداً آبیاری (بعد از ۲۰ روز) تا انتهای دوره رشد انجام شد. عملیات آبیاری هر ۱۰ روز یکبار انجام شد. مراحل مختلف فنولوژی رازیانه شامل: جوانه‌زنی، سبز شدن، رزت، ساقه‌دهی، غنچه‌دهی، گل‌دهی کامل، رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- مراحل فنولوژیک گیاه رازیانه
Table 1- Phenological stages of Fennel

مرحله فنولوژی Phenological stage	جوانه‌زنی Germination	سبز شدن Emergence	رزت Rosette	ساقه‌دهی Stemming	غنچه‌دهی Budding	گل‌دهی کامل Full flowering	رسیدگی فیزیولوژیک
روز پس از کاشت Day after planting	4	7	20	35	50	58	125

ردیف ۲۵ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر بود و در هر کرت پنج ردیف منظور شد که دو ردیف کناری به‌عنوان حاشیه بودند. طول کرت‌ها شش متر و عمق کاشت پنج سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

قبل از انجام عملیات کاشت، از خاک مزرعه در عمق ۳۰ سانتی‌متری، نمونه‌برداری و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن تعیین شدند (جدول ۲). پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین (شامل شخم، دیسک، تسطیح و ایجاد جوی و پشته)، کاشت در تاریخ بیستم فروردین ماه سال ۱۳۹۵ در وسط پشته انجام گردید. فاصله روی

جدول ۲- مشخصات خاک محل آزمایش
Table 1- Traits of soil of experiment location

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	نیتروژن N (%)	فسفر P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم K (mg.kg ⁻¹)	آهک CaCO ₃ (%)	کربن آلی OC (%)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture
7.40	1.02	0.09	8.10	208.6	3.60	1.3	53	26	21	S.C.L

که در آن، I: ارتفاع آب آبیاری برحسب سانتی‌متر، W₁: مقدار رطوبت خاک در وضعیت FC برحسب درصد، W₂: مقدار رطوبت فعلی خاک برحسب درصد، D: عمق ریشه برحسب سانتی‌متر و P_b: وزن مخصوص ظاهری خاک برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند. در نهایت، از حاصل ضرب عمق آب آبیاری در مساحت زمین، حجم آب ورودی برای هر تیمار بر حسب متر مکعب به‌دست آمد که با استفاده از کنتور، حجم آب ورودی به کرت‌ها کنترل گردید. در انتهای فصل رشد، به‌منظور بررسی اجزای عملکرد، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، از نیمه شمالی هر کرت تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات تعداد انشعابات فرعی، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند. در نیمه جنوبی هر کرت نیز که به ارزیابی عملکرد دانه اختصاص یافته بود، با در نظر گرفتن اثرات حاشیه‌ای، پس از جمع-آوری بوته‌ها و جداسازی دانه‌ها عملکرد دانه اندازه‌گیری گردید. علاوه‌براین، به‌منظور استخراج اسانس، بذرها در آون در دمای ۳۵ درجه سانتیگراد خشک شده و پس از آن، به‌روش تقطیر با آب،

به‌منظور تعیین مقدار آب مصرفی، ابتدا از خاک مزرعه نمونه-برداری و مقدار رطوبت آن، در حالت FC محاسبه گردید. بدین صورت که ۲۴ ساعت پس از آبیاری مزرعه، از خاک مزرعه در عمق توسعه ریشه (از سطح خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متر) نمونه‌برداری و توزین گردید. سپس جهت تعیین وزن خاک خشک، نمونه خاک به‌مدت ۲۴ ساعت به آون در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد منتقل شد. بدین ترتیب، درصد رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی با استفاده از معادله ۱ تعیین گردید. در ادامه، در هر مرتبه آبیاری، وضعیت رطوبت فعلی خاک به‌روش وزنی و همچنین با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج (TDR) اندازه‌گیری شد (سنسورهای دستگاه TDR هم‌زمان با کاشت، در زمین به‌طور ثابت نصب شدند) و با استفاده از معادله ۲ عمق آب آبیاری محاسبه گردید (Arshadi, 2016):

معادله (۱)

$$100 \times \text{وزن خاک خشک} / \text{وزن خاک خشک} - \text{وزن خاک تر} =$$

درصد رطوبت وزنی خاک

$$\text{معادله (۲)} \quad I = (W_1 - W_2) / 100 \times D \times P_b$$

اسانس دانه‌ها استخراج و درصد اسانس محاسبه گردید (Pouryousef, 2015).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

تعداد انشعابات فرعی

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد انشعابات فرعی در بوته رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که دو تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه و کاربرد شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به‌ترتیب با ۲۱/۳ و ۲۰/۳ عدد شاخه فرعی در بوته، بیشترین انشعابات فرعی در بوته را به خود اختصاص دادند و در سایر تیمارها، تعداد انشعابات فرعی در بوته حتی به ۱۹/۷ انشعابات فرعی در بوته هم نرسید. پس از این دو تیمار، تیمارهای

کاربرد سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۱۹/۶ و ۱۹/۰ عدد شاخه فرعی در بوته، در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۴). کمترین مقادیر تعداد انشعابات فرعی در بوته نیز به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی تعلق داشت. به‌طوری‌که در مقادیر صفر، سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی، تعداد انشعابات فرعی در بوته حتی به ۱۵ عدد هم نرسید (جدول ۴). از آنجایی که واحدهای زایشی در گیاه رازیانه در انتهای انشعابات فرعی قرار دارند (Anant et al., 2005)، به نظر می‌رسد که افزایش تعداد انشعابات فرعی در بوته، می‌تواند به افزایش واحدهای زایشی در بوته منجر شود. لکن به نظر می‌رسد که در بین مراحل فنولوژیک مورد بررسی در این تحقیق، مرحله ساقه‌دهی مهم‌ترین مرحله در تعیین تعداد انشعابات فرعی در بوته باشد. چرا که وقوع تنش خشکی در این مرحله نسبت به سایر مراحل فنولوژیک، بیشترین تأثیر را در کاهش تعداد انشعابات فرعی در بوته گذاشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در آزمایش
Table 2- Analysis of variance for studied traits in experiment

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	تعداد انشعابات فرعی در بوته No. of sub branches per plant	تعداد چتر در بوته No. of umbrella per plant	تعداد چترک در چتر No. of umbellet per umbrella	تعداد دانه در چترک No. of seed per umbellet	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds	عملکرد دانه Seed yield	میزان اسانس Essential oil content
تکرار Replication	2	16.2	24.6	7.2	8.4	0.01	4193.1	0.09
رژیم آبیاری Irrigation regime (I)	4	48.5 **	124.5 **	12.8 **	2.2 *	1.4 **	14559 **	1.5 **
خطای (الف) Error (a)	8	0.4	1.2	0.6	1.1	0.01	242	0.01
اسید سالیسیلیک Salicylic acid (SA)	3	8.6 **	9.3 **	2.0 *	9.9 **	0.03 **	11969 **	1.0 **
I × SA	12	7.3 **	11.7 **	8.1 **	8.3 **	0.05 **	27727 **	0.06 **
خطای (ب) Error (b)	32	0.7	1.2	0.6	0.7	0.007	154.4	0.01
ضریب تغییرات C.V. (%)	-	15.0	14.1	7.1	6.9	12.3	11.9	13.5

* و **: به‌ترتیب معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد.

* and **: significant at 5% and 1% probability level, respectively.

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و اسید سالیسیلیک بر روی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد اسانس رازیانه

Table 3- Mean comparisons of interactions of irrigation regime and salicylic acid on yield, yield components and essential oil percentage of fennel

مقدار اسانس Essential oil content (%)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	وزن هزار دانه Weight of 1000-seeds (g)	تعداد دانه در چترک No. of seed per umbellet	تعداد چترک در چتر No. of umbellet per umbrell	تعداد چتر در بوته No. of umbrella per plant	تعداد انشعابات فرعی در بوته No. of sub branches per plant	غلظت اسید سالیسیلیک SA content (mM)	رژیم آبیاری Irrigation regime
3.03 th	803.3 ^a	3.22 ^{kl}	15.3 ^a	11.6 ^{bd}	19.0 ^{hj}	15.0 th	0	آبیاری کامل Complete irrigation
3.03 th	803.3 ^a	3.43 ^{gi}	15.0 ^a	11.0 ^{cd}	23.6 ^{de}	15.6 ^{eg}	3	
3.00 th	683.0 ^c	3.43 ^{gi}	13.0 ^{bd}	12.3 ^{bc}	25.6 ^{bd}	18.0 ^{cd}	6	
3.10 ^{eg}	534.0 ^f	3.10 ⁱ	10.0 ⁱ	9.3 ^{fh}	21.6 ^{fg}	19.0 ^{bc}	8	
2.50 ^j	689.3 ^c	3.16 ^{kl}	11.0 ^{hi}	10.3 ^{df}	20.0 ^{gi}	13.0 ⁱ	0	حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی Remove irrigation at stemming stage
2.70 ⁱ	683.3 ^c	3.10 ⁱ	12.6 ^{ce}	11.0 ^{ce}	20.0 ^{gi}	14.0 ^{hi}	3	
2.50 ^j	637.3 ^d	3.26 ^{jk}	13.0 ^{bd}	9.6 ^{eg}	20.6 ^{gh}	14.6 ^{fh}	6	
2.86 ^{hi}	581.7 ^e	3.23 ^{kl}	11.6 ^{dh}	10.0 ^{eg}	19.0 ^{hj}	16.0 ^{ef}	8	
3.00 th	583.0 ^e	3.50 ^{gh}	10.6 ^{gi}	9.0 th	23.0 ^{ef}	14.3 ^{gi}	0	حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی Remove irrigation at budding stage
3.20 ^{d-f}	532.7 ^f	3.40 ^{hj}	12.0 ^{eg}	11.0 ^{ce}	27.0 ^b	15.3 ^{fh}	3	
2.90 ^{gh}	585.0 ^e	3.30 ^{ik}	10.6 ^{gi}	12.0 ^{bc}	25.6 ^{bd}	14.3 ^{gi}	6	
3.00 ^{fg}	790.1 ^a	3.50 ^{gh}	15.0 ^a	12.6 ^b	20.6 ^{gh}	17.0 ^{de}	8	
3.30 ^e	529.7 ^f	3.56 ^{fg}	10.3 ^{hi}	12.0 ^{bc}	18.3 ^{ik}	15.6 ^{eg}	0	حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی Remove irrigation at flowering stage
3.16 ^{df}	545.0 ^f	3.51 ^{gh}	12.0 ^{eg}	10.0 ^{eg}	17.0 ^k	17.6 ^{cd}	3	
3.30 ^{ce}	688.3 ^c	3.66 ^{ef}	10.0 ⁱ	8.6 ^{gh}	20.0 ^{gi}	20.3 ^{ab}	6	
3.53 ^b	533.7 ^f	3.80 ^{de}	13.0 ^{bd}	8.0 ^h	17.3 ^{jk}	18.0 ^{cd}	8	
3.83 ^a	693.0 ^c	3.90 ^{cd}	14.3 ^{ab}	12.0 ^{bc}	24.6 ^{ce}	21.3 ^a	0	حذف آبیاری در مرحله شروع پر شدن دانه Remove irrigation at seed filling stage
3.73 ^a	740.0 ^b	4.10 ^b	14.3 ^{ab}	11.0 ^{ce}	26.3 ^{bc}	19.6 ^b	3	
3.33 ^{cd}	566.3 ^e	4.00 ^{bc}	10.6 ^{gi}	14.3 ^a	24.0 ^{de}	19.0 ^{bc}	6	
3.46 ^{bc}	644.0 ^d	4.30 ^a	12.3 ^{cf}	13.0 ^{ab}	29.3 ^a	17.6 ^{cd}	8	

* میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد با یکدیگر ندارند.
* Means that have a common letter, have not significantly different together at 5%.

هرچند که کاربرد اسید سالیسیلیک به‌میزان هشت میلی‌مولار در مقایسه با سه سطح دیگر اسید سالیسیلیک در شرایط وقوع تنش در مرحله ساقه‌دهی، به‌طور معنی‌داری سبب افزایش تعداد انشعابات فرعی در بوته گردید. با این حال، باز هم تعداد انشعابات فرعی در بوته تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط وقوع تنش در مرحله ساقه‌دهی، کمتر از تعداد انشعابات فرعی در بوته در سطوح مشابه اسید سالیسیلیک و سایر سطوح رژیم آبیاری بود (جدول ۳). این موضوع نشان‌دهنده حساسیت بالای این مرحله فنولوژیک به تنش آبی در تعیین تعداد انشعابات فرعی در بوته می‌باشد. در همین راستا، محمد و عبدو (Mohamed & Abdu, 2004) گزارش کردند که تنش کم آبی سبب کاهش معنی‌دار تعداد شاخه فرعی در ساقه اصلی رازیانه گردید و این موضوع در کاهش عملکرد میوه رازیانه تأثیرگذار بود.

تعداد چتر در بوته

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چتر در بوته رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با ۲۹/۳ عدد چتر در بوته، بیشترین تعداد چتر در بوته را از خود نشان داد. پس از این تیمار، تیمار کاربرد سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی با ۲۷ عدد چتر در بوته، در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها، تعداد چتر در بوته کمتر از ۲۶/۴ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر چتر در بوته به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. کمترین مقادیر چتر در بوته نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در سه سطح صفر، سه و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد چتر در بوته کمتر از ۱۸/۴ عدد در بوته بود (جدول ۴). در سه رژیم آبیاری حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و آبیاری کامل، با افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از شش به هشت میلی‌مولار، تعداد چتر در بوته به‌طور معنی‌داری و به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۴، ۱۹/۵ و ۱۵/۶ درصد کاهش یافت (جدول ۴). به‌طور کلی تعداد چتر در بوته رازیانه، علاوه‌بر ژنوتیپ، تا حد زیادی متأثر از عوامل

محیطی همچون رطوبت خاک می‌باشد (Heidari et al., 2012). در تحقیق حاضر، بیشترین مقادیر چتر در بوته در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه وجود داشت. لذا به نظر می‌رسد که تعداد چتر در بوته رازیانه تا قبل از مرحله پر شدن دانه تعیین می‌شود و وقوع تنش رطوبتی در این مرحله، تأثیر چندانی بر تعداد چتر در بوته ندارد. نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi Shahri et al., 2015) نیز در ارزیابی کارکرد برخی از توده‌های رازیانه بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی، کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته را تحت شرایط تنش خشکی گزارش کردند. در تحقیقی دیگر، کوچکی و همکاران (et al., 2006) در بررسی اثرات رژیم‌های مختلف آبیاری و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد رازیانه کاهش معنی‌دار تعداد چتر در بوته را در شرایط اعمال تنش خشکی عنوان کردند. علاوه‌براین، بر اساس نتایج تحقیق حاضر، چنین تفسیر می‌گردد که کاربرد اسید سالیسیلیک تا میزان شش میلی‌مولار می‌تواند در افزایش تعداد چتر در بوته تأثیرگذار باشد و کاربرد اسید سالیسیلیک بیش از این مقدار، سبب کاهش تعداد چتر در بوته می‌گردد. چن و همکاران (Chen et al., 2002) اظهار داشتند که اسید سالیسیلیک یک فیتوهورمون است که در برخی از فعالیت‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی گیاه اعم از کنترل تنفس، بسته‌تر شدن روزنه‌ها در شرایط تنش، جوانه‌زنی بذر، فرایند گلیکولیز، گل‌دهی و رسیدگی میوه نقش تنظیم‌کنندگی دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد که اسید سالیسیلیک از طریق ایجاد فرایندهای بالا باعث بهبود شرایط رشد رازیانه در شرایط تنش شده باشد.

تعداد چترک در چتر

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد چترک در چتر رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۱۴/۳ و ۱۳ عدد چترک در چتر، بیشترین تعداد چترک در چتر را از خود نشان دادند. در سایر تیمارها، تعداد چترک در چتر کمتر از ۱۲/۷ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر چترک در چتر به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. کمترین

مقادیر چترک در چتر نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در دو سطح شش و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد چترک در چتر کمتر از $8/7$ عدد در بوته بود (جدول ۴). گزارش‌های علمی حاکی از آن هستند که تعداد چترک در چتر رازیانه، از جمله اجزای عملکرد است که کاملاً تحت تأثیر عوامل محیطی همچون رطوبت خاک قرار می‌گیرد (Heidari et al., 2012). با توجه به اینکه در این تحقیق، بیشترین مقادیر چترک در چتر در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه وجود داشت، از این رو، به نظر می‌رسد که تعداد چترک در چتر رازیانه تا قبل از وقوع مرحله پر شدن دانه مشخص گشته و اعمال تنش رطوبتی در این مرحله، تأثیر چندانی بر تعداد چترک در چتر این گیاه ندارد. از طرف دیگر، با عنایت به این موضوع که کمترین مقادیر چترک در چتر در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی مشاهده گردید، لذا به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در این مرحله سبب می‌شود تا چترک‌هایی که آغاز آن‌ها در چتر شکل گرفته است، فرصت ظهور پیدا نکنند. نتایج این تحقیق، با یافته‌های پوریوسف (Pouryousef, 2015) مطابقت دارد. این محقق نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل و زمان برداشت بر عملکرد دانه و محتوای اسانس رازیانه، اثر سه سطح تنش خشکی عدم تنش (شاهد)، تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه را مورد بررسی قرار داد. وی اظهار داشت که وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تأثیر معنی‌داری در کاهش تعداد چترک در چتر رازیانه نداشت و از این نظر، اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود. اما اعمال تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد چترک در چتر رازیانه گردید. در تحقیقی دیگر، نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi et al., 2015) نیز کاهش معنی‌دار تعداد چترک در چتر رازیانه را طی بررسی کارکرد برخی از توده‌های رازیانه بومی ایران تحت شرایط تنش خشکی در مرحله زایشی، گزارش کردند.

تعداد دانه در چترک

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر تعداد دانه در چترک رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در

شرایط آبیاری کامل و همچنین کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با تولید بیش از $14/3$ عدد دانه در چترک، بیشترین تعداد دانه در چترک را به خود اختصاص دادند و همگی در یک گروه آماری قرار گرفتند. در سایر تیمارها، تعداد دانه در چترک کمتر از $13/1$ عدد بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، کمترین مقادیر دانه در چترک در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در دو سطح صفر و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، تعداد دانه در چترک کمتر از $10/4$ عدد در چترک بود (جدول ۴). به نظر می‌رسد که مشابه صفت تعداد چترک در چتر، تعداد دانه در چترک رازیانه نیز تا قبل از وقوع مرحله پر شدن دانه مشخص گشته است. به عبارت دیگر، با توجه به وجود کمترین مقادیر تعداد دانه در چترک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، به نظر می‌رسد که این مرحله نقش مهمی در تعیین تعداد دانه در چترک رازیانه داشته و وقوع تنش خشکی در این مرحله سبب می‌شود تا دانه‌هایی که آغاز آن‌ها در چترک تشکیل شده است، نتوانند فرصت ظهور پیدا کنند. علاوه‌براین، احتمالاً کاهش آب آبیاری در مرحله گل‌دهی، از طریق ایجاد اختلال در فرایند گرده‌افشانی و کاهش طول دوره گرده‌افشانی، موجب عدم تلقیح مناسب گل‌ها و کاهش تعداد دانه در چترک شده است. پوریوسف (Pouryousef, 2015) نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهای فصل (تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه) و زمان برداشت بر عملکرد دانه رازیانه، گزارش کرد که وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه، تأثیر معنی‌داری در کاهش تعداد دانه در چترک رازیانه نداشت و از این نظر، اختلاف این تیمار با شاهد معنی‌دار نبود. اما اعمال تنش در مرحله گل‌دهی باعث کاهش معنی‌دار تعداد دانه در چترک رازیانه گردید. کاهش تعداد دانه در گل‌آذین رازیانه در شرایط تنش خشکی، توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Heidari et al., 2012). بنابراین، با توجه به اینکه تعداد دانه در چتر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد رازیانه می‌باشد، لذا تغییرات در این صفت می‌تواند در عملکرد نهایی بسیار مؤثر باشد.

وزن هزار دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر وزن هزار دانه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین صورت که تیمار کاربرد هشت

در مرحله پر شدن دانه، با افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از صفر به هشت میلی‌مولار، وزن هزار دانه به‌طور معنی‌داری و به‌ترتیب به‌میزان ۶/۷ و ۱۰/۳ درصد افزایش یافت (جدول ۳). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک در این مراحل رشدی، می‌تواند در افزایش وزن هزار دانه رازیانه مؤثر باشد. اسید سالیسیلیک با افزایش تولید مواد فتوسنتزی و انتقال این مواد به‌سمت مخازن (بذرها) باعث افزایش وزن هزار دانه در این شرایط شده است (Yeganepur et al., 2016).

عملکرد دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر عملکرد دانه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد که کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط آبیاری کامل با تولید بیش از ۸۰۰ کیلوگرم در هکتار، بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص دادند. بعد از این تیمارها، تیمار کاربرد سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه، با عملکرد دانه ۷۴۰ کیلوگرم در هکتار در رتبه بعدی قرار گرفت. در سایر تیمارها، عملکرد دانه کمتر از ۶۹۴ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). به‌طور کلی، کمترین مقادیر عملکرد دانه در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در سه سطح صفر، سه و هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، عملکرد دانه کمتر از ۵۴۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق، به نظر می‌رسد که تأثیرگذارترین جزء عملکرد بر روی عملکرد دانه رازیانه، تعداد دانه در چترک باشد. چرا که در چهار تیماری که بالاترین عملکردهای دانه را از خود نشان دادند، بیشترین تعداد دانه در چترک نیز وجود داشت. علاوه‌براین، با توجه به نقش تأثیرگذار تعداد دانه در چترک بر عملکرد دانه رازیانه و اثربخشی بالای تیمار حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی بر روی این جزء از عملکرد، به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی نسبت به سایر مراحل رشدی، بیشترین تأثیر را در کاهش عملکرد دانه رازیانه دارد. پوریوسف (Pouryousef, 2015) نیز طی بررسی تأثیر تنش خشکی انتهایی فصل (تنش در مرحله گل‌دهی و تنش در مرحله پر شدن دانه) و زمان برداشت بر عملکرد دانه رازیانه، وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی را مهم‌ترین عامل در کاهش تعداد دانه در چترک و به‌دنبال آن، کاهش عملکرد دانه رازیانه عنوان

میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه با وزن هزار دانه ۴/۳ گرم، بیشترین وزن هزار دانه را از خود نشان داد. پس از این تیمار، تیمارهای کاربرد سه و شش میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به‌ترتیب با ۴/۱ و چهار گرم وزن هزار دانه، در رتبه بعدی قرار گرفتند. در سایر تیمارها، وزن هزار دانه کمتر از چهار گرم بود. (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر وزن هزار دانه به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. به نظر می‌رسد که این موضوع ناشی از اهمیت پدیده انتقال مجدد در گیاه رازیانه و تأثیر کمتر تنش خشکی اعمال شده در مرحله پر شدن دانه، بر روی این پدیده مهم باشد. توضیح اینکه عموماً در گیاهان زراعی، در طی دوره‌ای از رشد، تجمع ماده خشک در بافت‌های گیاه بیشتر از میزان مصرف آن جهت رشد گیاه است. در این حالت مواد فتوسنتزی مازاد، به‌صورت قندهای مختلف، اغلب در ناحیه طوقه و ساقه ذخیره می‌شوند و در مراحل بعدی رشد که معمولاً از دو تا سه هفته پس از گل‌دهی شروع می‌شود به دانه انتقال می‌یابند (Sabry et al., 1995). در دوره پر شدن دانه فعالیت اندام‌های فتوسنتزی تا حدی کاهش یافته و سرعت تجمع ماده خشک در دانه از سرعت تولید آن در کل گیاه بیشتر است (Ahmadi et al., 2006). لذا در این زمان، نقش پدیده انتقال مجدد بسیار حائز اهمیت می‌باشد. واردلو و ویلنبرینک (Wardlow & Wilenbrink, 1994) گزارش کردند که سهم کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای در پر شدن دانه تحت شرایط مطلوب تقریباً ۵ تا ۱۵ درصد است. اما در شرایط تنش، نقش پدیده انتقال مجدد، پر رنگ تر می‌شود. به عبارت دیگر، در شرایط بروز محدودیت آب و تنش رطوبتی، به‌واسطه اثرات کاهشی تنش خشکی بر روی فتوسنتز جاری، نقش پدیده انتقال مجدد، در پر شدن دانه پر رنگ‌تر می‌گردد (Ahmadi et al., 2006). در تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در مراحل قبل از پر شدن دانه، تأثیر سوئی بر روی ذخیره مواد فتوسنتزی مازاد داشته و این امر سبب کم‌رنگ شدن نقش پدیده انتقال مجدد در زمان پر شدن دانه شده است. لکن در تیمار اعمال تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه (که قبل از آن، گیاه با تنشی مواجه نشده و به‌خوبی به ذخیره مواد فتوسنتزی پرداخته است)، پدیده انتقال مجدد، نقش بسزایی را در پر شدن دانه و به‌دنبال آن، افزایش وزن هزار دانه ایفا کرده است. همچنین در تحقیق حاضر، در دو رژیم آبیاری حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی و حذف آبیاری

کرد. در تحقیقی دیگر، پوریوسف و همکاران (Pouryousef et al., 2012) بیان نمودند که بروز تنش خشکی طی مراحل مختلف نموی مخصوصاً مرحله زایشی سبب کاهش طول دوره فتوسنتزی، انتقال مواد حاصل از فتوسنتز جاری به دانه، کاهش سهم انتقال مجدد مواد ذخیره شده ساقه به دانه‌ها و در نهایت، کاهش عملکرد دانه رازیانه می‌گردد. نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi et al., 2015) (Shahri) گزارش کردند که وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی، علاوه بر کاهش قدرت مخزن در انباشت مواد فتوسنتزی و کاهش تعداد دانه در چتر، بر فتوسنتز جاری نیز اثر سوء داشته و این امر باعث کاهش عملکرد دانه رازیانه می‌شود.

مقدار اسانس دانه

اثر متقابل تنش خشکی و اسید سالیسیلیک بر مقدار اسانس دانه رازیانه معنی‌دار شد (جدول ۳). بدین ترتیب که تیمارهای کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه به ترتیب با $3/83$ و $3/73$ درصد اسانس، بیشترین مقدار اسانس را از خود نشان دادند. بعد از این تیمارها، دو تیمار کاربرد هشت میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در مراحل حذف آبیاری در زمان گل‌دهی و در زمان پر شدن دانه در رتبه بعدی قرار گرفتند. در سایر تیمارها، مقدار اسانس، کمتر از $3/33$ درصد بود (جدول ۴). به‌طور کلی، بیشترین مقادیر اسانس به سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه تعلق داشت. کمترین مقادیر مقدار اسانس نیز در سطوح مختلف اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی ملاحظه گردید؛ به‌طوری‌که در هیچ یک از سطوح اسید سالیسیلیک در این رژیم آبیاری، مقدار اسانس حتی به $2/9$ درصد هم نرسید (جدول ۴). به‌طور کلی، تشکیل و تجمع متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس در گیاهان، تحت شرایط تنش خشکی تمایل به افزایش دارد. چرا که با وقوع تنش خشکی، رشد گیاه تا حد زیادی متوقف شده و گیاه کربن جذب شده از روزنه‌ها را که می‌بایست در فرایند فتوسنتز شرکت کند، به تولید ترکیبات ثانویه اختصاص می‌دهد (Nourruzi Shahri et al., 2015). به عبارت دیگر، با وقوع تنش خشکی، گیاه برای انجام تنظیم اسمزی، غلظت متابولیت‌ها را در سلول‌های بخش‌های حساس خود افزایش می‌دهد که در نتیجه آن، پتانسیل اسمزی منفی‌تر می‌گردد (Claudio et al., 2006). تنظیم اسمزی می‌تواند به‌وسیله تبدیل پلی ساکاریدها به

یکدیگر (مثل نشاسته، فروکتان‌ها و ...) و همچنین تبدیل الیگوساکاریدها به یکدیگر (مثل ساکارز و ...) کنترل شود. در این مکانیسم، گیاه از طریق تجمع متابولیت‌ها در سلول‌های در حال رشد و نقاط مرستمی، پتانسیل اسمزی را در این سلول‌ها منفی‌تر کرده و بدین ترتیب، جذب آب و آماس سلولی را برای این سلول‌ها حفظ می‌کند (Claudio et al., 2006). لکن با کاهش آب آبیاری میزان دسترسی به عناصر غذایی کمتر شده و رشد گیاه بیش از فتوسنتز محدود می‌شود و در نتیجه، بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به تولید متابولیت‌های ثانویه و اسانس‌ها اختصاص می‌یابد (Pouryousef, 2015). این نتایج با گزارش‌های نوروزی شهری و همکاران (Nourruzi Shahri, 2015) مطابقت دارد. آن‌ها نیز افزایش مقدار اسانس رازیانه را در شرایط وقوع تنش خشکی در مرحله زایشی گیاه عنوان کردند. همچنین در تحقیق حاضر، در دو رژیم آبیاری حذف آبیاری در مرحله ساقه‌دهی و حذف آبیاری در مرحله گل‌دهی، با افزایش مقدار اسید سالیسیلیک از صفر به هشت میلی‌مولار، مقدار اسانس به‌طور معنی‌داری و به ترتیب به میزان $14/4$ و $6/97$ درصد افزایش یافت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که کاربرد اسید سالیسیلیک در این مراحل رشدی، می‌تواند در افزایش مقدار اسانس رازیانه مؤثر باشد. هوروات و همکاران (Horvath et al., 2007) در گزارش‌های خود بیان نمودند که کاربرد خارجی اسید سالیسیلیک باعث ایجاد مقاومت نسبت به تنش خشکی از طریق بسته‌تر شدن روزنه‌ها در گیاهان می‌شود.

نتیجه‌گیری

در مجموع، به نظر می‌رسد که وقوع تنش خشکی در مرحله گل‌دهی نسبت به اعمال تنش در سایر مراحل رشدی، بیشترین تأثیر را در کاهش اجزای عملکرد و عملکرد دانه رازیانه داشت. همچنین اعمال اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله غنچه‌دهی، سبب بهبود عملکرد دانه و همچنین در مرحله ساقه‌دهی و گل‌دهی باعث افزایش مقدار اسانس دانه رازیانه گردید. هرچند که اثر بخشی آن از روند خاصی پیروی نکرد. علاوه بر این، بیشترین مقادیر اسانس دانه در زمان وقوع تنش خشکی در مرحله پر شدن دانه ملاحظه گردید. نتایج نشان داد که تیمارهای کاربرد صفر و سه میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در شرایط حذف آبیاری در مرحله پر شدن دانه،

References

- Ahmadi, A., Si-o-se Mardeh, A., and Zali, A., 2006. Comparison of storage capacity and remobilization of photosynthetic materials and their contribution to yield of four wheat cultivars under favorable irrigation and drought stress conditions. *Journal of Agricultural Science of Iran* 35(4): 921-931. (In Persian with English Summary)
- Al- Kayssi, A.W., Shihab, R.M., and Mustafa, S.H., 2011. Impact of soil water stress on Nigel lone oil content of black cumin seeds grown in calcareous-gypsiferous soils. *Agriculture, Water Management* 100: 46-57.
- Anant, K.J., Sanket, K.J., and Tarun, P., 2005. Seed album of some medicinal plants of India. *Asian Medicinal Plants and Health Care Trust*, New Dehli, India. 107 pp.
- Arshadi, M.J., 2016. Investigation of the effect of seeds inoculation of chickpea (*Cicer arietinum* L.) with arbuscular mycorrhiza and pseudo-endomycorrhiza in response to drought stress. Ph.D. Dissertation. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
- Aziz, A.E., Handawi, S.T., and Din, E.E., 2008. Effect of soil type and irrigation intervals on plant growth, essential oil yield, and constituents of (*Thymus vulgaris*) plant. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences* 4: 443-450.
- Belkhadi, A., Hediji, H., Abbes, Z., Nouairi, I., Barhoumi, Z., Zarrouk, M., Chaibi, W., and Djebali, W., 2010. Effects of exogenous salicylic acid pre-treatment on cadmium toxicity and leaf lipid content in (*Linum usitatissimum* L.) *Ecotoxicology and Environmental Safety* 1-8.
- Chen, H., Qualls, R.G., and Miller, G.C., 2002. Adaptive responses of (*Lepidium latifolium*) to soil flooding: biomass allocation, adventitious rooting, parenchyma formation, and ethylene production. *Environmental and Experimental Botany* 48: 119-128.
- Claudio, A., Chimenti, M., Marcantonio, M., and Hall, A.J., 2006. Divergent selection for osmotic adjustment results in improved drought tolerance in maize (*Zea mays* L.) in both early growth and flowering phases. *Field Crops Research* 95: 305-315.
- Hassani, A., and Omidbaigi, R., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Journal Biological science* 6(4): 763-767. (In Persian with English Summary)
- Heidari, N., Pouryousef, M., Tavakoli, A., and Saba, J., 2012. Effect of drought stress and harvesting date on yield and essential oil production of anise (*Pimpinella anisum* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 28: 121-130. (In Persian with English Summary)
- Horvath, E., Szalai, G., and Janda, T., 2007. Induction of abiotic stress tolerance by salicylic acid signaling. *Journal of Plant Growth Regulation* 26: 290-300.
- Imam, Y., and Zavarehi, M., 2005. Drought Tolerance in Higher Plants (Genetically, Physiological and Molecular Biological Analysis). Academic Publishing Center of Tehran, Iran. pp. 186. (In Persian)
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Azizi, G., 2006. The effect of different irrigation intervals and plant densities on yield and yield components of two fennel (*Foeniculum vulgare*) landraces. *Iranian Journal of Field Crops Research* 4: 131-139. (In Persian with English Summary)
- Mohamed, M.A.H., and Abdu, M., 2004. Growth and oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill), effect of irrigation and organic fertilization. *Biology, Agriculture and Horticulture* 22: 31-39.
- Nourruzi Shahri, F., Pouryousef, M., Tavakkoli, A., Saba, J., and Yazdinezhad, A.R., 2015. Evaluation of the function of some Native fennel masses (*Foeniculum vulgare* Mill.) of Iran under drought stress. *Journal of Iranian Crop Science* 46(1): 49-56. (In Persian with English Summary)
- Omid Baigi, R., 2007. Production and processing of medicinal plants. (4th Ed.). Astan Ghods Publication, Iran Vol. 2, 438 pp. (In Persian).
- Omid Baigi, R., and Hornok, L., 1991. Effect of water supply on the production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) International Conference of Cultivation, Collection and Processing of Medicinal Herbs, 4-6 June, Czechoslovakia.
- Osman, Y.A.H., 2009. Comparative study of some agricultural treatments effects on plant growth, yield, and chemical constituents of some fennel varieties under Sinai conditions. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 5(4): 541-554.

- Pandey, R.K., Maranville, J.W., and Admou, A., 2001. Tropical wheat response to irrigation and nitrogen in a shaolin environment: I. Grain yield, yield components, and water use efficiency. *European Journal of agronomy* 15: 93-105.
- Pouryousef, M., 2015. Effects of terminal drought stress and harvesting time on seed yield and essential oil content of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants* 30(6): 889-897. (In Persian with English Summary)
- Pouryousef, M., Tavakoli, A., Maleki, M., and Barkhordari, K., 2012. Effects of drought stress and harvesting time on grain yield and its components of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *National Congress on Medicinal Plants*, 16- 17 May, Kish Island, pp. 315. (In Persian with English Summary)
- Rezaei Chiyaneh, E., Zehtab Salmasi, S., Ghassemi Golezani, K., and Delazar, A., 2013. Physiological responses of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) to water limitation. *Journal of Agroecology* 4(4): 347-355. (In Persian with English Summary)
- Rhodes D., and Hanson, A.D., 1993. Quaternary ammonium and tertiary sulphonium compounds in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 44: 357-384.
- Sabry, S.R.S., Smith, L.T., and Smith, G.M., 1995. Osmo-regulation in spring wheat under drought and salinity stress. *Journal of Genetics and Breeding* 49: 55-60.
- Wang, L., Chen, S., Kong, W., Li, S., and Archbold, D.D., 2006. Salicylic acid pretreatment alleviates chilling injury and effects the antioxidant system and heat shock proteins of peaches during cold storage. *Postharvest Biology and Technology* 41:244-251.
- Wardlow, I.F., and Wilenbrink, J., 1994. Carbohydrate storage and mobilization by the culm of wheat between heading and grain maturity: The relation of sucrose synthase and sucrose-phosphate synthase. *Australian Journal of Plant Physiology* 21: 255-271.
- Yeganepur, F., Zehtab Salmasi, S., Shafagh, J., and Ghasemi Golozani, K., 2016. Effect of drought stress chemical and biofertilizer and salicylic acid on grain yield and yield components of coriander (*Coriandrum sativum* L.), *Journal of Crop Production* 9: 37-55. (In Persian)



Effect of Drought Stress and Different Concentrations of Salicylic Acid on Yield, Yield Components, and Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.)

A. Ghilavizadeh¹, E. Hadidi Msouleh^{2*}, H. Zakerin² and S.A. Valadabadi³

Submitted: 16-12-2018

Accepted: 17-04-2019

Ghilavizadeh, A., Hadidi Msouleh, E., Zakerin, H., and Valadabadi, S.A., 2021. Effect of drought stress and different concentrations of salicylic acid on yield, yield components, and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Journal of Agroecology 13(1):89-101.

Introduction

Medicinal plants are of the most valuable reserves of natural resources in Iran, and if there is correct recognition of them, these plants can play an important role in the health of the community, employment, and non-oil exports. Fennel (*Foeniculum vulgare* L.) is a perennial herb that is one of the most important and is widely used as medicinal plants that is mainly cultivated for the purpose of using essential oils in various industries of pharmaceutical, food, cosmetic and sanitary. Therefore, this research was carried out with the aim of investigating the effects of different concentrations of salicylic acid on the qualitative and quantitative characteristics of fennel under drought stress conditions at phonological stages.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications. The main factor included five levels of irrigation regimes: full irrigation, irrigation at stemming stage, irrigation at a budding stage, irrigation at flowering stage, and irrigation at seed filling stage. The subfactor included four different concentrations of salicylic acid: zero, 3, 6, and 8 mM. In the treatment of irrigation regimes, irrigation proceeded until the end of the growth period after irrigation was discontinued at the growth stage. At the end of the growing season, in order to evaluate the yield components, ten plants per plot were selected randomly, and the yield components were measured. In the southern half of each plot, seed yield was measured after collecting plants and seed separation. The essence of the seeds was extracted by the water distillation method, and the essential oil content was calculated.

Results and Discussion

The results showed that two treatments for non-application of salicylic acid in irrigation in the grain filling stage and application of six mM of salicylic acid at irrigation at flowering stage obtained the highest number of sub-branches per plant with 21.3 and 20.3 sub-branches in the plant, respectively. Treatment of application of 8 mM salicylic acid in irrigation at seed filling stage revealed the largest number of umbrellas per plant and weight of 1000 seeds. The largest number of umbellet per umbrellas belonged to six and eight mM salicylic acid applications in the treatment of irrigation at the seed filling stage. The lowest amount of seeds in the umbellet was observed at different levels of salicylic acid in irrigation at the flowering stage. Treatments of application of 8 mM salicylic acid in irrigation at budding stage and application of zero and three mM salicylic acid incomplete irrigation conditions obtained the highest seed yield by producing more than 790 kg per hectare. Application of zero and three mM

1- Ph.D. Student of Ecology, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

2- Assistant Professor of Agronomy, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

3- Associate Professor of Agronomy, Department of Agronomy, College of Agriculture, Islamic Azad University, Takestan Branch, Takestan, Iran.

(*- Corresponding Author Email: hadidimasole@gmail.com)

Doi:10.22067/jag.v13i1.77417

salicylic acid at irrigation in seed filling stage showed the highest amount of essential oil by 3.83 and 3.73% essential oils, respectively, and after those, two treatments of application of 8 mM salicylic acid at irrigation in the flowering stage and at the time of seed filling were placed at the next rank.

Conclusion

In general, it seems that the occurrence of drought stress at the flowering stage compared to stress in other stages of development, had the greatest effect on reducing the yield components and grain yield of fennel. Also, the application of salicylic acid in conditions of irrigation removal in the budding stage improved seed yield, as well as at stemming and flowering stage, increased the amount of essential oil of fennel seed. However, its effectiveness did not follow a particular process. In addition, the highest amounts of essential oil were observed at the time of drought stress in the grain filling stage. The results showed that application of zero and three milliliters of salicylic acid produced the highest amount of essential oil at irrigation interruptions in the grain filling stage.

Keywords: Irrigation regime, Quantitative and qualitative traits, Foliar application



مقاله علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم

ندا شریفی حداد^۱، رضا دیهیم‌فرد^{۲*}، امید نوری^۳ و سجاد رحیمی مقدم^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۸

شریفی حداد، ن.، دیهیم‌فرد، ر.، نوری، ا.، و رحیمی مقدم، س.، ۱۴۰۰. شبیه‌سازی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در ارقام غالب ذرت تحت شرایط محدودیت آب و تغییر اقلیم. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۱۵-۱۰۳.

چکیده

به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب در ارقام ذرت آزمایشی تحت شرایط تغییر اقلیم و محدودیت آب در استان خوزستان (مناطق اهواز، ایذه، دزفول و بستان) طراحی شد. اقلیم آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در این مناطق با استفاده از مدل گردش عمومی MiROC5، تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5 و روش AgMIP پیش‌بینی شد. همچنین از مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه ذرت در دوره گذشته (۱۹۸۰-۲۰۱۰) و آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰) استفاده گردید. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط عملکرد دانه و کارایی مصرف آب ذرت در استان خوزستان در آینده نسبت به گذشته به‌ترتیب ۲- و ۵/۷- درصد کاهش و میانگین دما در طول فصل رشد و تبخیر و تعرق ۱۲/۶+ و ۹/۰+ درصد افزایش خواهد داشت. به‌علاوه نتایج نشان داد که اگر کشاورزان یک آبیاری مناسب (آبیاری ۱۰ دور) به‌کار ببرند، این موضوع باعث افزایش کارایی مصرف آب (۴۲ درصد) و کاهش تبخیر و تعرق (۳/۸ درصد) خواهد شد. این سطح بهینه آبیاری در دوره آینده به‌همراه یک رقم دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) می‌تواند بهترین نتیجه را در استان خوزستان از نظر عملکرد دانه (۷۹۹۹/۲۶ کیلوگرم در هکتار) و کارایی مصرف آب (۱۶/۹۴ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق، رژیم آبیاری، مدل APSIM

مقدمه:

چرا که تغییر اقلیم از طریق افزایش غلظت دی‌اکسید کربن اتمسفری، تغییرات دما و نوسان‌های بارش به‌طور مستقیم تولیدات کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bannayan et al., 2003; Bannayan et al., 2005).

تغییرات آب‌وهوایی در برخی مناطق باعث خشک‌سالی و تأثیر مستقیم بر کشاورزی می‌شود، و از آنجایی که در کشاورزی آب مهم‌ترین عامل در تعیین عملکرد محصول و دستیابی به کیفیت مناسب است، این موضوع می‌تواند در مناطق حساس به تغییرات اقلیمی چشمگیر باشد. مناطق خشک و نیمه خشک از نظر سیستم‌های اکولوژیکی و منابع آب محدود هستند. یکی از مناطق گرم و خشک کشور استان خوزستان است که محصولات کشاورزی آن به‌ویژه ذرت نسبت به تغییرات اقلیمی بسیار حساس می‌باشد (Rahimi-

امروزه در شرایطی که رشد سریع جمعیت و توسعه اقتصادی، تقاضا برای غذا را افزایش داده است (Huang et al., 2002)، تغییر اقلیم می‌تواند بر امنیت غذایی در نقاط مختلف جهان تأثیرگذار باشد،

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
- ۲- دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
- ۳- استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، ایران.
- ۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران.

(* - نویسنده مسئول: Email: deihimfard@gmail.com)

Doi:10.22067/jag.v13i1.80923

در اجرای مستقیم آزمایش‌های زراعی، یکی از راهکارهای مناسب و کم‌هزینه برای اندازه‌گیری اثرات تغییر اقلیم بر محصولات کشاورزی رهیافت مدل‌سازی و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی است که می‌توانند منجر به صرفه‌جویی در زمان و هزینه شود (Manschadi et al., 2010). با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان به‌جای چند سال آزمایش در مزرعه، با کمک آمارهای بلندمدت هواشناسی، رفتار گیاه را با استفاده از مدل شبیه‌سازی کرد (Soltani & Hoogenboom, 2007). با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی بر مصرف آب و کارایی مصرف آب در ذرت تأثیر بسزایی داشته و همچنین اهمیت استان خوزستان در تولید ذرت دانه‌ای در کشور و قرارگیری این استان در یک اقلیم خشک و نیمه‌خشک و گرم، این تحقیق در راستای بررسی عملکرد و کارایی مصرف آب ارقام غالب ذرت دانه‌ای تحت مدیریت-های مختلف آبیاری به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب و کارایی مصرف آن انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

این مطالعه در چهار شهرستان استان خوزستان شامل دزفول، ایذه، بستان و اهواز انجام شد (شکل ۱). استان خوزستان در جنوب غرب ایران بین طول‌های جغرافیایی ۳۳° تا ۳۹° ۵۰° شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۵۷° تا ۲۹° ۳۳° ۰۰° شمالی واقع شده است. این استان با مساحتی برابر ۶۳۲۱۳ کیلومتر مربع، دارای آب‌وهوای نیمه‌صحرائی که میزان گرمای متوسط سالیانه آن از ۱۸ درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند و دارای تابستان‌های خشک و هوای مه‌آلود است. استان خوزستان از لحاظ آب‌وهوایی به سه دسته سردسیری، گرم و خشک و معتدل تقسیم می‌شود. این استان به‌مساحتی برابر ۶۳۲۱۳ کیلومتر مربع، دارای آب‌وهوای استان خوزستان از نوع آب‌وهوای نیمه‌صحرائی نواحی کم‌عرض جغرافیایی است که میزان گرمای متوسط سالیانه آن از ۱۸ درجه‌سانتی‌گراد تجاوز می‌کند و دارای تابستان‌های خشک و هوای مه‌آلود است. استان مذکور از لحاظ آب‌وهوایی به سه دسته سردسیری، گرم و خشک و معتدل تقسیم می‌شود.

داده‌های اقلیمی و پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده

در این تحقیق ابتدا داده‌های بلندمدت اقلیمی شهرستان‌های مورد

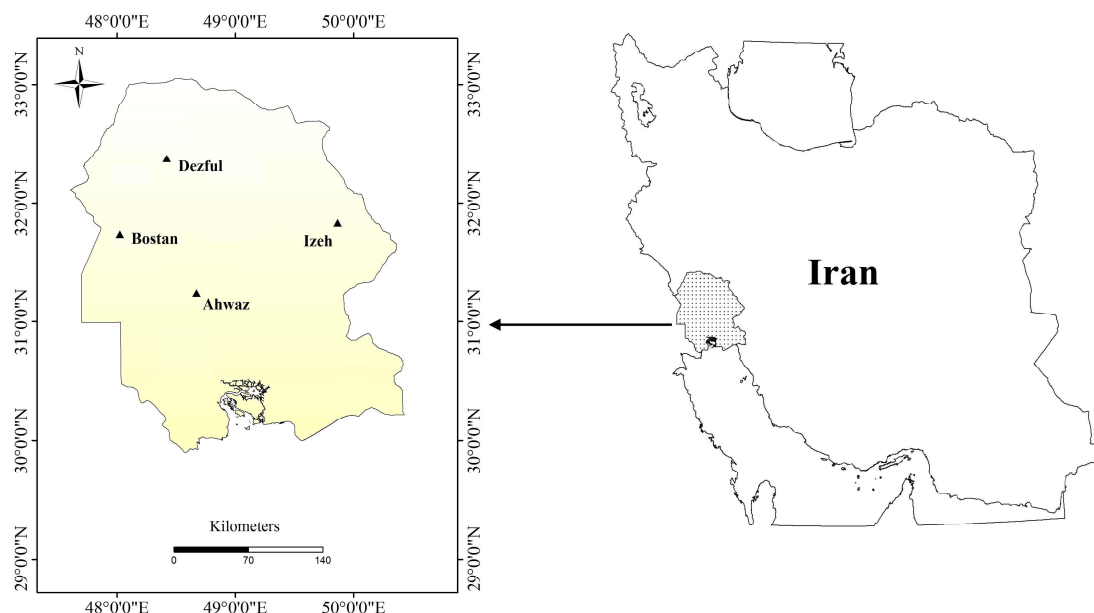
Moghaddam et al., 2018; Rahimi-Moghaddam et al., 2021). استان خوزستان دارای بیشترین سطح زیر کشت و عملکرد دانه‌ای در کشور می‌باشد، به‌طوری‌که ۳۷/۷ درصد سطح زیر کشت ذرت (*Zea mays* L.) دانه‌ای و ۳۴/۷۶ درصد تولید این محصول در کل کشور متعلق به این استان است (Anonymous, 2014). با این وجود، در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی، محدودیت منابع آبی، توزیع نامناسب بارش و عدم مدیریت صحیح منابع، باعث کاهش عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت دانه‌ای شده است و کاهش عملکرد این محصول را در استان خوزستان در پی داشته است (Abbas Torki et al., 2011). بنابراین، معرفی راهکارهایی برای افزایش کارایی مصرف آب ذرت در این استان بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

مدیریت آبیاری (Moradi et al., 2013) و ارقام مختلف (Rahimi-Moghaddam et al., 2018)، از جمله راهکارهای سازگاری با توجه به شرایط جدید هستند. در اکوسیستم‌های کشاورزی، مصرف آب باید کاهش یابد و عملکرد دانه تا حد ممکن افزایش یابد. بهینه‌سازی مصرف آب برای محصولات و بهبود کارایی مصرف آب برای دستیابی به پایداری کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است (Medrano et al., 2015). این امر می‌تواند از طریق صرفه‌جویی آب با استفاده از برنامه‌ریزی آبیاری مؤثر (Igbadun et al., 2006) و کاربرد ارقام با عملکرد بالا (Dong et al., 2011) تحقق یابد. برای مثال، در تحقیقی مارتین دسانتا-اولالا و همکاران (Martin de Santa Olalla et al., 2004) با کم‌آبیاری کنترل شده کارایی مصرف آب را در پیاز خوراکی (*Allium cepa* L.) افزایش دادند. واکریم و همکاران (Wakrim et al., 2005) در مطالعه خود بر روی گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) مشاهده کردند، کارایی مصرف آب در تیمارهای کم آبیاری نسبت به تیمار با آبیاری کامل افزایش یافت. همچنین دریافتند افزایش کارایی مصرف آب در نتیجه تعرق کمتر در تیمارهای کم‌آبیاری بود. اکتیم و همکاران (Oktem et al., 2003) به تأثیر اعمال کم‌آبیاری با دوره‌های آبیاری ۲، ۴، ۶ و ۸ روزه با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای بر گیاه ذرت پرداختند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که بیشترین عملکرد محصول در دور آبیاری دو روز با عملکرد ۱۰/۶۶ تن در هکتار بود.

مطالعات نشان می‌دهد که روش‌های مختلفی برای بررسی تأثیرات تغییر اقلیم و بررسی ارقام مختلف و رژیم‌های مختلف آبیاری تحت شرایط تغییر اقلیم وجود دارد. با توجه به محدودیت‌های زمانی

(Hoogenboom et al., 2003). مبنای بازسازی داده‌های هواشناسی بر اساس میانگین و واریانس داده‌های هواشناسی می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری تابش در مناطق مختلف از ساعات آفتابی و رابطه خطی آنگستروم (Prescott, 1940) استفاده شد.

مطالعه از ایستگاه‌های هواشناسی جمع‌آوری شد. این داده‌ها شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی‌متر) و تابش خورشیدی (مگاژول بر مترمربع در روز) از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ بودند. داده‌های مذکور با استفاده از روش بازسازی داده‌های هواشناسی که در برنامه WeatherMan معرفی شده اصلاح شدند



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان و شهرستان‌های مورد مطالعه

Fig. 1-The geographical position of Khuzestan province

CMIP5^۳ و با ابزارهای تولید سناریوهای اقلیمی (کدهای نوشته شده به زبان R) که توسط AgMIP^۴ ارائه شده است، تولید شدند (Wilby et al., 2004; AgMIP, 2013 a,b; Ruane et al., 2013; Araya et al., 2015; Rahimi-Moghaddam et al., 2018). این روش تولید سناریو اقلیمی، با استفاده از داده‌های بلندمدت اقلیمی و بر پایه تغییرات مطلق در دماها و تغییرات نسبی در بارندگی استوار است (Wilby et al., 2004; Ruane et al., 2013; Rahimi-Moghaddam et al., 2018). برای این کار از یک بسته نرم‌افزاری که توسط گروه تحقیقاتی AgMIP به زبان برنامه‌نویسی R ارائه شده است، استفاده شد. داده‌های اقلیمی در دوره پایه برای میانگین دما و

به‌منظور شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت در شرایط تغییر اقلیم آینده در استان خوزستان، ابتدا دوره اقلیمی آینده (۲۰۴۰-۲۰۷۰) در این استان با مدل گردش عمومی Miroc5^۱ تحت سناریوی اقلیمی RCP4.5^۲ پیش بینی شد. طبق مطالعات انجام شده مدل اقلیمی Miroc5 بیشترین دقت را در باز تولید داده‌های اقلیمی استان خوزستان در دوره آینده دارد (Rahimi-Moghaddam et al., 2015; Dashtbozorgi et al., 2018). سناریوی اقلیمی آینده بر اساس داده‌های اقلیمی دوره پایه (شامل درجه حرارت کمینه و بیشینه، بارندگی و تابش خورشید) تحلیل شد. سناریوی اقلیمی در این تحقیق با استفاده از روش سناریوی دلتا در مدل‌های گردش عمومی

3- Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

4- The Agricultural Model Intercomparison and Improvement Project

1- Model for Interdisciplinary Research On Climate

2- Representative Concentration Pathway

بارندگی تجمعی در طول فصل رشد و تغییرات آن‌ها در دوره آینده برای تیمارها و مناطق مختلف در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشند.

جدول ۱- میانگین دما و بارندگی تجمعی در طول دوره رشد ذرت بر ای دوره پایه و آینده در رقم دیپرس SC704 و زودرس SC260 در دور

آبیاری‌های به‌ترتیب ۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار در فصل کشت تابستان

Table 1- The mean temperature and cumulative rainfall during the growing season of maize for baseline and future periods in late- (SC704) and early-maturity (SC260) cultivars and irrigation treatments (IR10, IR12, and IR14 are 10-, 12-, and 14-time irrigation per crop season) in summer sowing season

منطقه Location	رقم Cultivar	دور آبیاری Irrigation	بارندگی تجمعی در طول فصل رشد در دوره پایه و درصد تغییرات در دوره آینده Cumulative rainfall during the growth season in baseline period and percentage of changes in the future period		میانگین دما در طول فصل رشد در دوره پایه و افزایش آن در دوره آینده Mean temperature during the growth season baseline period and its increase in the future period	
			دوره پایه Baseline (mm)		دوره پایه Baseline (°C)	
			RCP4.5 (%)		RCP4.5 (°C)	
اهواز Ahwaz	SC260	IR10	55.38	+34.07	27.9	+2.17
		IR12	56.25	+25.63	27.9	+2.2
		IR14	56.25	+25.63	27.9	+2.2
	SC704	IR10	149.81	-6.61	23.3	+2.6
		IR12	149.81	-6.61	23.3	+2.6
		IR14	149.81	-6.61	23.3	+2.6
بستان Bostan	SC260	IR10	63.86	-19.15	25.2	+2.5
		IR12	59.72	-10.38	25.2	+2.6
		IR14	59.72	-10.38	25.2	+2.6
	SC704	IR10	147.12	-16.89	21.1	+2.7
		IR12	146.62	-18.50	21.1	+2.7
		IR14	146.62	-18.50	21.1	+2.7
دزفول Dezful	SC260	IR10	109.99	+5.84	25.6	+2.5
		IR12	106.93	+13.23	25.6	+2.4
		IR14	106.93	+13.23	25.6	+2.46
	SC704	IR10	277.86	-8.59	21.3	+2.8
		IR12	277.86	-7.60	21.3	+2.9
		IR14	277.86	-7.60	21.3	+2.9
ایذه Izeh	SC260	IR10	180.60	-32.97	22.04	+3.66
		IR12	180.20	-33.37	22.06	+3.64
		IR14	180.20	-33.37	22.06	+3.64
	SC704	IR10	482.03	-34.41	17.8	+3.5
		IR12	476.77	-33.94	17.9	+3.4
		IR14	476.77	-33.94	17.9	+3.4

مدل زراعی ذرت، تیمارها و آزمایش‌های شبیه‌سازی

خروجی مدل‌های اقلیمی که تحت سناریوهای مختلف انتشار و برای دو دوره پایه و آینده به‌دست آمد، پس از آماده‌سازی (آماده-سازی شامل تبدیل فایل‌های آب‌وهوایی از قالب اکسل به فایل‌های آب‌وهوایی در قالب مدل زراعی و برآورد ضرایب میانگین دمای سالانه محیط^۵ و نوسان سالانه میانگین دمای ماهانه^۶ بود) به‌عنوان

ورودی در مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استفاده شد. در این تحقیق برای پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت و ارزیابی اثرات بالقوه‌ی تغییر اقلیم بر آن از مدل APSIM^۷ در شرایط محدودیت آب استفاده شد (Keating et al., 2003). این مدل توسط محققین استرالیایی طراحی شده است و از قدرت بالایی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی برخوردار است. این مدل، رشد و نمو گیاه را به‌صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند و به عوامل مختلف از جمله

1- Annual average ambient temperature

2- Annual amplitude in mean monthly temperature

3- The Agricultural Production Systems sIMulator

آب و هوا (دما، بارش و تابش)، خاک (آب خاک و نیتروژن خاک)، ضرایب ژنتیکی و به اطلاعات مدیریتی گیاه زراعی وابسته است. در این تحقیق اثرات بالقوه تغییر اقلیم در استان خوزستان بر دو رقم ذرت تحت رژیم‌های مختلف آبیاری مورد مطالعه قرار گرفت. ارقام شامل سینگل کراس ۷۰۴ (دیررس)، و سینگل کراس ۲۰۶ (زودرس) که دارای بیشترین سطح زیر کشت در بین گروه رسیدگی خود در استان خوزستان می‌باشند. مدل APSIM پیش‌تر برای دو رقم مذکور توسط رحیمی‌مقدم و همکاران هم در شرایط پتانسیل (Rahimi-Moghaddam et al., 2018) و هم در شرایط محدودیت آب (Rahimi-Moghaddam et al., 2019) ارزیابی شده است که نتایج نشان‌دهنده دقت بالای این مدل در شبیه‌سازی رقم‌های سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ در شرایط متفاوت مدیریتی و آب‌وهوایی بوده است. بنابراین، در تحقیق حاضر از مدل آماده و ارزیابی شده استفاده گردید. همچنین تیمارهای دور آبیاری شامل سه سطح، آبیاری مرسوم توسط کشاورزان منطقه (۱۲ مرتبه در هر فصل کشت)، دور آبیاری کمتر از آبیاری مرسوم (۱۰ مرتبه در هر فصل کشت) و دور آبیاری بیشتر از آبیاری مرسوم (۱۴ مرتبه در هر فصل کشت) بودند. در مجموع، آزمایش‌های بلندمدت شبیه‌سازی از دو رقم (سینگل کراس ۲۶۰ و ۷۰۴)، سه دور آبیاری (۱۰، ۱۲ و ۱۴ دور)، چهار منطقه (اهواز، ایذه، بستان و دزفول)، یک دوره پایه و یک دوره آینده (تحت یک سناریوی اقلیمی RCP4.5 در ۳۱ سال تشکیل شدند که در مجموع، شامل ۱۴۸۸ آزمایش شبیه‌سازی بودند. در این تحقیق، تاریخ کاشت (۲۴ مرداد) و تراکم بهینه ارقام مختلف بر اساس یک مطالعه شبیه‌سازی که پیش‌تر توسط نویسندگان (Rahimi-Moghaddam et al., 2018) انجام شده است، در نظر گرفته شد. در این مطالعه برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Origin Pro (Seifert, 2014) استفاده شد.

نتایج و بحث

تغییرات میانگین دما در طول فصل رشد

نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین دما در یک دوره ۳۰ ساله شبیه‌سازی در طول فصل رشد ذرت در استان خوزستان در دوره پایه ۲۳/۰۷ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). همان‌طور که در جدول ۱ دیده می‌شود، در سطوح مختلف آبیاری در همه مناطق در سطح هر رقم اختلاف قابل توجهی از نظر میانگین دما در طول فصل رشد ایجاد

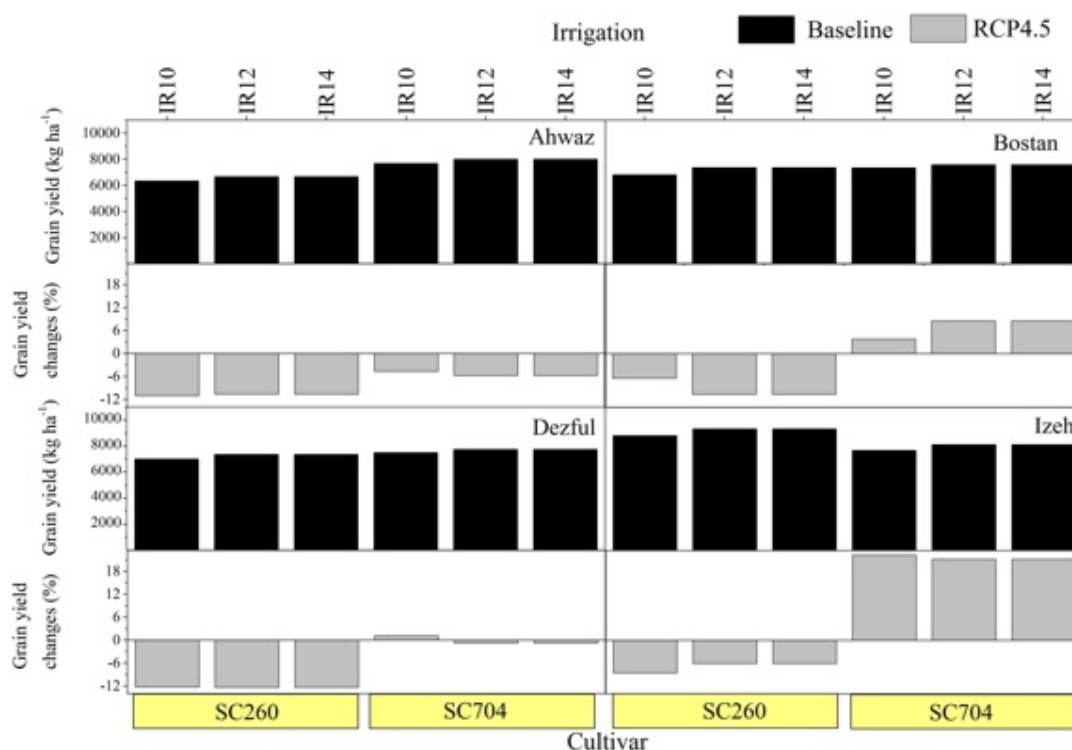
نشد. با این وجود، اختلاف میانگین دما در طول فصل رشد در سطح دو رقم بالا بود و مقدار این صفت در تمامی مناطق و رژیم‌های آبیاری، در سطح رقم سینگل کراس ۷۰۴ به مقدار ۴/۲۹ درجه سانتی‌گراد کمتر از سینگل کراس ۲۶۰ بود. این صفت به شدت تحت تأثیر منطقه بود، به طوری که کمترین (۱۹/۹۸ درجه سانتی‌گراد) و بیشترین (۲۵/۶۳ درجه سانتی‌گراد) مقدار آن در مناطق ایذه و اهواز به دست آمد. همچنین کمترین مقدار میانگین دما در طول فصل رشد در تیمار شهرستان ایذه و رقم سینگل ۷۰۴ (۱۷/۹ درجه سانتی‌گراد) به دست آمد (جدول ۱).

در آینده به‌طور متوسط میانگین دما در طول فصل رشد نسبت به دوره پایه به میزان ۱۲/۶۵ درصد افزایش داشت. در این بین شهرستان اهواز در رقم سینگل کراس ۷۰۴ و آبیاری ۱۰ دور (۷/۴۶ درصد) کمترین تغییر را داشت. همچنین در سراسر رژیم‌های آبیاری و دوره آینده، بیشینه افزایش دما در شهرستان ایذه و رقم سینگل کراس ۷۰۴ (۱۹/۳۶ درصد) و کمینه افزایش در شهرستان اهواز و رقم سینگل کراس ۷۰۴ (۱۱/۴۳ درصد) به دست آمد (جدول ۱). همان‌طور که پیش‌تر بیان شد در دوره پایه رقم سینگل کراس ۷۰۴ دارای میانگین دمای کمتری نسبت به رقم سینگل کراس ۲۶۰ است. این موضوع نشان می‌دهد که رقم دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) با طول دوره رشدی بیشتر نسبت به رقم زودرس (سینگل کراس ۲۶۰)، رشد خود را در دماهای پایین بعد از فصل تابستان ادامه می‌دهد و بخش قابل توجهی از رشد خود را در دماهای پایین‌تر (نسبت به رقم زودرس) تکمیل می‌کند. در تحقیقی توسط رحیمی‌مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam et al., 2018) نشان داده شد که میانگین دما در طول فصل رشد رقم دیررس ذرت در کشت تابستانه در شرایط پتانسیل رشدی نسبت به رقم زودرس کمتر می‌باشد. افزایش دما در مناطق مختلف نیز متفاوت بود و ایذه به عنوان خنک‌ترین منطقه بیشترین افزایش دما را در طول فصل رشد را به میزان ۳/۲۸ درجه سانتی‌گراد دارا بود. به‌طور کلی، افزایش درجه حرارت تحت شرایط تغییر اقلیم در مناطق سرد نسبت به مناطق گرم بیشتر می‌باشد و این مناطق از نظر تغییرات اقلیمی بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرند (IPCC, 2014). تحقیقات مختلف نشان‌دهنده تفاوت افزایش دما در مناطق مختلف می‌باشد (Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Karandish et al., 2017; Eyni Nargeseh et al., 2016).

عملکرد دانه

میانگین عملکرد ذرت در دوره پایه ۷۶۶۱/۲ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۲). عملکرد براساس رقم و رژیم آبیاری از ۶۳۴۸/۲۲ تا ۹۳۶۷/۰۴ کیلوگرم در هکتار متغیر بود. در دوره پایه به‌ترتیب رقم سینگل کراس ۲۶۰ و آبیاری ۱۴ دور با ۹۳۶۷ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد را داشت (شکل ۲). در سراسر استان خوزستان رقم

سینگل کراس ۷۰۴ همراه با آبیاری ۱۴ دور با ۹۸۸۵ کیلوگرم در هکتار بهترین کارکرد را داشت. با این وجود و با در نظر گرفتن منطقه، بهترین کارایی در اثر متقابل شهرستان ایذه و رقم سینگل کراس ۲۶۰ با ۱۴ دور آبیاری به‌مقدار ۹۳۶۷/۰۴ کیلوگرم در هکتار ثبت شد (شکل ۲).



شکل ۲- عملکرد دانه ذرت بر ای دوره پایه و آینده در ارقام دیررس SC704 و زودرس SC260 در تیمارهای آبیاری‌های (۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار در طول دوره رشد گیاه) در فصل کشت تابستان

Fig. 2- Grain yield of maize for baseline and future periods in late- (SC704) and early-maturity (SC260) cultivars and in irrigation treatments (IR10, IR12, and IR14 are 10-, 12-, and 14-time irrigation during the period of crop growth) in summer sowing season

سینگل کراس ۷۰۴ بود. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص می‌باشد، افزایش و کاهش عملکرد دانه در دوره ۲۰۵۰ در تمام تیمارهای مختلف آبیاری، رقم و منطقه متفاوت بود. این موضوع باعث شد که بالاترین عملکرد دانه در دوره آینده در یک اثر متقابل متفاوت، نسبت به دوره پایه در شهرستان ایذه رقم سینگل کراس ۷۰۴ با دور آبیاری ۱۴ دور به‌مقدار ۹۸۸۵ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد (شکل ۲). همچنین کمترین مقدار عملکرد دانه در تیمار اهواز × سینگل کراس

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که به‌طور متوسط عملکرد دانه ذرت در استان خوزستان در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه دو درصد کاهش می‌یابد. اما در بعضی مناطق در دوره آینده شاهد افزایش عملکرد بودیم. برای نمونه شهرستان ایذه در دوره آینده مقدار ۷/۳۵ درصد افزایش عملکرد را نشان داد که این افزایش مربوط به رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود. به‌عنوان مثال ایذه در دوره آینده ۷/۳۵ درصد افزایش عملکرد نشان داد و این افزایش عملکرد مربوط به رقم

کارایی مصرف آب و تبخیر و تعرق

نتایج این تحقیق نشان داد در دوره پایه، رقم سینگل کراس ۷۰۴ در تمامی رژیم‌های آبیاری دارای کارایی مصرف آب بالاتری نسبت به رقم سینگل کراس ۲۶۰ بود. همچنین در تمامی ارقام و مناطق، آبیاری ۱۰ دور با ۱۵/۸۳ کیلوگرم در هکتار بر میلی‌متر نسبت به بقیه رژیم‌های آبیاری دارای برتری بود. در بین تمامی تیمارهای آزمایش، بالاترین کارایی مصرف آب با مقدار ۱۹/۵۷ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار در شهرستان ایزه، رقم سینگل کراس ۷۰۴ و آبیاری ۱۰ دور به‌دست آمد. همچنین تیمار شهرستان بستان × رقم سینگل کراس ۲۶۰ × آبیاری ۱۴ (۱۳/۵) کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) کمترین کارکرد را از این لحاظ به خود اختصاص داد (شکل ۳).

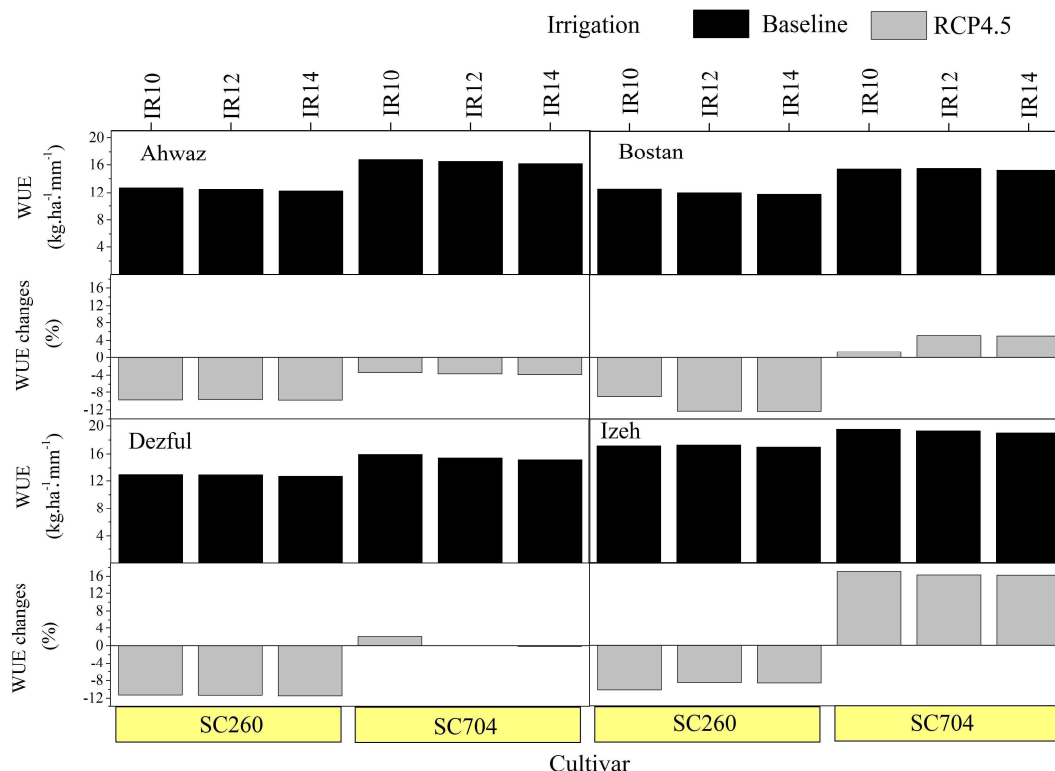
در دوره آینده به‌طور کلی، در تمامی مناطق، ارقام و رژیم‌های آبیاری، کارایی مصرف آب نسبت به گذشته به‌مقدار ۵/۷ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۳). با این حال، درصد کاهش و افزایش در ارقام و رژیم‌های مختلف آبیاری و مناطق یکسان نبوده، به‌طوری‌که در ارقام مختلف، رژیم‌های آبیاری و مناطق تحت مطالعه به‌طور میانگین به‌ترتیب اختلاف ۱۴/۶، ۲/۳ و ۱۰/۳ درصد ایجاد شد (شکل ۳). با این وجود، در دوره آینده تحت تیمارهای خاصی (به‌عنوان مثال شهرستان ایزه رقم سینگل کراس ۷۰۴ با آبیاری ۱۰ دور) کارایی مصرف آب افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که در این دوره در شهرستان ایزه رقم سینگل کراس ۷۰۴ با آبیاری ۱۰ دور بیشترین مقدار کارایی مصرف آب را داشت و نسبت به گذشته کارایی مصرف آب را ۱۷/۰۳ درصد افزایش یافت. همچنین تیمار شهرستان بستان × رقم سینگل کراس ۲۶۰ × آبیاری ۱۴ دور که کارایی مناسبی در دوره پایه نداشت، در دوره آینده نیز کمترین کارایی مصرف آب را داشت و تحت این تیمار کارایی مصرف آب به‌مقدار ۱۲/۳۱ درصد کاهش پیدا کرد (شکل ۳). با این وجود، در سراسر استان خوزستان بهترین تیمار از نظر کارایی مصرف آب تیمار رقم سینگل کراس ۷۰۴ همراه با آبیاری ۱۰ دور (۱۶/۹۴ کیلوگرم بر میلی‌متر در هکتار) بود (شکل ۳).

به‌طور میانگین کشت ذرت در استان خوزستان در حال حاضر تبخیر و تعرقی معادل ۴۹۱/۴۷ میلی‌متر دارد که با توجه به منطقه و رقم و آبیاری متفاوت می‌باشد (شکل ۴). در این بین، در تمامی رژیم‌های آبیاری و مناطق، تبخیر تعرق در رقم سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به سینگل کراس ۲۶۰ به‌مقدار ۱۰ میلی‌متر کمتر بود.

۲۶۰ × آبیاری ۱۰ دور با مقدار ۵۶۴۷ کیلوگرم در هکتار ثبت گردید (شکل ۲). با این وجود، در تمامی مناطق بهترین تیمار از نظر مقدار عملکرد دانه رقم سینگل کراس ۷۰۴ همراه با آبیاری ۱۴ دور به‌میزان ۸۱۰۹/۹ کیلوگرم در هکتار بود. تغییرات در عملکرد دانه می‌تواند بسته به میانگین دما در طول فصل رشد ذرت متفاوت باشد. به‌طوری‌که تغییر اقلیم از طریق افزایش درجه حرارت و محدود کردن طول فصل رشد می‌تواند در مناطق گرم باعث اثرات منفی بر رشد و عملکرد گیاه زراعی شود و در نقطه مقابل، در مناطق خنک افزایش درجه حرارت باعث بهبود شرایط دمایی برای رشد گیاه زراعی شود (Meza et al., 2007; Monzon et al., 2008). همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میانگین دما در طول فصل رشد ذرت در شهرستان ایزه در رقم سینگل کراس ۷۰۴ در دوره پایه کمتر از رقم سینگل کراس ۲۶۰ می‌باشد. این موضوع باعث کاهش عملکرد رقم سینگل کراس ۷۰۴ با توجه به محدودیت فصل رشد و خنکی هوا در دوره پایه می‌شود. محدودیت فصل رشد باعث کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و کاهش عملکرد می‌شود (Boote, 2011). این در حالی است که در همین منطقه در دوره آینده با توجه به گرم شدن منطقه به‌علت تغییرات اقلیمی و افزایش میانگین دما در طول فصل رشد (۱۷/۷+)، باعث مهیا شدن شرایط برای رشد ارقام دیررس می‌شود که این رقم با توجه به طول دوره رسیدگی بیشتر دارای عملکرد دانه بالاتری است و شرایط برای رشد رقم سینگل کراس ۷۰۴ فراهم می‌شود (جدول ۱ و شکل ۲). به‌طور میانگین در سراسر استان، تیمار آبیاری ۱۴ دور و رقم سینگل کراس ۷۰۴ هم در دوره پایه و هم در آینده بهترین کارکرد را داشت. اثر تنش رطوبتی بر کاهش عملکرد گیاهان زراعی در بسیاری از منابع علمی گزارش شده است (Darbandi-Izadi, 2012) و در واقع، با افزایش دور آبیاری (۱۴ مرتبه در هر فصل کشت) تنش رطوبتی کمتری به گیاه زراعی وارد می‌شود، این موضوع باعث افزایش کارایی آبیاری ۱۴ دور نسبت به آبیاری ۱۰ و ۱۲ دور شده است. این سطح آبیاری به‌همراه رقم دیررس می‌تواند شرایط بهینه‌ای را برای عملکرد بیشتر به‌وجود آورد. در واقع، در شرایط رطوبتی و هوایی بهینه، کشت یک رقم دیررس با طول دوره رسیدگی بالا نسبت به یک رقم با طول رسیدگی کم می‌تواند عملکرد دانه را افزایش دهد. بسیاری از مطالعات نیز نشان‌دهنده این موضوع و تولید عملکرد دانه بیشتر در ارقام دیررس نسبت به ارقام زودرس می‌باشند (Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Liu et al., 2013).

۱۲ و ۱۴ دور) کمتر بود (شکل ۴).

همچنین به‌طور میانگین در سراسر استان خوزستان و ارقام مقدار تبخیر و تعرق در رژیم آبیاری ۱۰ دور (۴۶۸/۸ میلی‌متر) نسبت به دو رژیم دیگر (۴۹۸/۷ و ۵۰۶/۸ میلی‌متر به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری



شکل ۳- تأثیر تیمار آبیاری و رقم بر کارایی مصرف آب ذرت برای دوره پایه و تغییرات آن در آینده در ارقام دیررس SC704 و زودرس SC260 و در تیمارهای آبیاری‌های (۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار در طول دوره رشد گیاه) در فصل کشت تابستان

Fig. 3- The effect of irrigation and cultivar treatments on maize water use efficiency for baseline period and its changes in the future period in late- (SC704) and early-maturity (SC260) cultivars and in (IR10, IR12, and IR14 are 10-, 12-, and 14-time irrigation during the period of crop growth) in summer sowing season

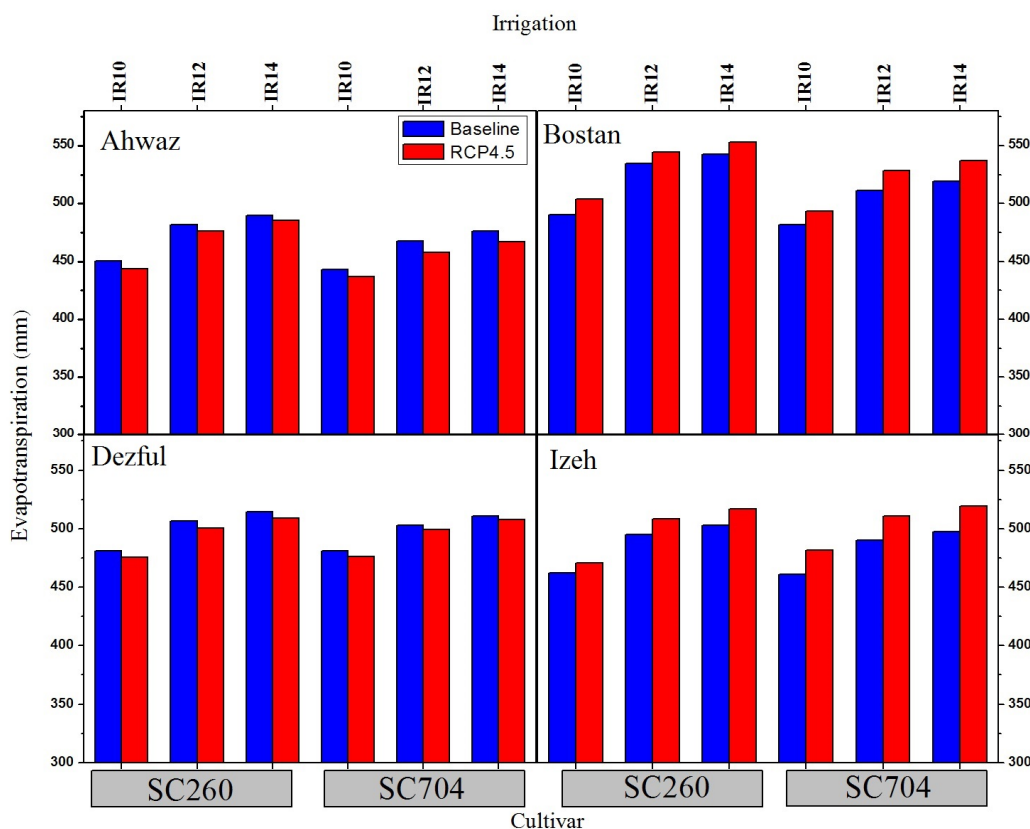
(۲/۸، ۳ و ۳/۱ درصد به‌ترتیب در رژیم‌های آبیاری ۱۰، ۱۲ و ۱۴ دور). همچنین مقدار افزایش تبخیر و تعرق در این رژیم آبیاری نسبت به دو رژیم دیگر به‌طور میانگین در دو شهرستان اهواز و ایذه و دو رقم مختلف کمتر بود (شکل ۴). در تمامی مناطق استان خوزستان در دوره آینده، رژیم آبیاری ۱۰ دور در کنار رقم سینگل کراس ۷۰۴ کمترین مقدار تبخیر و تعرق (۴۳۷/۰۴ میلی‌متر) را داشت.

به‌طور کلی، کارایی مصرف آب در دوره آینده می‌تواند از طریق افزایش دما و افزایش تبخیر و تعرق کاهش یابد (Kirkegaard et al., 2007). در تحقیقی بر روی تأثیرات تغییر اقلیم بر شاخص‌های بهره‌وری آب و عملکرد ذرت دیم و آبی در جنوب شرق استرالیا نشان

به‌طور میانگین در دوره آینده مقدار تبخیر و تعرق نسبت به گذشته ۰/۹ درصد افزایش یافت. با این وجود، مقدار تبخیر و تعرق در مناطق مختلف دارای تغییرات متفاوت بود، به‌طوری‌که مقدار تبخیر و تعرق در دوره آینده نسبت به دوره پایه در شهرستان بستان (۱۱/۰۶ درصد) و ایذه (۹/۹۱ درصد) افزایش و در شهرستان اهواز و دزفول (به‌ترتیب ۴/۱ و ۲/۸ درصد) کاهش یافته است (شکل ۴). این تغییرات با توجه به تیمارهای آبیاری و ارقام مختلف متفاوت بود. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، سطح آبیاری ۱۰ دور به‌طور میانگین در هر دو رقم، نسبت به دو سطح آبیاری دیگر مقدار تبخیر و تعرق را به‌طور میانگین در دو شهرستان ایذه و بستان بیشتر کاهش یافته است

طول فصل رشد ذرت ۱۲ مرتبه آبیاری انجام می‌دهند. نتایج مشخص کرد که اگر در شرایط حال حاضر (یعنی دوره پایه) و دوره آینده ۱۰ مرتبه آبیاری در طول فصل رشد ذرت انجام شود، کارایی مصرف آب افزایش و مقدار تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد. بنابراین، این موضوع می‌تواند به کاهش هدررفت آب و افزایش پایداری کمک کند. این رژیم آبیاری (۱۰ مرتبه آبیاری در طول فصل رشد ذرت) می‌تواند در کنار یک رقم با عملکرد بالا بسیار مؤثر باشد، به‌طوری‌که یک رقم دیررس با طول دوره رشد بالا و عملکرد بیشتر (Liu et al., 2013) می‌تواند به افزایش کارایی مصرف آب بیشتر کمک کند.

داده شد که تغییرات اقلیمی باعث افزایش دما و به‌موازات آن مقدار تبخیر تعرق ۳۴ درصد افزایش می‌یابد (Kang et al., 2015). از طرف دیگر، کاهش کارایی مصرف آب می‌تواند به‌علت کاهش عملکرد دانه ایجاد شود. بسیاری از مطالعات (Rahimi-Moghaddam et al., 2018; Rahimi-Moghaddam & Azizi, 2017) نشان‌دهنده تأثیر منفی تغییر اقلیم بر عملکرد دانه گیاه ذرت است. به‌طور کلی، نتایج مشخص کرد که اگرچه در استان خوزستان تغییر اقلیم اثرات منفی بر روی عملکرد دانه و کارایی مصرف آب دارد، ولی با انتخاب یک دور بهینه آبیاری و رقم مناسب می‌توان تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر عملکرد دانه، کارایی مصرف آب و مقدار تبخیر تعرق را کاهش داد. در حال حاضر در استان خوزستان کشاورزان در



شکل ۴- مقدار تبخیر و تعرق واقعی ذرت بر ای دوره پایه و آینده در رقم دیررس SC704 و زودرس SC260 و در تیمارهای آبیاری (۱۰، ۱۲ و ۱۴ بار در طول دوره رشد گیاه) در فصل کشت تابستان هر فصل کشت

Fig. 4- The actual evapotranspiration of maize for baseline and future periods in late- (SC704) and early-maturity (SC260) cultivars and in irrigation treatments (IR10, IR12, and IR14 are 10-, 12-, and 14-time irrigation during the period of crop growth) in summer sowing season

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق نشان‌دهنده تأثیرات منفی تغییر اقلیم بر روی عملکرد دانه، میانگین دما در طول فصل رشد، مقدار تبخیر و تعرق و کارایی مصرف آب ذرت در استان خوزستان بود. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط در سراسر همه تیمارهای آبیاری و ارقام عملکرد دانه، کارایی مصرف آب ذرت در استان خوزستان در سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه تحت سناریوی RCP4.5 به‌ترتیب ۲- و ۵/۷- کاهش و میانگین دما در طول فصل رشد و تبخیر و تعرق

۱۲/۶+ و ۰/۹+ افزایش داشت (شکل ۳ و جدول ۱). نتایج نشان دادند که با کاربرد یک مقدار بهینه رژیم آبیاری (آبیاری ۱۰ دور) افزایشی در کارایی مصرف آب و کاهشی در مقدار تبخیر و تعرق ایجاد می‌شود. این مقدار بهینه علاوه بر موارد فوق یک عملکرد دانه قابل قبول تولید کرد. با این وجود، این سطح آبیاری بهینه همراه با یک رقم دیررس بهترین کارایی را از خود نشان می‌دهد، به‌طوری‌که در سطح استان خوزستان بهترین کارکرد از لحاظ عملکرد دانه و کارایی مصرف آب در تیمار رقم سینگل کراس ۷۰۴ × آبیاری ۱۰ به‌دست آمد.

References

- Abbas Torki, T., Mojaddam, M., and Abadou, G.R., 2011. Study of water stress on morphological characters of corn (*Zea mays* L.) hybrids in south Khuzestan condition. In First National Conference on Climate Change and its Impact on Agriculture and the Environment, Urmia, Iran, 24 July 2011, p. 1836-1842. (In Persian with English Summary)
- Anonymous, 2014. Agricultural statistics. Iranian Ministry of Agriculture Jihad. Department of Planning and Economically. Center of Information and Communication Technology. Iran. p. 158. (In Persian)
- Bannayan, M., Crout, N.M.J., and Hoogenboom, G., 2003. Application of the CERES-wheat model for within-season prediction of wheat yield in United Kingdom. *Agronomy Journal* 95: 114-125.
- Bannayan, M., Kobayashi, K., Kim, H.Y., Lieffering, M., Okada, M., and Miura, S., 2005. Modeling the interactive effects of atmospheric CO₂ and N on rice growth and yield. *Field Crops Research* 93: 237-251.
- Boote, K.J., 2011. Crop adaptation to climate change. In: S.S. Yadav, R.J. Redden, J.L. Hatfield, H. Lotze-Campen and A.E. Hall (Eds.). *Improving soybean cultivars for adaptation to climate change and climate variability*: Wiley-Blackwell Press. p. 370-395.
- Dashtbozorgi, A., Alijani, B., Jafarpur, Z., and Shakiba, A., 2015. Simulating extreme temperature indicators based on RCP scenarios: the case of Khuzestan Province. *Geography and Environmental Hazards* 4: 105-123 (In Persian with English Summary)
- Dong, B., Shi, L., Shi, C., Qiao, Y., Liu, M., and Zhang, Z., 2011. Grain yield and water use efficiency of two types of winter wheat cultivars under different water regimes. *Agricultural Water Management* 99: 103-110.
- Dupuis, I., and Dumas, C., 1990. Influence of temperature stress on *in vitro* fertilisation and heat shock protein synthesis in maize (*Zea mays* L.) reproductive tissues. *Plant Physiology* 94: 665-670.
- Eyni Nargeseh, H., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Haghighat, M., and Nouri, O., 2016. Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Electronic Journal of Crop Production* 8(4): 203-224. (In Persian with English Summary)
- Huang, J.K., Pray, C., and Rozelle, S., 2002. Enhancing the crops to feed the poor. *Nature* 48: 678-684.
- Igbadun, H.E., Mahoo, H.F., Tarimo, A.K., and Salim, B.A., 2006. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. *Agricultural Water Management* 85: 141-150.
- IPCC, 2014. Climate Change: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)). IPCC. Geneva, Switzerland. p. 151.
- Izadi Darbandi, E., 2012. Evolution of drought stress and nitrogen rate on redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus*) and corn (*Zea mays*) competition. *Agronomy Journal* (Pajouhesh and Sazandegi) 94: 68-74. (In Persian with English Summary)
- Kang, Y., Khan, S., and Ma, X., 2015. Analysing climate change impacts on water productivity of cropping systems in the Murray Darling Basin, Australia. *Irrigation and Drainage* 64: 443-453.
- Karandish, F., Kalanaki, M., and Saberali, S.F., 2017. Projected impacts of global warming on cropping calendar and

- water requirement of maize in a humid climate. Archives of Agronomy and Soil Science 63(1): 1-13.
- Kirkegaard, J.A., Lilley, J.M., Howe, G.N., and Graham, J.M., 2007. Impact of subsoil water use on wheat yield. Crop and Pasture Science 58: 303-315.
- Liu, Z., Hubbard, K.G., Lin, X., and Yang, X., 2013. Negative effects of climate warming on maize yield are reversed by the changing of sowing date and cultivar selection in Northeast China. Global Change Biology 19: 3481-3492.
- Maa, L., Ahujaa, L.R., Islamb, A., Trout C.T.J., Saseendrand, S.A., and Malone, R.W., 2017. Modeling yield and biomass responses of maize cultivars to climate change under full and deficit irrigation. Agricultural Water Management 180: 88-98.
- Manschadi, A.M., Soufizadeh, S., and Deihimfard, R., 2010. The role and importance of simulation modeling in improving crop production in Iran. In: Proceedings of 11th Iranian Crop Science Congress, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, 24 July 2010, p. 234-247. (In Persian with English Summary)
- Martin de Santa Olalla, F., Dominguez-Padilla, A., and Lopez, R., 2004. Production and quality of the onion crop (*Allium cepa*) cultivated under controlled deficit irrigation conditions in a semi-arid climate. Agricultural Water Management 68: 77-89.
- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., Pou, A., J. Escalona, M., and Bota, J., 2015. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: limitations of leaf WUE as a selection target. The Crop Journal 3: 220-228.
- Meza, F.J., Silva, D., and Vigil, H., 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. Agricultural Systems 98: 21-30.
- Moradi, R., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Mansoori, H., 2013. Adaptation strategies for maize cultivation under climate change in Iran: Irrigation and planting data management. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 18: 265-284.
- Oktem, A., Simsek, M., and Oktem, G., 2003. Deficit irrigation effects on sweet corn (*Zea mays saccharata* Sturt) with drip irrigation system in a semi-arid region: I. Water-yield relationship. Agricultural Water Management 61: 63-74.
- Rahimi Moghaddam, S., and Azizi, K., 2017. Early sowing date as a strategy for improvement of maize yield and maize physiological and phenological characteristics in climate change conditions at Kermanshah Province. Electronic Journal of Crop Production 10(40): 129-147. (In Persian with English Summary)
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., and 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.
- Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., and 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.
- Rahimi-Moghaddam, S., Eyni-Nargeseh, H., Ahmadi, S.A.K., and Azizi, K., 2021. Towards withholding irrigation regimes and drought-resistant genotypes as strategies to increase canola production in drought-prone environments: A modeling approach. Agricultural Water Management 243: 106487.
- Sabziparvar, A.A., and Tabari, H., 2010. Regional estimation of reference evapotranspiration in arid and semi-arid regions. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136(10): 724-731.
- Seifert, E., 2014. OriginPro 9.1: Scientific data analysis and graphing software—software review. Journal of Chemical Information and Modeling 54: 1552-1552.
- Soltani, A., and Hoogenboom, G., 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. Field Crops Research 103: 198- 207.
- Wakrim, R., Aganchich, B., Tahi, H., Serraj, R., and Wahbi, S., 2005. Comparative effects of partial root drying (PRD) and regulated deficit irrigation (RDI) on water relations and water use efficiency in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Agriculture, Ecosystems and Environment 106: 275-287.



Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency in Dominant Maize Cultivars under Water Limited a Climate Change Conditions

N. Sharifi-Haddad¹, R. Deihimfard^{2*}, O. Noori³ and S. Rahimi-Moghaddam⁴

Submitted: 25-05-2019

Accepted: 09-11-2019

Sharifi-Haddad, N., Deihimfard, R., Noori, O., and Rahimi-Moghaddam, S., 2021. Simulating grain yield and water use efficiency in dominant maize cultivars under water limited and climate change conditions. Journal of Agroecology 13(1):103-115.

Introduction

Today, rapid population growth and economic development have increased demand for food, and climate change has affected food security worldwide. Climate change processes, including increasing the atmospheric carbon dioxide concentration, rising temperature, and fluctuation of precipitation, could directly affect agricultural products. Climate change also causes drought, which indirectly influences agricultural systems as water is the most important for grain yield and its quality. Arid and semi-arid regions are limited in terms of water resources and they are the most fragile regions faced with drought caused by climate change. Khuzestan province is one of the hot and arid regions in Iran which its agricultural crops (especially maize) are very sensitive to climate change. Irrigation schedules and various cultivars can be considered as the adaptation strategies according to the climate change conditions. In agricultural ecosystems, water consumption should be reduced, and grain yield should be increased as much as possible. Optimizing water consumption by improving water use efficiency (WUE) is essential for achieving agricultural sustainability in arid and semi-arid regions. Accordingly, modelling approach has been considered as a time-saving and low-cost way to study the effects of climate change and different treatments. The current study was conducted to investigate the effects of different irrigation management practices on maize grain yield and WUE under climate change conditions in order to optimize water consumption and WUE by using modeling approach.

Material and Methods

The current study was carried out in several locations of Khuzestan province, including Dezful, Izeh, Bostan, and Ahwaz. The long-term climatic data of the studied locations were collected from the Iran Meteorological Organization. These data included minimum and maximum temperatures (°C), rainfall (mm), and solar radiation (MJ m⁻²) from 1980 to 2010. Angstrom equation was used for calculating the radiation based on sunshine hours. The climatic data were modified using WeatherMan software embedded in the DSSAT package. The future climate of Khuzestan province (2040-2070) was predicted by the MIROC5 general circulation model under the RCP4.5 climate scenario and using AgMIP methodology. According to the previous studies, the MIROC5 climatic model showed the highest accuracy in predicting the future climatic data of Khuzestan province. Two adaptation strategies, including cultivar and irrigation regime, were considered to mitigate the negative effects of climate change. The cultivars consisted of SC704 (late-maturity) and SC206 (mid-maturity), which had the highest area under cultivation

1- M.Sc. Student, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University G.C., Tehran, Iran

2-Associate Professor. Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

4- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plants Breeding, Faculty of Agricultural, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

(*- Corresponding Author Email: deihimfard@gmail.com)

Doi:10.22067/jag.v13i1.80923

in Khuzestan province. Irrigation regimes included three levels: 12-time irrigation (as farmers' common practice), 10-time irrigation, and 14-time irrigation per growing season.

Results and Discussion

The results of the current study indicated that climate change had negative effects on maize grain yield as well as positive effects on average temperature during the growing season, evapotranspiration, and corn water use efficiency across the whole province. The results showed that the average grain yield and corn WUE in Khuzestan province in 2050 under the RCP4.5 scenario was -2% and -5.7%, respectively, compared to the baseline. In addition, mean temperature during the growing season and evaporation and transpiration increased by +12.6% and + 0.9% compared to the baseline. The results also showed that with the application of an optimal amount of irrigation regime (10-time irrigation), an increase in WUE and decrease in evapotranspiration were observed, which resulted in acceptable grain yield. Results also portrayed that applying the optimal irrigation level (10-time) along with a late maturity cultivar (SC704) showed the best performance in terms of grain yield ($9433.9 \text{ kg ha}^{-1}$) and WUE ($19.57 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) in the province Khuzestan.

Conclusion

The results illustrated that by 2050, the average grain yield and WUE were reduced compared to the baseline period. However, the mean temperature and evapotranspiration over the growing season were increased. Totally, the results of the current study revealed that an optimal irrigation level 10 and suitable cultivar SC704 could mitigate the negative impacts of climate change on maize in the agroecosystems of Khuzestan province.

Keywords: Evapotranspiration, APSIM model, Irrigation regime



مقاله علمی - پژوهشی

اثر تیمارهای مدیریتی و گیاهان پوششی بر جمعیت علف‌های هرز و عملکرد دو رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.)

بیژن صبوری^۱، سرور خرم‌دل^{۲*}، علیرضا کوچکی^۳ و هدا لطیفی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۱۴

صبوری، ب.، خرم‌دل، س.، کوچکی، ع.، لطیفی، ه.، ۱۴۰۰. اثر تیمارهای مدیریتی و گیاهان پوششی بر جمعیت علف‌های هرز و عملکرد دو رقم گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۱۷-۱۳۳.

چکیده

علف‌های هرز یکی از عمده‌ترین عوامل کاهنده در تولید گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) محسوب می‌شوند. گیاهان پوششی از طریق ممانعت از جوانه‌زنی موجب کاهش سبز شدن و استقرار علف‌های هرز می‌شوند. هدف از این مطالعه ارزیابی جمعیت علف‌های هرز و رشد دو رقم گوجه‌فرنگی تحت تأثیر گونه‌های مختلف پوششی در کشت فیما بین زمستانه و تیمارهای مدیریت علف‌های هرز بود. این آزمایش به صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. عامل اصلی شامل چهار گیاه پوششی زمستانه [خلر (*Lathyrus sativu* L.)، ماشک گل خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.)، شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum* L.) و چاودار (*Secale cereale* L.)]، آبیاری پاییزه (به منظور سبز کردن بذر علف‌های موجود در بانک بذر بدون گیاه پوششی) و شاهد (اعمال خاک‌ورزی بدون گیاه پوششی و آبیاری پاییزه) و عامل فرعی دو رقم گوجه‌فرنگی (۸۳۲۰ و ۶۵۱۵ فلات) بود. گیاهان پوششی زمستانه در بهار به خاک برگردانیده شدند. صفات مورد مطالعه شامل تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در واحد سطح (در سه مرحله شامل ۳۰ روز پس کاشت، ۵۰ روز پس از کاشت و پیش از برداشت) و تعداد و عملکرد میوه و شاخص بریکس گوجه‌فرنگی در سه چین بود. نتایج نشان داد که دامنه کنترل گونه‌های علف هرز در بین گونه‌های پوششی زمستانه مختلف بود. به‌طوری‌که کمترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز برای ماشک گل خوشه‌ای و چاودار مشاهده شد و بیشترین میزان به شاهد اختصاص داشت. اثر ساده و متقابل گیاهان پوششی زمستانه و رقم بر تعداد میوه و عملکرد میوه و شاخص بریکس گوجه‌فرنگی معنی‌دار بود. بالاترین عملکرد در چین‌های اول، دوم و سوم در تیمار ماشک گل خوشه‌ای (به ترتیب با ۵۷۶۰/۹۸، ۲۸۹۶ و ۱۵۶۲/۵۱ گرم بر مترمربع) به دست آمد و کمترین میزان به شاهد (به ترتیب با ۴۱۵۶/۳۲، ۱۷۴۲/۶۵ و ۶۰۰/۹۰ گرم بر مترمربع) اختصاص داشت. عملکرد رقم ۶۵۱۵ نسبت از رقم دیگر ۱۵ درصد بیشتر تعیین گردید. بیشترین و کمترین تعداد میوه در چین‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برای تیمار ماشک گل خوشه‌ای (به ترتیب با ۳۷/۸۷، ۲۲/۳۸ و ۵۴/۳۳ میوه بر مترمربع) و شاهد (به ترتیب با ۲۲/۷۸ و ۸/۸۵ میوه بر مترمربع) مشاهده شد. شاخص بریکس رقم ۸۳۲۰ بالاتر از رقم ۶۵۱۵ بود. به‌طور کلی، جمعیت علف‌های هرز یکساله، دو ساله و چند ساله تحت تأثیر گونه‌های پوششی زمستانه قرار گرفتند. به‌طوری‌که ماشک گل خوشه‌ای و چاودار گونه‌های دگرآسیب‌کارایی بالاتری در کنترل علف‌های هرز دو لپه در مقایسه با گونه‌های تک لپه داشتند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که کاشت گونه‌های پوششی زمستانه می‌تواند به‌طور مؤثری در مدیریت علف‌های هرز در تولید گوجه‌فرنگی مدنظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: استقرار علف‌های هرز، دگرآسیبی، شاخص بریکس، مدیریت علف‌های هرز، وزن خشک علف‌های هرز

مقدمه

۳- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- دانشجوی دکتری رشته بوم‌شناسی زراعی گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
*- (نویسنده مسئول: Email: khorrandel@um.ac.ir)

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کشاورزی اکولوژیک گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۲- دانشیار گروه اگروتکنولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

علف‌های هرز جلوگیری کنند (Campiglia et al., 2010; Nagabhushana et al., 2001; Barberi & Mazzoncini, 2001). تأثیر مثبت گیاهان پوششی بر ترکیب جمعیت علف‌های هرز در تحقیقاتی به اثبات رسیده است (Barberi & Mazzoncini, 2001). ناگابهوشانا و همکاران (Nagabhushana et al., 2001) با کاشت گیاهان پوششی دگرآسیب در بوم‌نظام‌های زراعی نتیجه گرفتند که انتخاب گیاهان مناسب پوششی می‌تواند سبب کاهش مصرف علف‌کش‌های شیمیایی و حفاظت لایه‌های سطحی خاک در مقابل فرسایش شود. کشت مخلوط شنبلله-با دیگر بقولات، به دلیل اثرات دگرآسیبی ریشه شنبلله بر چرخه زندگی گل‌جالیز^۱، در مرحله جوانه-زنی منجر به کاهش خسارت این علف‌هرز گردید (Fernandez-Aparicio et al., 2010). تحقیقات نشان داد که گیاه چاودا^۲ با خاصیت تولید مواد دگرآسیب بر رشد گیاهان مجاور اثر منفی می‌گذارد و رشد آن‌ها را محدود می‌کند (Chase et al., 1991).

همچنین کاشت گیاهان پوششی در کنار گیاهان زراعی، با افزایش تنوع گیاهی موجب کاهش آشیان‌های اکولوژیک و فضاهای خالی شده و در نتیجه، فرصت حضور علف‌های هرز را کاهش می‌دهد که در نهایت، کاهش دخالت انسان برای مدیریت شیمیایی را به‌منظور کنترل این گونه‌های ناخواسته به‌دنبال دارد (Yenish et al., 1996). نتایج مطالعات مک‌لناگن و همکاران (McLenaghan et al., 1996) نشان داد که سطح زمین اشغال شده توسط علف‌های هرز با نسبت حضور گونه‌های پوششی، رابطه عکس دارد، به‌طوری که در شاهد (بدون گیاه پوششی)، میزان پوشش سطح زمین توسط علف‌های هرز ۵۲ درصد بود، در حالی که در شرایط حضور ۹۲ درصدی خردل سفید^۳، تنها چهار درصد و در شرایط پوشش ۸۵ درصدی چاودار، تنها نه درصد زمین توسط علف‌های هرز اشغال شد که البته این نسبت بسته به نوع گونه‌های گیاهان پوششی متفاوت بود. گیاهان بقولات به-صورت مالچ زنده، با کاشت در بین ردیف‌های گیاهان زراعی، سبب جلوگیری از نفوذ نور و رقابت با علف‌های هرز برای جذب عناصر غذایی و آب می‌شوند (Samarajeewa et al., 2006; Uchino et al., 2009).

گزارش‌های زیادی مبنی بر افزایش عملکرد گیاهان مختلف زراعی پس از کشت گیاهان پوششی وجود دارد (Campiglia et al.,

کشاورزی رایج با تأکید بر بیشینه تولید و اجرای مدیریت فشرده سیستم‌های زراعی، محیط زیست را تخریب کرده و سبب کاهش تنوع زیستی و اختلال در کارکردهای بوم‌نظام‌های طبیعی شده است (Mirzaee Talarposhti et al., 2009)، در حالی که کشاورزی اکولوژیک در راستای تولید پایدار در بوم‌نظام‌های زراعی با توجه به ظرفیت تولید منابع طبیعی و محیط زیست گام بر می‌دارد (Gliessman, 2014). در این بین، مدیریت علف‌های هرز یکی از ارکان اصلی این نوع نظام‌های کشاورزی است، زیرا عدم کنترل علف‌های هرز در محصولات زراعی باعث کاهش عملکرد گیاهان زراعی، دشوار شدن عملیات برداشت، کاهش کیفیت محصول و تشدید آلودگی‌های زیست‌محیطی شود (Van Heemst, 1985). یکی از راهکارهای افزایش تولید محصولات کشاورزی، جلوگیری از خسارت‌های ناشی از علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی می-باشد. میزان خسارت وارده به محصولات کشاورزی به‌وسیله علف‌های هرز، بیماری‌ها، حشرات و سایر آفات به‌ترتیب برابر با ۳۰، ۴۵ و ۲۰ درصد تعیین شده است (Ranjbar et al., 2007).

بر این اساس، بهره‌گیری از راهکارهای بوم‌سازگار نظیر کاشت گیاهان پوششی، یکی از عوامل مؤثر بر بهبود حاصلخیزی خاک است که علاوه بر توسعه کیفیت خاک، رقابت علف‌های هرز با گیاهان زراعی را نیز کاهش می‌دهد (Steenwerth & Belina, 2008). علاوه بر تأثیر مثبت گیاهان پوششی بر کاهش جمعیت علف‌های هرز، این گیاهان به‌منظور جلوگیری از آب‌شویی نیتروژن، بهبود ساختمان خاک، جلوگیری از فرسایش و کنترل بیماری‌های خاک‌زی و نماتدها نیز کاشته می‌شوند (Sarrantonio & Gallandt, 2003). گیاه پوششی کمیت و کیفیت نور و همچنین رطوبت قابل دسترس برای جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز را کاهش می‌دهد. بقایای این گیاهان همچنین سرعت جوانه‌زنی و یا رشد مجدد علف‌های هرز را از طریق تغییر در درجه حرارت و محتوی رطوبتی خاک، آزادسازی ترکیبات دگرآسیب و تأثیر بر ساختمان خاک تحت تأثیر می‌دهند (Fisk et al., 2001). ترشح مواد دگرآسیب از دیگر مکانیسم‌های تأثیر مالچ‌های زنده و بقایای گیاهان پوششی بر علف‌های هرز است (Campiglia et al., 2010). مواد دگرآسیب آزاد شده از بقایای گیاهان پوششی در نزدیکی سطح خاک جمع می‌شوند و می‌توانند از جوانه‌زنی بذور

1- *Orobancha ramosa* L.

2- *Secale cereale* L.

3- *Sinapis alba* L.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در شرق مشهد (واقع در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه عرض جغرافیایی و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۹۸۵ متر) در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. آب‌وهوای منطقه براساس روش آمبرژه، سرد و خشک می‌باشد (Meteorological Organization of Iran, 2019).

قبل از شروع آزمایش نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر خاک انجام شد که نتایج حاصل از تجزیه فیزیکی و شیمیایی آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. عامل اصلی شامل چهار گیاه پوششی پاییزه (خلر^۶، ماشک گل خوشه‌ای شنبلیله^۷ و چاودار)، آبیاری پاییزه (به‌منظور سبز کردن بذر علف‌های موجود در بانک بذر بدون کشت گیاه پوششی) و شاهد (اعمال یک نوبت خاک‌ورزی بدون آبیاری پاییزه) و عامل فرعی دو رقم رایج گوجه‌فرنگی (فلات ۸۳۲۰ و فلات ۶۵۱۵) بود که به‌صورت نشاء از شهرستان فاروج تهیه شد.

مراحل آماده‌سازی زمین در شهریور ماه سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. میزان بذر مورد استفاده برای هر یک از گیاهان پوششی ماشک گل خوشه‌ای، خلر، چاودار و شنبلیله به‌ترتیب ۱۲۰، ۵۵، ۱۹۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار بود. بعد از آماده‌سازی زمین، بذرپاشی گیاهان پوششی به‌صورت یکنواخت با میزان بذر مشخص برای هر گیاه با توجه به خصوصیات بذر و تراکم مطلوب انجام و سپس یک مرحله دیسک سطحی جهت مخلوط کردن بذر با خاک انجام شد. پس از آن ردیف‌هایی با فاصله ۵۰ سانتی‌متری از یکدیگر در زمین جهت آبیاری ایجاد گردید. بعد از کشت گیاهان پوششی آبیاری به‌صورت جوی و پشته‌ای در تاریخ ۱۰ مهر ماه انجام شد. در اواخر بهار، با استفاده از دیسک، اندام‌های رویشی گیاهان پوششی به قطعات کوچک خرد و با استفاده از روتواتور به خاک برگردانیده شد. سپس با گاواهن قلمی (چیزل) زمین یک نوبت شخم و پس از آن دیسک و ماله اعمال شد. در نهایت، با استفاده از فاروئر، ردیف‌هایی با فاصله ۱۳۰ سانتی‌متر ایجاد و کاشت دستی نشاء گوجه‌فرنگی در ۱۵ اردیبهشت ماه با فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر انجام شد. آبیاری اول

در این راستا، غفاری و همکاران (Ghaffari et al., 2012) گزارش کردند که کاشت گیاهان پوششی کلزا^۱ و چاودار عملکرد غده سیب‌زمینی^۲ را به‌ترتیب برابر با ۵۴ و ۵۰ درصد نسبت به شاهد (بدون گیاه پوششی) افزایش داد. علاوه‌براین، احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2011) نشان دادند که کاشت ماشک گل خوشه‌ای^۳ به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن، موجب بهبود عملکرد گردید.

گوجه‌فرنگی^۴ یکی از مهم‌ترین سبزیجات تیره سولاناسه^۵ بوده که در حال حاضر، به‌عنوان دومین سبزی رایج و یکی از منابع غنی از ویتامین‌ها و مواد معدنی در دنیا مطرح است (Shekari et al., 2006). از دیدگاه اقتصادی گوجه‌فرنگی در کشاورزی و صنایع غذایی به‌علت مصرف زیاد و دائمی، اغلب به‌طور خام، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. ضرورت مصرف غذایی مطبوع و دائمی گوجه‌فرنگی، کشت وسیع این محصول را در فصل‌های مختلف در مزرعه و کشت‌های حفاظت شده (گلخانه و تونل پلاستیکی) در خارج از فصل زراعی و به‌روش‌های مختلف توسعه داده است (Shojai et al., 2003). این گیاه نیز مانند سایر گیاهان در معرض خطر آفات، بیماری‌های گیاهی، رقابت با علف‌های هرز و شرایط نامساعد محیطی قرار دارد و استفاده از راهکارهای غیرشیمیایی و سازگار با محیط زیست یکی از گام‌های بزرگ در جهت تولید اکولوژیک گوجه‌فرنگی محسوب می‌شود (Ghorbani et al., 2008). گیاهان پوششی می‌توانند به‌منظور راهکاری پایدار به‌عنوان جایگزینی برای سموم شیمیایی در کنترل علف‌های هرز کاشته شوند (Norsworthy et al., 2011). بنابراین، با توجه به اهمیت تولید محصولات سالم و بهره‌گیری از راهکارهای پایدار برای مدیریت گونه‌های مختلف به‌ویژه گوجه‌فرنگی به‌دلیل ارزش غذایی بالا (Shekari et al., 2006) و اهمیت اقتصادی (Shojai et al., 2003)، هدف از این آزمایش، بررسی اثر کشت تعدادی از گیاهان پوششی خانواده‌های بقولات و غلات و بقایای آن‌ها بر تراکم علف‌های هرز و نیز عملکرد کمی و شاخص بریکس دو رقم گوجه‌فرنگی در شرایط آب‌وهوایی مشهد بود.

1- *Brassica napus* L.

2- *Solanum tuberosum* L.

3- *Vicia villosa* L.

4- *Lycopersicon esculentum* L.

5- Solanaceae

6- *Lathyrus sativus*

7- *Trigonella foenum-graecum*

در زمان کاشت، آبیاری دوم در فاصله زمانی ۱۵ روز پس از کاشت، آبیاری سوم ۱۰ روز پس از آبیاری دوم و بقیه آبیاری‌ها تا انتهای فصل رشد هر سه روز یک بار به‌شیوه نشتی انجام شد. برای رفع نیازهای کودی زمین و تسریع در تجزیه بقایای گیاهان پوششی، همراه با برگرداندن بقایای گیاهی به خاک، در تمامی کرت‌ها به‌طور یکنواخت ۲۰۰ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل در هکتار و ۱۰۰ کیلوگرم

اوره در هکتار به هر کرت اصلی اضافه و با خاک مخلوط گردید. همچنین در طول فصل رشد گوجه‌فرنگی، به‌صورت یکنواخت در تمامی کرت‌ها ۱۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار طی سه مرحله همراه با آب آبیاری و نیز ۱۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم در هکتار (۰-۰-۵۲) طی یک مرحله به‌صورت محلول‌پاشی و همزمان با آبیاری اعمال شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه
Table 1- Physical and chemical properties of soil

پتانسیم قابل دسترس	فسفر قابل دسترس	نیترژن کل	کربن آلی	هدایت الکتریکی	اسیدیته	بافت
Available K mg.kg ⁻¹	Available P (mg.kg ⁻¹)	Total N (%)	Organic carbon (%)	EC (dS.m ⁻¹)	pH	Texture
197	26	0.057	0.65	1.86	8	سیلتی لوم Loam silty

برای تعیین تراکم و تنوع علف‌های هرز، نمونه‌گیری‌ها در سه مرحله شامل ۳۰ روز پس کاشت (پیش از بسته شدن کانوپی)، ۵۰ روز پس از کاشت (همزمان با بسته شدن کانوپی) و پیش از برداشت (در چین اول) از سطح کوادراتی به ابعاد ۳۰×۳۰ سانتی‌متر صورت گرفت. به این منظور، سه نمونه به‌صورت تصادفی از هر کرت فرعی برداشت شد. سپس نوع گونه‌های علف‌هرز و تراکم آن‌ها در هر کوادرات به‌تفکیک شمارش و ثبت گردید. علف‌های هرز موجود در هر کرت به‌تفکیک گونه برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید و جهت تعیین وزن خشک در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده شد. عملیات برداشت در سه چین از سه ردیف وسط هر کرت (با حذف اثرات حاشیه) و در زمان رسیدگی ۴۰ درصد میوه‌ها انجام شد. در برداشت مرحله آخر (چین سوم) میوه‌های نارس نیز برداشت و وزن شد. در زمان برداشت، وزن میوه‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. همچنین هر چین از هر کرت پنج میوه به‌صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه رفرکتومتر، شاخص بریکس میوه اندازه‌گیری شد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار MSTAT-C و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های تراکم و جمعیت علف‌های هرز: در مجموع، هفت گونه علف هرز شامل: تاج‌خروس ایستاده، تاج‌ریزی سیاه، سلمه

تره، خرفه، قیاق، اویار سلام و چسبک متعلق به شش خانواده گیاهی (شامل تاج‌خروس، چغندریان، جگن، خرفه، غلات و سیب زمینی) طی مراحل نمونه‌برداری در مزرعه مشاهده گردید. از نظر مسیر فتوسنتزی، یک گونه پهن‌برگ C_۳، سه گونه باریک‌برگ C_۴، دو گونه پهن‌برگ C_۳ و یک گونه پهن‌برگ CAM شناسایی شدند (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی در کشت فی‌مابین زمستانه در جدول ۳ نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، تراکم علف‌های هرز در مراحل نمونه‌برداری به‌طور معنی‌داری تحت اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی و ارقام گوجه‌فرنگی (P≤۰/۰۱) و نیز اثر متقابل این دو فاکتور (P≤۰/۰۵) قرار گرفت. گیاهان پوششی شنبلیله، چاودار، خلر و ماشک گل‌خوشه‌ای تراکم علف‌های هرز را در مقایسه با شاهد ((بدون گیاه پوششی) + آبیاری) در نمونه‌برداری اول به‌ترتیب ۳۹/۳۳، ۷۳/۴۱، ۵۲/۰۶ و ۸۳/۵۳ درصد، در نمونه‌برداری دوم به‌ترتیب ۲۳/۶۱، ۵۸/۲۵، ۴۱/۷۱ و ۷۴/۰۱ درصد و در نمونه‌برداری سوم به‌ترتیب ۲۳/۹۸، ۶۴/۰۳ و ۳۹/۹۹ درصد کاهش دادند. این در حالی است که میزان این کاهش برای این گونه‌های پوششی در مقایسه با شاهد عدم آبیاری در نمونه‌برداری اول به‌ترتیب ۵۶/۸۰، ۸۱/۰۶، ۶۵/۸۶ و ۸۸/۲۷ درصد، در نمونه‌برداری دوم به‌ترتیب ۴۶/۹۸، ۷۱/۰۲، ۵۹/۵۵ و ۸۱/۹۶ درصد و در نمونه‌برداری سوم به‌ترتیب ۴۸/۱۹، ۷۵/۴۸، ۵۹/۱۰ و ۸۹/۰۹ درصد محاسبه گردید (شکل ۱). در طی سه مرحله نمونه‌برداری،

بیشترین کاهش تراکم علف‌های هرز در مقایسه با شاهد در گیاهان پوششی ماشک گل‌خوشه‌ای و چاودار به ترتیب ۸۱/۰۴ و ۶۷/۸۰ درصد مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۲- مشخصات علف‌های هرز مشاهده شده در تیمارهای مدیریت علف‌های هرز
Table 2- Weed characteristics observed in weed management treatments

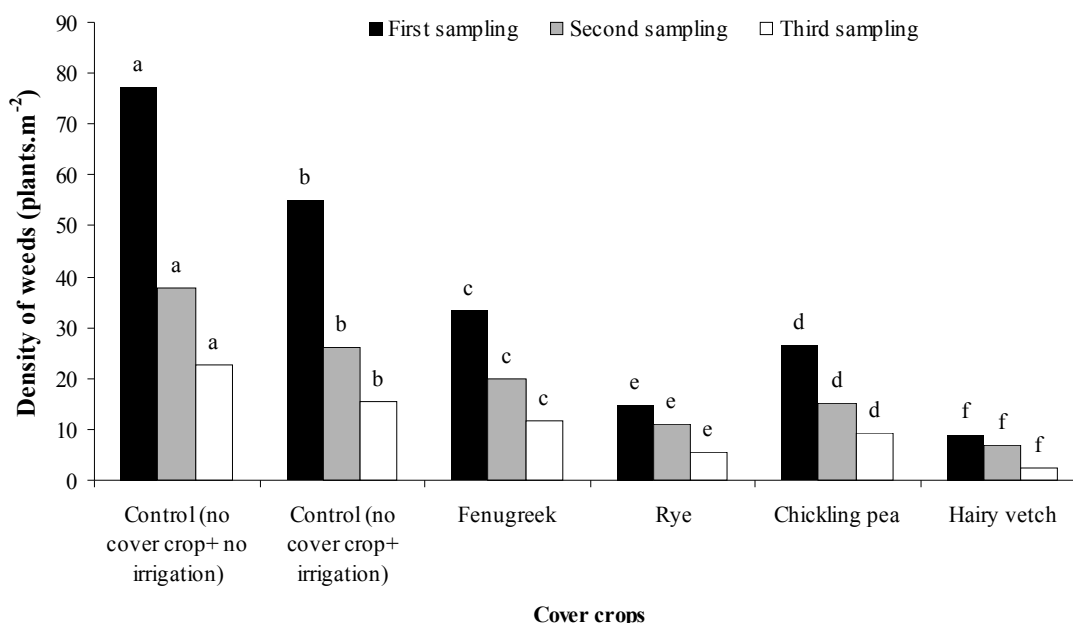
نام فارسی Persian name	نام علمی Binomial nomenclature	خانواده Family	شکل رویشی Growth form	مسیر فتوسنتزی Carbon fixation pathway	چرخه رویشی Growth cycle
تاج‌خروس ایستاده Pigweed	<i>Amaranthus retroflexus</i> L.	Amaranthaceae	پهن‌برگ Broad leaf	C ₄	یکساله Annual
سلمه‌تره Lambsquarters	<i>Chenopodium album</i> L.	Chenopodiaceae	پهن‌برگ Broad leaf	C ₃	یکساله Annual
اویار سلام زرد Yellow nutsedge	<i>Cyperus esculentus</i> L.	Cyperaceae	باریک‌برگ Narrow leaf	C ₄	چندساله Perennial
خرقه Common purslane	<i>Portulaca oleracea</i> L.	Portulacaceae	پهن‌برگ Broad leaf	CAM	یکساله Annual
قیاق Johnson grass	<i>Sorghum halepense</i> L.	Poaceae	باریک‌برگ Narrow leaf	C ₄	چندساله Perennial
چسبک Green foxtail	<i>Setaria viridis</i> L.	Poaceae	باریک‌برگ Narrow leaf	C ₄	یکساله Annual
تاج‌ریزی سیاه Black night shade	<i>Solanum nigrum</i> L.	Solanaceae	پهن‌برگ Broad leaf	C ₃	یکساله Annual

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در ارقام گوجه‌فرنگی طی مراحل مختلف نمونه‌برداری

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) of the effects of weed management treatments, cover crops and tomato cultivars on weed density and dry weight at different sampling stages

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	نمونه‌برداری اول First sampling		نمونه‌برداری دوم Second sampling		نمونه‌برداری سوم Third sampling	
		تراکم Density	وزن خشک Dry weight	تراکم Density	وزن خشک Dry weight	تراکم Density	وزن خشک Dry weight
تکرار Replication	2	0.888	67.090	1.147	6.599	5.126	8.625
مدیریت علف‌های هرز و گیاه پوششی (A) Weed management and cover crops (A)	5	4004.404**	8735.315**	752.814**	1754.298**	312.988**	886.334**
خطای کرت اصلی Main error	10	13.693	60.670	5.307	19.870	0.550	4.003
رقم گوجه‌فرنگی (B) Tomato cultivar (B)	1	749.117**	819.105**	335.378**	1444.127**	173.449**	557.590**
A × B	5	64.775**	36.432*	9.397*	15.415*	5.956*	23.436*
خطای کرت فرعی Sub error	12	5.030	15.867	4.790	6.254	1.230	13.161

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.
*and **: represent significant at 5 and 1% probability levels, respectively.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر تراکم علف‌های هرز در مراحل اول تا سوم نمونه‌برداری
Fig. 1- Mean comparisons for simple effects of weed management treatments and cover crops on weed density at first to third sampling stages

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر نوبت نمونه‌برداری، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by similar letters in each sampling stage are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

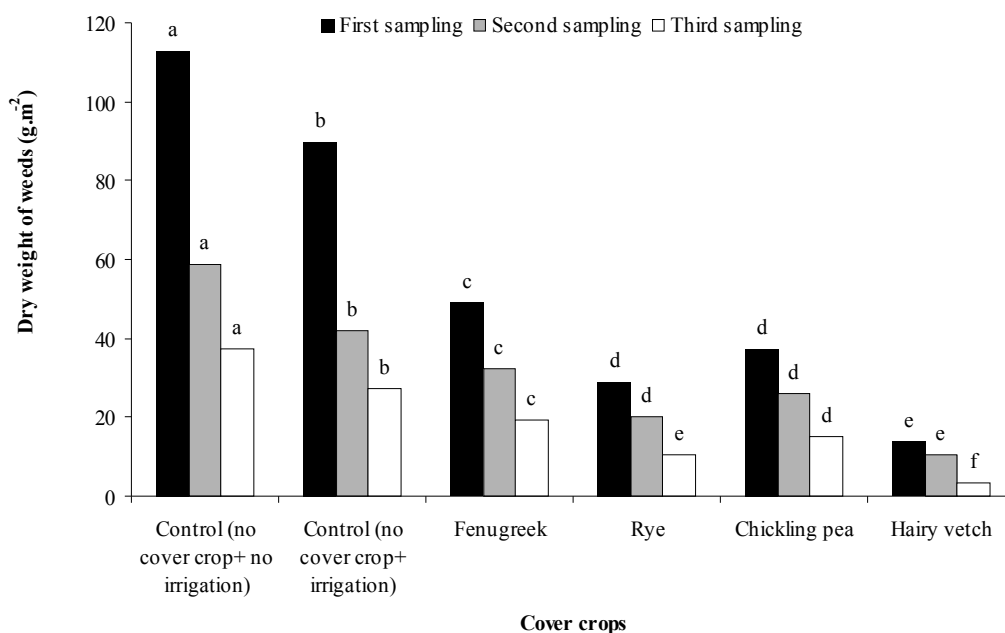
2006). نتایج برخی بررسی‌ها حاکی از آن است که سه گیاه ماشک، چاودار و تریتیکاله^۱ دارای توانایی آزادسازی مواد فیتوتوکسین در محیط هستند که کاشت آن‌ها به‌عنوان مالچ و بقایای گیاه پوششی از طریق تولید مواد سمی و تغییر اسیدیته خاک از جوانه‌زنی و استقرار علف‌های هرز جلوگیری می‌کند (Dhima et al., 2006; Kobayashi et al., 2004). صمدی و محمد دوست (Samadi & Mohammaddoust Chamanabad, 2014) گزارش کردند که کاشت گیاهان پوششی (چاودار، گندم^۲ و شبدر قرمز^۳) تراکم علف‌های هرز را ۴۸/۵ درصد کاهش داد. همچنین گیاهان پوششی با جذب نور قرمز موجب تغییر کیفیت نور رسیده به سطح خاک می‌شوند که می‌تواند جوانه‌زنی و رشد و نمو علف‌های هرز را تحت تأثیر قرار دهند. آزمایش‌های زیادی نشان داده است که بذر بسیاری از علف‌های هرز برای جوانه‌زنی نیاز به نور قرمز دارند و نور قرمز دور مانع از جوانه‌زنی آن‌ها می‌شوند (Boyd & Acker, 2004; Malik et al., 2010).

کاهش تراکم علف‌های هرز در نتیجه کاشت گیاهان پوششی ممکن است نتیجه کاهش نفوذ نور، رقابت گیاهان پوششی با علف‌های هرز، رهاسازی مواد دگرآسیب تحت تأثیر تجزیه بقایای گیاهان پوششی و یا بهبود شرایط رقابت گیاهان زراعی به‌واسطه کاهش فرصت حضور علف‌های هرز و بهبود حاصلخیزی خاک باشد. در بین گیاهان پوششی مورد بررسی ماشک گل خوشه‌ای و چاودار بیشترین تأثیر را بر کنترل علف‌های هرز داشتند که این امر نیز ممکن است ناشی از رشد سریع آن‌ها، توانایی تثبیت نیتروژن در ماشک و یا خاصیت دگرآسیبی شدید چاودار باشد (Burgos & Talbert, 1996; Burgos & Talbert, 1996 b; Ahmadi et al., 2010). آزمایش‌ها نشان داده است که کاشت گیاهان مختلف پوششی، تراکم علف‌های هرز را به‌میزان زیادی کاهش می‌دهد (Baumann et al., 2000; Cherr et al., 2006; Hiltbrunner et al., 2007; Samadi & Mohammaddoust Chamanabad, 2014). بررسی‌ها نشان داده است که گیاهان پوششی خانواده بقولات به‌دلیل رشد سریع، علاوه بر تأمین نیتروژن گیاه بعدی، به‌واسطه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن دارای توان خوبی برای مقابله با علف‌های هرز هستند (Rao, 2006).

1- *Triticale* sp.
2- *Triticum aestivum* L.
3- *Trifolium pratense* L.

کاهش یافت. گونه‌های پوششی سنبليله، چاودار، خلر و ماشک گل‌خوشه‌ای وزن خشک علف‌های هرز را نسبت به شاهد (بدون گیاه پوششی) + آبیاری در نمونه‌برداری اول به‌ترتیب ۴۵/۱۰، ۶۷/۶۹، ۵۸/۵۶ و ۸۴/۷۳ درصد، در نمونه‌برداری دوم به‌ترتیب ۲۳/۵، ۵۲/۱، ۳۸/۴ و ۷۴/۸ درصد و در نمونه‌برداری سوم به‌ترتیب ۲۹/۱، ۶۰/۹، ۴۵/۵ و ۸۸/۳ درصد کاهش دادند. این در حالی است که تیمارهای مدیریت علف‌های هرز در مقایسه با شاهد بدون آبیاری وزن خشک علف‌های هرز را در نمونه‌برداری اول به‌ترتیب ۵۶/۳، ۷۴/۳، ۶۷/۰ و ۸۷/۸ درصد، در نمونه‌برداری دوم به‌ترتیب ۴۵/۵، ۶۵/۹، ۵۶/۱ و ۸۲/۰ درصد و در نمونه‌برداری سوم به‌ترتیب ۴۷/۹، ۷۱/۳، ۶۰/۰ و ۹۱/۴ درصد کاهش دادند (شکل ۲). همچنین با گذشت زمان به‌دلیل بسته شدن تاج‌پوشش گیاهی و به تبع آن سایه‌اندازی گیاه گوجه‌فرنگی بر سطح خاک، وزن خشک علف‌های هرز تحت تأثیر کاهش تعداد و تراکم آن‌ها به‌میزان زیادی کاهش یافت.

(Milberg, 1997). همچنین، این گیاهان در جذب منابع و عناصر غذایی با گیاهچه‌های در حال ظهور علف‌های هرز رقابت می‌کنند که به این طریق توانایی رقابتی و زادآوری آن‌ها را کاهش می‌دهند (Creamer & Dabney, 2002; Theasdale & Mohler, 2002). ترشح مواد آلوپاتیک از دیگر روش‌های تأثیر ماله‌های زنده بر علف‌های هرز است (Campiglia et al., 2010). محققین، مدت زمان کنترل علف‌های هرز تحت تأثیر بقایای گیاهان پوششی را بیشتر تابع مدت ماندگاری مواد دگرآسیب آزاد شده به محیط خاک به‌واسطه تجزیه بقایای این گیاهان نسبت داده‌اند. تحقیقات نشان داده است که حدود ۱۰۵ روز طول می‌کشد تا ۵۰ درصد از بقایای چاودار بعد از خرد کردن ناپدید شود (Ranjbar et al., 2007). در طول فصل رشد به‌دلیل بسته شدن تاج‌پوشش گیاهی و در نتیجه، سایه‌اندازی گیاه گوجه‌فرنگی بر سطح خاک از رشد و تراکم علف‌های هرز در طول فصل رشد کاسته شد؛ به‌طوری‌که تراکم علف‌های هرز طی فصل رشد و مراحل نمونه‌برداری در تیمارهای مختلف به‌میزان زیادی



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر وزن خشک علف‌های هرز در مراحل اول تا سوم نمونه‌برداری

Fig. 2- Mean comparisons for simple effects of weed management treatments and cover crops on weed dry weight at first to third sampling stages

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر نوبت نمونه‌برداری، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by similar letters in each sampling stage are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌گردد، اثر ساده و متقابل تیمارهای مختلف مدیریت علف‌های هرز و ارقام گوجه‌فرنگی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد گوجه‌فرنگی در چین‌های اول، دوم و سوم و همچنین عملکرد کل داشت ($p \leq 0.05$).

مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم در جدول ۴ نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۴، رقم ۶۵۱۵-فلات نسبت به رقم ۸۳۲۰-فلات، در چین‌های اول تا سوم بیشترین عملکرد را دارا بود. همچنین نتایج نشان داد که عملکرد کل رقم ۶۵۱۵-فلات، ۱۵ درصد نسبت به رقم ۸۳۲۰-فلات بالاتر بود.

در جدول ۵، نتایج مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر عملکرد میوه ارقام گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم نشان داده شده است.

همان طور که در جدول ۵ ملاحظه می‌شود، بیشترین عملکرد میوه در چین اول در تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای (۵۷۶۰/۹۸ گرم بر مترمربع) به دست آمد که از نظر آماری اختلافی با شنبلیله و خلر مشاهده نشد. در چین‌های دوم و سوم نیز تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای بیشترین عملکرد میوه را به خود اختصاص داد که می‌توان گفت، احتمالاً توانایی بالای تثبیت نیتروژن و افزایش حاصلخیزی خاک توسط ماشک گل‌خوشه‌ای و از طرفی، کاهش حضور علف‌های هرز دلیل این امر بوده است. ماشک گل‌خوشه‌ای گونه‌ای متحمل نسبت به سرما می‌باشد (Buxton, 1996)، کاشت این گیاه همچنین می‌تواند مزایایی نظیر بهبود باروری خاک، بهبود و جذب تشعشع، ایجاد تعادل در رطوبت، دما و نیز محتوی نیتروژن خاک را به همراه داشته باشد (Pullaro et al., 2006)، همچنین با توجه به اینکه بالاترین میزان آب‌شویی نترات طی پاییز و زمستان رخ می‌دهد (Ritter et al., 1991)، کاشت گیاهان خانواده لگومینوزه که دارای تحمل نسبتاً مناسبی به سرما هستند، می‌تواند مانع تلفات نیتروژن گردد و از این طریق علاوه بر حفظ محیط‌زیست و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، موجب کاهش هزینه‌های تولید شود (Asadi & Khorramdel, 2014). علاوه بر این، در تیمار گیاهان پوششی، نیتروژن و سایر عناصر غذایی متحرک به جای آب‌شویی، توسط این گیاهان جذب و تبدیل به زیست‌توده شده که تحت تأثیر تجزیه بقایای آن‌ها نیتروژن معدنی موجود به تدریج آزاد و بدون آب‌شویی در اختیار

با توجه به نتایج حاصل از آزمایش، بیشترین کاهش وزن خشک علف‌های هرز به ماشک گل‌خوشه‌ای و سپس چاودار اختصاص داشت که چاودار در مقایسه با خلر طی مراحل اول و دوم نمونه‌برداری از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نشان نداد (شکل ۲). در مطالعه‌ای نیز در بررسی اثر نسبت‌های کشت مخلوط جو^۴ با ماشک گل‌خوشه‌ای بر جمعیت علف‌های هرز مشخص شد که در تیمار بالاترین درصد حضور ماشک گل‌خوشه‌ای با جو (۷۵ درصد ماشک گل‌خوشه‌ای + ۲۵ درصد جو) تراکم و وزن علف‌های هرز کمتر بود (Asadi & Khorramdel, 2014). کاهش وزن خشک علف‌های هرز به کاهش تراکم و ممانعت گیاهان پوششی از رشد و نمو این گونه‌ها نسبت داده شده است. در همین راستا تحقیقات مؤید آن است که کاشت گیاهان پوششی وزن خشک علف‌های هرز را کاهش داد (Amin Ghafari & Rezvani, 2009; Samadi & Mohammaddoust, 2014). (Chamanabad, 2014).

مقایسه جمعیت علف‌های هرز طی سه مرحله نمونه‌برداری نشان می‌دهد، گیاهان پوششی به‌طور معنی‌داری علف‌های هرز را در مقایسه با شاهد در شرایط آبیاری و بدون آن کنترل کردند (شکل ۲) که این نتیجه با گزارش جاهدی (Jahedi, 2003) که اعلام کرد، علی‌رغم عدم استفاده از علف‌کش، تیمارهای گیاهان پوششی از نظر کاهش وزن خشک علف‌های هرز در کشت ارقام گوجه‌فرنگی نسبت به شاهد برتری داشتند، مطابقت دارد. همچنین لوتمن (Lutman, 2002) اظهار داشت که همبستگی منفی بین زیست‌توده تولیدی علف‌های هرز و عملکرد تولیدی گیاه اصلی وجود دارد و هرچه زیست‌توده علف‌های هرز و به تبع آن کاهش تراکم آن‌ها کاهش یابد، میزان عملکرد افزایش می‌یابد. کاهش تراکم و وزن خشک علف‌های هرز در تیمارهای پوششی چاودار و ماشک، نشان‌دهنده پتانسیل بالای این گیاهان در کنترل گونه‌های مختلف علف‌های هرز در مقایسه با سایر تیمارها بود که علت این پتانسیل را می‌توان به توانایی این گونه‌ها در رشد سریع و تولید زیست‌توده بالاتر نسبت داد.

عملکرد میوه و شاخص بریکس ارقام گوجه‌فرنگی:

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر عملکرد ارقام گوجه‌فرنگی در جدول ۳ نشان داده شده است.

کرت‌های بدون مالچ بیشتر بود. هودو و همکاران (Hudu et al., 2002) گزارش کردند که عملکرد گوجه‌فرنگی با افزایش مالچ گیاهان پوششی تا ۷/۵ تن در هکتار به‌واسطه افزایش رشد و شاخه‌دهی و به تبع آن بهبود وزن و تعداد میوه یافت و بعد از آن افزایش معنی‌داری در عملکرد دیده نشد.

گوجه‌فرنگی قرار گرفته است که این امر می‌تواند علاوه‌بر تخفیف اثرات زیست‌محیطی، افزایش درآمد اقتصادی را نیز به‌همراه داشته باشد. همچنین به نظر می‌رسد کاشت گونه‌های پوششی با افزایش شاخه‌دهی در گوجه‌فرنگی موجب افزایش تولید میوه و بهبود عملکرد شده‌اند. در این زمینه گزارش‌هایی نیز به‌دست آمده که عملکرد کل میوه گوجه‌فرنگی (تن در هکتار) در کرت‌های همراه با مالچ نسبت به

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در مراحل اول تا سوم رسیدگی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of weed management treatments and cover crops on tomato fruit yield at first to third harvesting stages

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	عملکرد میوه Fruit yieldo			
		چین اول First harvesting	چین دوم Second harvesting	چین سوم Third harvesting	کل Total
تکرار Replication	2	506207	301303	901506	2652352
مدیریت علف‌های هرز و گیاه پوششی (A) Weed management and cover crops (A)	5	2577314**	1023990*	704416*	11528379**
خطای کرت اصلی Main error	10	366138	220215	154994	537864
رقم گوجه‌فرنگی (B) Tomato cultivar (B)	1	1605188**	1120532**	1527626*	12684187**
A × B	5	55531*	11689 *	104521 *	294897 *
خطای کرت فرعی Sub error	12	43776	19431	196352	213346

* و **: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.
*and **: represent significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر ساده رقم بر عملکرد میوه گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم
Table 4- Mean comparisons for simple effect of cultivar on tomato fruit yield at first to third harvesting stages

رقم Cultivar	چین اول First harvesting (g.m ⁻²)	چین دوم Second harvesting (g.m ⁻²)	چین سوم Third harvesting (g.m ⁻²)	کل Total (g.m ⁻²)
۸۳۲۰-فالات Falat-8320	4940.59 ^b *	2122.18 ^b	866.86 ^b	7930.32 ^b
۶۵۱۵-فالات Falat-6515	5362.91 ^a	2475.73 ^a	1278.85 ^a	9117.4 ^a

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر عملکرد میوه ارقام گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم
Table 5- Mean comparisons for simple effects of weed management treatments and cover crops on fruit yield of tomato at first to third harvestings

تیمارهای مدیریت علف‌های هرز Weed management treatments	چین اول First harvesting (g.m ⁻²)	چین دوم Second harvesting (g.m ⁻²)	چین سوم Third harvesting (g.m ⁻²)	کل Total (g.m ⁻²)
شنبليله Fenugreek	5624.79 ^{a*}	2572.31 ^b	1273.94 ^{ab}	9471 ^b
چاودار Rye	5192.96 ^b	2277.44 ^c	957.89 ^{bc}	8427.9 ^c
خلر Chickling pea	5613.33 ^a	2338.72 ^c	1199.88 ^{ab}	9151.9 ^b
ماشک گل خوشه‌ای Hairy vetch	5760.98 ^a	2896 ^a	1563.51 ^a	10221.3 ^a
شاهد (بدون گیاه پوششی) + آبیاری Control(no cover crops) + irrigation	4562.48 ^c	1967.86 ^d	841.03 ^{bc}	7371.4 ^d
شاهد (بدون گیاه پوششی) + بدون آبیاری Control(no cover crops) + no irrigation	4156.32 ^d	1742.65 ^d	600.90 ^c	6499.9 ^c

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

* Means followed by similar letters in each column are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، عملکرد کل ارقام گوجه‌فرنگی در تیمار چاودار نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. در برخی تحقیقات کاهش عملکرد محصولات زراعی مانند ذرت^۶ پس از کشت چاودار پاییزه نیز مشاهده شده است که برخی محققان علت آن را اثرات سوء ترکیبات دگرآسیب بقایای چاودار بر محصول زراعی می‌دانند (Burgos & Talbert, 1996 a; Burgos & Talbert, 1996). البته برخی عقیده دارند کاهش عملکرد گیاه اصلی به دلیل دگرآسیبی بقایای چاودار نبوده، بلکه وجود بقایای این گیاه پوششی در سطح خاک باعث ایجاد تداخل شده است (Eckert, 1988) و برخی، علت کاهش عملکرد را کمبود نیتروژن خاک به دلیل غیر متحرک شدن نیتروژن معدنی در طول مدت تجزیه چاودار به عنوان گیاهی با نسبت بالای کربن به نیتروژن عنوان کرده‌اند (Blevins et al., 1990; Ebelhar et al., 1984; Vaughan & Evanylo, 1998). البته همزمانی کاشت گیاه اصلی با گیاهان پوششی به‌ویژه در اوایل دوره رشد به دلیل رقابت برای رطوبت، نور و عناصر غذایی می‌تواند تا حدودی کاهش نسبی عملکرد را به دنبال داشته باشد. در همین راستا، آته و دال (Ateh & Doll, 1996) و دی‌هان و همکاران (De Haan et al., 1994) طی مطالعات مختلف نتیجه گرفتند کاشت گیاهان پوششی در مواقعی که رشد زیادی داشته باشند، باعث رقابت مستقیم

ساماراجوا و همکاران (Samarajeewa et al., 2006) اظهار داشتند که استفاده از گیاهان پوششی موجب بهبود عملکرد سویا^۵ در مقایسه با شاهد شد. رنجبر و همکاران (Ranjbar et al., 2007) نیز گزارش نمودند که گیاهان پوششی موجب بهبود عملکرد، وزن تک بوته و تک میوه گوجه‌فرنگی شد. در آزمایشی که به منظور بررسی تأثیر گیاهان پوششی و مالچ بر عملکرد گوجه‌فرنگی اجرا گردید، افزایش ۲۸ درصدی عملکرد میوه برای ماشک گزارش گردید (Campiglia et al., 2010). همچنین به نظر می‌رسد گیاه پوششی از طریق تأخیر در سبز شدن علف‌های هرز، سطح برگ و ماده خشک گیاه اصلی را افزایش می‌دهد که در نهایت، افزایش عملکرد را به دنبال داشته است (Haj Seyed Hadi et al., 2007). به طور کلی، بررسی‌ها نشان داده است که بیشترین تأثیر مثبت گیاهان پوششی بر بهبود عملکرد، از طریق کاهش اثرات منفی علف‌های هرز بر رشد و استقرار گیاه اصلی است. هرچند این گیاهان از طریق افزایش نفوذ آب در خاک، بهبود ساختمان خاک، ارتقاء بهبود حاصلخیزی خاک تحت تأثیر تثبیت نیتروژن (در مورد گیاهان خانواده لگومینوزه) و بهبود کیفیت خاک، باعث افزایش عملکرد گیاهان زراعی می‌شوند (Campiglia et al., 2010; Haj Seyed Hadi et al., 2007; Ranjbar et al., 2006; Samarajeewa et al., 2007).

و کاهش رشد گیاه اصلی می‌گردد. بر این اساس، توصیه می‌شود انتخاب گیاهان پوششی با نسبت کربن به نیتروژن پایین و همچنین تاریخ مناسب کاشت جهت دستیابی به سطح قابل قبولی از عملکرد به‌دقت مدنظر قرار گیرد.

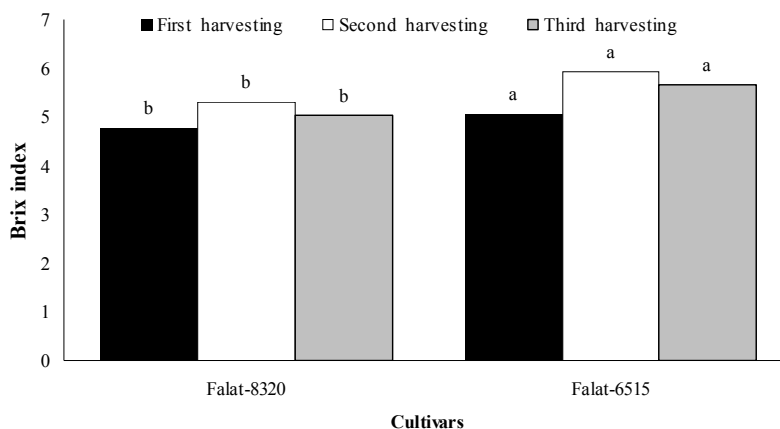
نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر شاخص بریکس در جدول ۶ نشان داد که اثر ساده و متقابل دو فاکتور گیاهان پوششی و ارقام گوجه‌فرنگی بر این شاخص کیفی میوه طی چین‌های اول تا سوم معنی‌دار بود ($p \leq 0.05$).

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر گیاهان پوششی بر شاخص بریکس ارقام گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم
Table 6- Analysis of variance (mean of squares) for effects of weed management and cover crops on brix index tomato at first to third harvesting stages

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	Mean of squares		
		چین اول First harvesting (g.m ⁻²)	چین دوم Second harvesting (g.m ⁻²)	چین سوم Third harvesting (g.m ⁻²)
تکرار Replication	2	0.2419	0.3633	0.760
مدیریت علف‌های هرز و گیاه پوششی (A) Weed management and cover crops (A)	5	0.5071 ^{ns}	1.7813*	2.809**
خطای کرت اصلی Main error	10	0.4256	0.3787	0.185
رقم گوجه‌فرنگی (B) Tomato cultivar (B)	1	14.9511**	10.027**	3.776**
A × B	5	1.1058*	0.3804*	0.403*
خطای کرت فرعی Sub plot error	12	0.4417	0.2667	0.301

ns و * و **: به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد است.
ns, * and **: represent non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، در تمام چین‌های برداشت شده شاخص بریکس در رقم فلات-۶۵۱۵ بالاتر از رقم فلات-۸۳۲۰ بود و چین دوم نسبت به سایر چین‌ها از نظر این شاخص مقدار بیشتری را به خود اختصاص داد.



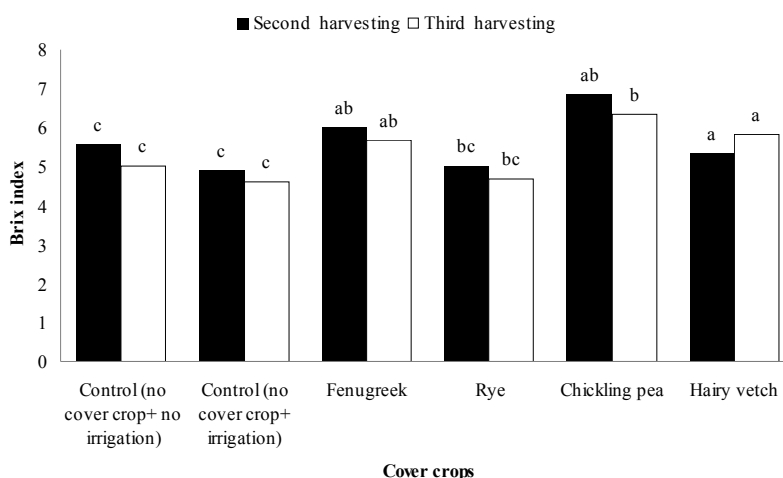
شکل ۳- مقایسه میانگین شاخص بریکس ارقام گوجه‌فرنگی در چین‌های اول تا سوم

Fig. 3- Mean comparisons for Brix index of tomato cultivars affected at first to third harvesting stages

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر چین، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند. Means followed by similar letters in each harvesting stage are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

چشمگیری بین این تیمار و سایر تیمارهای مدیریت علف‌های هرز مشاهده نشد (شکل ۴).

از نظر تأثیر گیاهان پوششی بر شاخص بریکس نیز مقایسه میانگین داده‌ها در چین‌های دوم و سوم نشان داد که تیمار ماشک گل‌خوشه‌ای بیشترین مقدار را دارا بود، اگرچه از نظر آماری تفاوت



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر ساده تیمارهای مدیریت علف‌های هرز و گیاهان پوششی بر شاخص بریکس گوجه‌فرنگی در چین‌های اول و دوم
Fig. 4- Mean comparisons for simple effects of weed management and cover crops on brix index of tomato at first and second stages of harvesting

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر چین، تفاوت معنی‌داری بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by similar letters in each harvesting stage are not significantly different at the 5% level of probability level based on Duncan's test.

نتیجه‌گیری

مربوط به ماشک گل‌خوشه‌ای و سپس چاودار بود. از طرف دیگر، بیشترین عملکرد میوه برای رقم ۶۵۱۵-فلات در شرایط کاشت ماشک گل‌خوشه‌ای حاصل گردید. احتمالاً به دلیل کاهش رقابت بین گیاه اصلی و علف‌های هرز، عملکرد و تعداد میوه در شرایط کاشت گیاهان پوششی بهبود یافت. همچنین رقم ۶۵۱۵-فلات توانایی بهتری در کنترل علف‌های هرز در مقایسه با رقم ۸۳۳۰-فلات داشت. البته بایستی تاریخ مناسب کاشت گونه‌های پوششی، انتخاب گونه‌های مناسب با نسبت کربن به نیتروژن پایین و توانایی کنترل بالای علف‌های هرز جهت دستیابی به سطح قابل قبولی از عملکرد به‌دقت مدنظر قرار گیرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که کشت گیاهان پوششی شامل خلر، ماشک گل‌خوشه‌ای، شنبلیله و چاودار احتمالاً از طریق بهبود رشد و افزایش قدرت رقابتی گوجه‌فرنگی به‌واسطه تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط گونه‌های لگومینوزه و همچنین خاصیت دگرآسیبی این گیاهان پوششی باعث کاهش رشد و یا رویش علف‌های هرز قادر به کنترل علف‌های هرز (عمدتاً پهن‌برگ و یکساله) در ارقام فلات ۸۳۲۰ و فلات ۶۵۱۵ گوجه‌فرنگی شد که البته میزان این تأثیر برای گونه‌های هرز پهن‌برگ یکساله به‌مراتب بالاتر از گونه‌های باریک‌برگ و چندساله بود؛ به‌طوری‌که کمترین تراکم و وزن خشک علف‌های هرز

References

- Ahmadi, A., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., and Janmohammadi, H., 2010. Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science (Agricultural Science)* 20: 78-88. (In Persian with English Summary)
- Amin Ghafori, A., and Rezvani Moghaddam, P., 2009. Evaluation of cover crops on weed control in castor bean (*Ricinus communis* L.). The First Congress on Oil Crops, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Asadi, G.A., and 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 Summary)
- Ateh, C.M., and Doll, J.D., 1996. Spring-planted winter rye (*Secale cereale*) as a living mulch to control weeds in soybean (*Glycine max*). *Weed Technology* 10: 347-355.
- Barberi, P., and Mazzoncini, M., 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Science* 49: 491-499.
- Baumann, D.T., Kropff, M.J., and Bastians, L., 2000. Intercropping leaks to suppress weeds. *Weed Research* 40: 359-374.
- Blevins, R.L., Herbek, J.H., and Frye, W.W., 1990. Legume cover crops as a nitrogen source for no-till corn and grain sorghum. *Agronomy Journal* 82: 769-772.
- Boyd, N., and Van Acker, R., 2004. Seed germination of common weed species as affected by oxygen concentration, light, and osmotic potential. *Weed Science* 52: 589-596.
- Burgos, N.R., and Talbert, R.E., 1996 a. Weed control by spring cover crops and Imazethapyr in no-till southern pea (*Vigna unguiculata*). *Weed Technology* 10: 893-899.
- Burgos, N.R., and Talbert, R.E., 1996 b. Weed control and sweet corn (*Zea mays* var. rogusa) response in a no-till system with cover crops. *Weed Science* 44(2): 355-361.
- Buxton, D.R., 1996. Quality- related characteristics of forage as influenced by plant environment and agronomic factors. *Animal Feed Science and Technology* 53: 37-49.
- Campiglia, A., Mancinelli, R., Radicetti, E., and Caporali, F., 2010. Effect of cover crop and mulches on weed control and nitrogen fertilization on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Crop Protection* 29: 354-363.
- Campiglia, E., Paolini, R., Colla, G., and Mancinelli, R., 2009. The effects of cover cropping on yield and weed control of potato in a transitional system. *Field Crops Research* 112: 16-23.
- Chase, W.R., Nair, M.G., Putnam, A.R., and Mishra, S.K., 1991. 2, 2-oxo-1,1-a.zobenzene: microbial transformation of rye (*Secale cereale* L.) allelochemical in field soils by *Actinetobacter calcoaceticus*. III. *Journal of Chemical Ecology* 17: 1575-1584.
- Cherr, C.M., Scholberg, J.M.S., and McSorley, R., 2006. Green manure approaches to crop production: A synthesis. *Agronomy Journal* 98: 302-319.
- Creamer, N.G., and Dabney, S.M., 2002. Killing cover crops mechanically: Review of recent literature and assessment of new research results. *Journal of Alternative Agriculture* 17: 32-40.
- De Haan, R.L., Wyse, D.L., Ehlke, N.J., Maxwell, B.D., and Putnam, D.H., 1994. Simulation of spring-seeded smother plants for weed control in corn (*Zea mays*). *Weed Science* 42: 35-43.
- Dhima, K.V., Vasilakoglou, I.B., Eleftherohorinos, I.G., and Lithourgidis, A.S., 2006. Allelopathic potential of winter cereal cover crop mulches on grass weed suppression and sugarbeet development. *Crop Science* 46: 345-352.
- Eckert, D.J., 1988. Rye cover crops for no-tillage corn and soybean production. *Journal of Production Agriculture* 1: 207-210.
- Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A.A., and Rubiales, D., 2010. Inter-cropping with berseem clover (*Trifolium alexandrinum*) reduces infection by *Orobanche crenata* in legumes. *Crop Protection* 29: 867-871.
- Fisk, J.W., Heesterman, O.B., Shrestha, A., Kells, J.J., Harwood, R.R., Squire, J.M., and Sheaffer, C.C., 2001. Weed suppression by annual legume cover crops in no-tillage corn. *Agronomy Journal* 93: 319-325.
- Gabriel, J.L., and Quemada, M., 2011. Replacing bare fallow with cover crops in a maize cropping system: Yield, N uptake and fertilizer fate. *European Journal of Agronomy* 34: 133-143.
- Ghaffari, M., Ahmadvand, G., Ardakani, M.R., Mossadeqi, M.R., and Ghaffari, M., 2012. Effects of cover crop before planting to control weeds, improve soil fertility, yield and yield components of potato. *Iranian Journal of Field Crops Research* 10(1): 247-255. (In Persian with English Summary)
- Ghorbani, R., Koocheki, A., Asadi, G.A., and Jahan, M., 2008. Effect of organic amendments and compost extracts on tomato production and storability in ecological production systems. *Field Crops Research* 6(1): 111-116. (In Persian with English Summary)
- Gliessman, S.R., 2014. *Agroecology: The Ecology of Sustainable Food Systems*. Third Edition, CRC Press, 406 pp.

- Haj Seyed Hadi, M., Nour Mohammadi, G., Nassiri Mahallati, M., Rahimiyan, H., and Zand, E., 2007. Vertical distribution of dry matter and leaf area of potato in competition with weeds. *Agricultural New Results* 1(4): 293-307. (In Persian with English Summary)
- Hiltbrunner, J., Jeanneret, P., Liedgens, M., Stamp, P., and Streit, B., 2007. Response of weed communities to legume living mulches in winter wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science* 193: 93-102.
- Hudu, A.I., Futuless, K.N., and Gworgwor, N.A., 2002. Effect of mulching intensity on the growth and yield of irrigated tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) and weed infestation in semi-arid zone of Nigeria. *Journal of Sustainable Agriculture* 21: 37-45.
- Jahedi, A., 2003. Application of cover crops and allelopathic crops on weed control in potato field. 3rd International Congress on Biological Materials and Optimum Application of Fertilizers and Pesticides in Agriculture. Deputy of Training and Equipping the Ministry of Agriculture Ministry of Jihad. February 21-23, Karaj, Iran. (In Persian)
- Kobayashi, H., Miura, S., and Oyanagi, A., 2004. Effect of winter barley as a cover crop on the weed vegetation in a no-till soybean. *Weed Biology and Management* 4: 195-205.
- Larkin, R.P., Griffin, T.S., and Honeycutt, C.W., 2010. Rotation and cover crop effects on soilborne potato diseases, tuber yield, and soil microbial communities. *Plant Disease* 94: 1491-1502.
- Lutman, P.J.W., 2002. Estimation of seed production by *Stellaria media*, *Sinapis arvensis* and *Tripleurospermum inodorum* in arable crops. *Weed Research* 42: 359-369.
- Malik, M.S., Norsworthy, J.K., Riley, M.B., and Bridges, W., 2010. Temperature and light requirements for wild radish (*Raphanus raphanistrum*) germination over a 12-month period following maturation. *Weed Science* 58: 136-140.
- McLenaghan, R.D., Cameron, K.C., Lampkin, N.H., Daly, M.L., and Deo, B., 1996. Nitrate, leaching from plowed pasture and the effectiveness of winter catch crops in reducing leaching losses. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 39: 413-420.
- Meteorological Organization of Iran., 2019. Available at <https://www.razavimet.ir/> (In Persian)
- Milberg, R., 1997. Weed seed germination after short-term light exposure: germination rate, photon influence response, and interaction with nitrate. *Weed Research* 37: 157-164.
- Mirzaee Talarposhti, R., Kambozia, J., Sabahi, H., and Mahdavi Damghani, A., 2009. Effect of organic fertilizers application on of soil physicochemical characteristics and production of tomato. *Iranian Journal of Field Crops Research* 7: 257-268. (In Persian with English Summary)
- Nagabhushana, G.G., Worsham, A.D., and Yenish, J.P., 2001. Allelopathic cover crop to reduce herbicide use in sustainable agricultural systems. *Allelopathy Journal* 8: 133-146.
- Norsworthy, J.K., McClelland, M., Griffith, G., Bangarwa, S.K., and Still, J., 2011. Evaluation of cereal and Brassicaceae cover crops in conservation-tillage, enhanced, glyphosate resistant cotton. *Weed Technology* 25: 6-13.
- Pullaro, T.C., Marino, P.C., Jackson, D.M., Harrison, H.F., and Keinath, A.P., 2006. Effects of killed cover crop mulch on weeds, weed seeds, and herbivores. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 115: 97-104.
- Ranjbar, M., Samedani, B., Rahimian, H., Jahansoz, M.R., and Bihamta, M.R., 2007. Influence of winter cover and crops on weed control tomato yield. *Pajouhsh and Sazandegi* (74): 24-33. (In Persian with English Summary)
- Rao, V.S., 2006. Principles of Weed Science. Science Publication, USA. 555 pp.
- Ritter, W.F., Scarborough, R.W., and Chirnside, A.E.M., 1991. Nitrate leaching under irrigation on Coastal Plain soil. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117: 490-502.
- Samadi, F., and Mohammaddoust Chamanabad, H.R., 2014. Effect of cover crops and row space on weed control and potato yield. *Journal of Plant Protection* 27(4): 441-434. (In Persian with English Summary)
- Samarajeewa, K.B., Horiuchi, T., and Oba, S., 2006. Finger millet (*Eleusine corocana* L. Gaertn.) as a cover crop on weed control, growth, and yield of soybean under different tillage systems. *Soil and Tillage Research* 90: 93-99.
- Sarrantonio, M., and Gallandt, E., 2003. The role of cover crops in North American cropping systems. *Journal of Crop Production* 8: 53-74.
- Shekari, F., Masiha, S., and Esmailpour, B., 2006. Vegetable Physiology. Zanjan University Publications, Zanjan, Iran. 394 pp. (In Persian)
- Shojai, M., Ostovan, H., Zamanizadeh, H., Labbafi, Y., Nasr Elahi, A., Ghasemzadeh, M., and Rajabi, M.Z., 2003. The management on the intercropping of cucumber and tomato, with the implementation of non chemical and reasonably control of pests, and diseases for organic crop production in greenhouse. *Quarterly Journal of Agricultural Sciences* 9(2): 1-40. (In Persian with English Summary)
- Steenwerth, K., and Belina, K.M., 2008. Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics, and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology* 40(2): 359-369.
- Theasdale, J.R., and Mohler, C.L., 2000. The quantitative relationship between weed emergence and the physical properties of mulches. *Weed Science* 48: 385-392.

- Uchino, H., Iwama, K., Jitsuyama, Y., Yodate, T., and Nakamura, S., 2009. Yield losses of soybean and maize by competition with inter seeded cover crops and weeds in organic-based cropping systems. *Field Crops Research* 113(3): 342–351.
- Van Heemst, H.D.J., 1985. The influence of weed competition on crop yield. *Agricultural Systems* 18(2): 81-93.
- Vaughan, J.D., and Evanylo, G.K., 1998. Corn response to cover crop species, spring desiccation time and residue management. *Agronomy Journal* 90: 536-544.
- Yenish, J.P., Worsham, A.D., and York, A.C., 1996. Cover crops for herbicide replacement in no-tillage corn (*Zea mays*). *Weed Technology* 10(4): 815-821.



Effects of Weed Management Treatments and Cover Crops as Winter Plating on Weed Population and Yield of Two Cultivars of Tomato

B. Sabouri¹, S. Khorramdel^{2*}, A. Koocheki³ and H. Latifi⁴

Submitted: 18-08-2019

Accepted: 05-11-2019

Sabouri, B., Khorramdel, S., Koocheki, A., Latifi, H., 2021. Effects of weed management treatments and cover crops as winter plating on weed population and yield of two cultivars of tomato. Journal of Agroecology 13(1):117-133.

Introduction

Cover crops have the potential to improve soil physical, chemical, and biological criteria and crop yield, especially in vegetable production systems. Enhanced organic carbon, organic matter, total nitrogen, and improvements to soil functions and services are documented benefits of crop residue; reduced soil erosion and decreased nutrient leaching, especially nitrate, are other benefits of a cover crop. Along with soil moisture and temperature, the plant carbon to nitrogen (C/N) ratio is a determinant of residue decomposition that also depends on the plant growth stage and cover crop species. Cover crops have several features that can inhibit germination and decline emergence, growth, and establishment of weeds. The objectives of the study were to take an integrated approach to assess the effect of using winter cover crops on tomato production in terms of 1) weed density and biomass due to the cover crop and 2) fruit yield, quality of two conventional cultivars under Mashhad climatic conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split-plot based on a randomized complete block design with three replications at field conditions in Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center during 2017-2018. Four winter cover crops (WCC) [such as chickling pea (*Lathyrus sativus* L.), hairy vetch (*Vicia villosa* L.), fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and rye (*Secale cereale* L.)], irrigation (tilled soil without WCC) and control (tilled soil without irrigation) were considered as the main factor and subplots were two tomato cultivars (including 8320 and 6515 from FALAT Co.). WCCs were converted into mulches in spring. Studied criteria were relative density, density, and dry weight of weeds per unit area and the number of weeds in three sampling stages (such as 30 days after planting time, 50 days after planting time, and before harvesting time) and fruit yield and Brix index of tomato in three ripening stages. To analyze the variance of the experimental data and drawing of diagrams, MSTAT-C 8 and Excel software were used. All the averages were compared according to Duncan's multiple range test ($p \leq 0.05$).

Results and Discussion

The results showed that species of weeds controlled varies widely between WCCs and weed management treatments. The minimum density and dry weight of weeds belonged to hairy vetch and rye, and the maximum was for control. Hairy vetch and rye are allelopathic plants with better efficacy against annual dicots than grasses. The simple and interaction effect of WCC and cultivar were significant on fruit number, fruit yield, and Brix index. The highest and the lowest yield for the first, second, and third ripening stages were observed in hairy vetch and control,

1- M.Sc. Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

3- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

4- PhD Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

(* - Corresponding Author Email: khorramdel@um.ac.ir)

respectively. The total yield for the cultivar of 6515 was 15 percent higher than the other cultivar. Fruit yield of tomato was greatest for hairy vetch; The highest and the lowest fruit numbers of tomato for the first, second and third ripening stages were related to hairy vetch (with 75.31, 37.78, and 22.3 fruits.m⁻²) and control (with 54.33, 22.78 and 8.85 fruits.m⁻²), respectively. The Brix index for the cultivar of 8320 was higher than the cultivar of 6515. The lack of cover crop (in control treatments) suggests the limited impact of adopting cover crops into tomato production operations.

Conclusion

As a general principle of sustainable soil management, leaving plant residues in the soil has a positive influence on crop production. None of the cover crops tested had a negative impact on fruit yield and quality of tomato. In general, annual, biennial, or perennial weeds are suppressed by WCCs. This research indicates that WCCs could be used successfully in integrated weed management to decline weed infestation in tomato production. Cover crop impact on tomato yield to enhanced soil microbial carbon and nitrogen associated with incorporation of cover crop residues. Therefore, all of the cover crops evaluated can be considered potential autumn-sown options prior to tomato production, especially hairy vetch and rye.

Keywords: Allelopathy, Brix index, Weed dry weight, Weed establishment, Weed management



مقاله علمی - پژوهشی

مقایسه ردپای بوم‌شناختی، ردپای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه (مطالعه موردی: منطقه بوشهر)

مرتضی سیاوشی^{۱*} و سلمان دستان^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۳

سیاوشی، م.، و دستان، س.، ۱۴۰۰. مقایسه ردپای بوم‌شناختی، ردپای آب و اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و دیم بر اساس اندازه مزرعه (مطالعه موردی: منطقه بوشهر). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۵۵-۱۳۵.

چکیده

ارزیابی چرخه حیات (LCA) یک روش مناسب برای مطالعه و بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یک محصول در چرخه زندگی آن گیاه در سامانه‌های تولید است. از این‌رو، این پژوهش با هدف ارزیابی چرخه حیات تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) و دیم بر اساس اندازه زمین در منطقه بوشهر در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶ انجام شد. برای انجام پژوهش، ابتدا ۲۰۰ مزرعه زیر کشت گندم شناسایی شدند که ۱۰۰ مزرعه متعلق به کشت دیم در منطقه گناوه و ۱۰۰ مزرعه متعلق به کشت آبی در منطقه دشتی پایش شدند. انتخاب تعداد مزرعه در هر روش بر اساس فرمول کوکران انجام شد. پس از ثبت داده‌ها، مزارع بر اساس اندازه در هر روش به پنج گروه به‌ترتیب خیلی کوچک (کمتر از دو هکتار)، کوچک (دو الی پنج هکتار)، متوسط (پنج الی ۱۰ هکتار)، بزرگ (۱۰ الی ۱۵ هکتار) و خیلی بزرگ (بالای ۱۵ هکتار) گروه‌بندی شدند. واحد کارکردی بر مبنای تولید یک تن عملکرد دانه در نظر گرفته شد. مهم‌ترین شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی شامل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازن دوره ۴۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب بودند. یافته‌های پژوهش نشان داد تمامی شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل‌های تقاضای انرژی تجمعی، تقاضای اکسرژی تجمعی، پروتکل گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۱۰۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب در کشت دیم به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود. علاوه‌براین، شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل CML-IA non-baseline مثل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه ازن دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی و دریایی طی دوره ۱۰۰ ساله در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. همچنین، شاخص‌های رده‌اثر فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه)، فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل)، انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار SO_x، NO_x، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم نیز در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی آلاینده‌های مورد بررسی روند کاهشی را نشان دادند، ولی در کشت دیم متغیر بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود. متغیر بودن مقدار این شاخص‌ها بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. لذا، این نتایج نشان می‌دهد که سهم آلاینده‌ها در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم در منطقه بوشهر کمتر است. بنابراین، می‌توان با کشت آبی گندم و استفاده از کود سبز، خاک‌ورزی حفاظتی، راه‌اندازی سامانه‌های آبیاری نوین و استفاده بهینه از منابع آب به افزایش بهره‌وری آب و کاهش اثرات محیط‌زیستی منجر شد.

واژه‌های کلیدی: انتشار فلزات سنگین، پتانسیل گرمایش جهانی، تقاضای اکسرژی تجمعی، یوتریفیکاسیون

مقدمه

ارزیابی اثرات محیط‌زیستی منجر به استفاده بهینه از نهاده‌ها، کاهش فشرده‌سازی و همچنین پایداری بوم‌نظام‌های زراعی خواهد شد. ارزیابی چرخه حیات نیز روشی مناسب برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید یک محصول در کل چرخه حیات است (Iriarte et al., 2010). یکی از ویژگی‌های بارز روش ارزیابی چرخه حیات این است که تمامی شاخص‌های رده‌اثر مورد مطالعه به یک واحد خاص از محصول مورد مطالعه مرتبط شده و در نهایت، برای محصول یک شاخص زیست‌محیطی به‌دست می‌آید (Roy et al., 2009). نگرانی‌های مربوط به کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز به افزایش مطالعات مربوط به توازن انرژی در نظام‌های تولید گیاهان زراعی منجر شد (Koga, 2008). علاوه بر این، استفاده مؤثر از انرژی در بخش کشاورزی نیز یکی از عوامل مهم در پیدایش کشاورزی پایدار است، زیرا موجب صرفه‌جویی اقتصادی، حفظ سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هوا می‌گردد (Pervanchon et al., 2002). همچنین، برای تأمین نیازهای غذایی جمعیت رو به گسترش بشر، باید یک نظام پایدار با بهره‌وری بالا در اولویت قرار داده شود (Dastan, 2012). بنابراین، با تجزیه و تحلیل نظام‌های مختلف کشاورزی، می‌توان به‌میزان استفاده از منابع انرژی ورودی (تجدیدپذیر و تجدیدنپذیر) پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت کرد (Dastan et al., 2015 a,b; 2016 b). لذا، یکی از رویکردهای مناسب در جهت کاهش انرژی‌های ورودی و از سوی دیگر، افزایش انرژی خروجی، بررسی و ارزیابی شاخص‌های به‌دست آمده از مطالعات منطقه‌ای است؛ اینکه چه عواملی چگونه و به چه میزان بیش‌ترین تأثیر را در مقدار این شاخص‌ها می‌گذارند (Dastan, 2012). در کنار بررسی امکان جایگزینی آن‌ها با سایر عوامل و با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و فنی، در نهایت، می‌تواند به بهینه‌سازی الگوی مصرف انرژی در تولیدات کشاورزی منجر گردد (Dastan, 2012). از

طرفی ارزیابی مصرف انرژی و محیط‌زیستی می‌تواند نشان‌دهنده چگونگی کاهش انرژی ورودی به نظام‌های تولید و افزایش کارایی انرژی باشد (Clements et al., 2005). تولید همه محصولات کشاورزی از جمله گندم (*Triticum aestivum* L.)، برای انجام عملیات زراعی مانند شخم، کاربرد کود، آفت‌کش‌ها، کاشت، آبیاری، برداشت، فرآوری و حمل‌ونقل نیاز به برخی از شکل‌های انرژی دارد (Chauhan et al., 2006). امروزه افزایش جمعیت بشر و فعالیت‌های ناشی از آن در زمینه‌های مختلف صنعتی، حمل‌ونقل، کشاورزی و غیره روز به روز باعث افزایش غلظت این گازها در اتمسفر به‌میزان بیش از حد طبیعی گردیده، که به بروز اثر گلخانه‌ای و تغییرات آب‌وهوایی مانند گرم شدن کره زمین و تخریب لایه ازن منجر شده است (Mitchell, 2003). در صورت ادامه روند تغییر اقلیم در آینده‌ای نه‌چندان دور، مردم جهان با تغییرات عمده‌ای در وضعیت کره زمین از جمله ذوب شدن یخ‌های قطبی، بالا آمدن سطح آب دریاها، تغییر در نوع نزولات جوی، طوفان‌های شدید، کاهش میزان تولید محصولات کشاورزی در اثر سرمازدگی، تگرگ، یخ‌زدگی، خشک‌سالی، سیل، فرسایش، آب‌گرفتگی اراضی کشاورزی، تغییر فصل بارش و همچنین نابودی تنوع زیستی گیاهی و جانوری مواجه خواهند بود. بنابراین، افزایش دمای کره زمین آثار و پیامدهای مختلف و در ابعاد گوناگون به‌همراه دارد (Mitchell, 2003)، که بخش کشاورزی یکی از منابع مهم در انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی و تغییر اقلیم بوده و در عین حال، خود این بخش نیز به‌سبب تعاملات گسترده و مستقیم با محیط، بیش‌ترین تأثیر را از فرآیند تغییر اقلیم می‌پذیرد. مصرف بالای نهاده‌ها به‌ویژه کود و سموم شیمیایی نیز در نظام‌های تولید، باعث آلودگی آب و خاک شده و راه یافتن این مواد سمی به طبیعت، برهم خوردن تعادل بوم‌نظام‌ها را موجب شده است. از این‌رو، با توجه به اثرات سوء زیست‌محیطی شیوه‌های کاشت سنتی، موضوع پایداری تولید و رسیدن به امنیت غذایی، در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. بنابراین، ارزیابی اثرات محیط زیستی به‌روش رهیافت LCA می‌تواند به شناسایی مشکلات نظام‌های تولید و پایداری بوم‌نظام‌های زراعی کمک نماید.

محققان تولید گندم نان را در نظام‌های ارگانیک و رایج در آمریکا از نظر پتانسیل گرمایش جهانی به‌وسیله LCA مقایسه کردند که نتایج آن‌ها نشان داد، تولید یک کیلوگرم نان در نظام ارگانیک نسبت به نظام رایج، ۳۰ کیلوگرم معادل CO₂ کمتر تولید کرد

۱- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

۲- پژوهشگر دوره پس‌دکتری، پژوهشگاه بیوتکنولوژی کشاورزی ایران، کرج، ایران.

(*)- نویسنده مسئول:

Email: morteza_siavoshi@yahoo.com
Doi: 10.22067/jag.v13i1.76210

منتهی‌الیه زاگرس جنوبی تشکیل شده است. قلمرو مکانی انجام پژوهش دو شهرستان دشتی و گناوه بود که در منطقه دشتی مزارع گندم آبی و در منطقه گناوه مزارع گندم دیم ارزیابی شدند. در منطقه بوشهر مشابه سایر مناطق ایران، گندم از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید، مهم‌ترین محصول کشاورزی بوده و به‌عنوان منبع عمده تأمین کالری و پروتئین مورد نیاز جمعیت کشور است. به‌دلیل سازگاری بیشتر با شرایط اقلیمی و همچنین محدودیت‌های آب و بارندگی، کشت و تولید گندم در منطقه بوشهر بسیار حائز اهمیت است. هشدارهای اخیر در سطح جهانی و از جمله کشور ایران نیز در رابطه با مشکلات محیط‌زیستی و عدم پایداری تولید محصولات کشاورزی باعث شده است که کشت گندم در تناوب زراعی و الگوی کاشت در هر منطقه اهمیت بالایی داشته باشد.

مستندسازی فرآیند تولید

کشاورزی شامل تهیه کلیه اطلاعات و فعالیت‌هایی است که سیر تولید یک محصول از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت را نشان می‌دهد (Dastan et al., 2018). به این منظور، در این پژوهش تمامی عملیات‌های مدیریتی انجام شده از مرحله تهیه بستر بذر تا برداشت گندم در مزارع مورد مطالعه در منطقه بوشهر از طریق مطالعات میدانی برای سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ ثبت شد. در این بررسی‌ها، شیوه انجام هر عملیات مدیریتی در هر یک از مراحل تهیه بستر بذر، کاشت، داشت و برداشت ثبت شد (جدول ۱). تمامی اطلاعات مربوط به مدیریت زراعی شامل عملیات تهیه بستر بذر (نوع، تعداد و زمان شخم، دیسک و غیره)، رقم مورد استفاده و محل تهیه بذر آن، زمان کاشت، کود (نوع کود، میزان کود و زمان مصرف کود)، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، آبیاری (تعداد و زمان آبیاری) و مسائل مربوط به برداشت (زمان برداشت و میزان عملکرد) جمع‌آوری شد. این اطلاعات در قالب پرسش‌نامه و از طریق پایش ۱۰۰ مزرعه جمع‌آوری و تکمیل شد. در پایان فصل رشد میزان عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان ثبت شد.

برای انجام پژوهش، ابتدا ۲۰۰ مزرعه زیر کشت گندم در استان بوشهر شناسایی شدند که ۱۰۰ مزرعه به کشت دیم و ۱۰۰ مزرعه به کشت آبی تعلق داشت. برای تعیین تعداد مزارع (نمونه) در هر منطقه از فرمول کوکران استفاده شد. پس از ثبت داده‌ها، مزارع در هر یک از روش‌های کشت آبی و دیم به پنج گروه بر اساس اندازه به‌ترتیب خیلی کوچک (کمتر از دو هکتار)، کوچک (دو الی پنج هکتار)، متوسط (پنج الی ۱۰ هکتار)، بزرگ (۱۰ الی ۱۵ هکتار) و خیلی بزرگ (بالای ۱۵ هکتار) تقسیم شدند که درصد سطح زیر کشت و مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

(Meisterling et al., 2009). با بررسی اثرات محیط‌زیستی نظام‌های تولید گندم زمستانه در سطوح مختلف مصرف نیتروژن بر اساس LCA مشاهده شد، شاخص LCA با مصرف مقادیر کمتر از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در حدود ۰/۲۲ تا ۰/۲۶ به‌ازای هر تن دانه گندم بود و با افزایش مقدار مصرف نیتروژن از ۲۰۰ تا ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار شاخص LCA برابر ۳۳ تا ۱۰۰ درصد بیشتر از سطوح کمتر نیتروژن بود. نتایج این تحقیق در آلمان نشان داد که در سطوح پایین‌تر نیتروژن، کاربری اراضی و در سطوح بالای نیتروژن یوتریفیکاسیون عوامل کنترل‌کننده شاخص LCA بودند. در این تحقیق اسیدپته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentup et al., 2004 b). در ارزیابی چرخه زندگی سامانه تولید گندم زمستانه و ذرت در شمال چین کاهش منابع فسیلی، تغییرات آب‌وهوایی، اسیدپته، یوتریفیکاسیون، ایجاد سمیت برای انسان و بوم‌نظام آبی و خشکی بررسی شد (Wang et al., 2009). در سامانه تولید گندم زمستانه کاهش منابع فسیلی و اسیدپته و در ذرت کاهش منابع فسیلی و یوتریفیکاسیون بیشتر از سایر عوامل موجب آسیب محیط‌زیستی شد. به‌طور کلی، تولید گندم زمستانه نسبت به ذرت، به محیط زیست خسارت بیشتری وارد کرد که شاخص نهایی محیط‌زیستی گندم ۰/۰۶۳ و برای ذرت (*Zea mays* L.) ۰/۰۴۰ به‌دست آمد (Wang et al., 2009). در ایران نیز برخی محققان به ارزیابی چرخه حیات نظام‌های تولید گندم آبی در کل کشور (Khorramdel et al., 2014)، نظام‌های آبی و دیم جو (*Hordeum vulgar* L. در کل کشور (Khorramdel et al., 2015)، برنج در کل کشور (Khorramdel et al., 2017)، زعفران (*Crocus sativus* L. در خراسان (Mollafilabi et al., 2015)، چای (*Camellia sinensis* L.) در منطقه چابکسر گیلان (Nikkhah et al., 2017)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) (Esmailpour et al., 2015) و کود مصرفی اوره در کل کشور (Nikkhah et al., 2016) پرداختند. بنابراین، با توجه به اینکه تاکنون گزارشی در مورد ارزیابی تولیدگندم با روش LCA در منطقه بوشهر گزارش نشده، این مطالعه با هدف مقایسه جنبه‌های محیط‌زیستی تولید گندم در این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

استان بوشهر در عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۹ دقیقه طول شرقی نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. این استان از دو بخش جلگه‌ای حاشیه ساحلی غربی و کوهستانی نوار شرقی

جدول ۱- عوامل مدیریت زراعی (متغیر) ثبت شده در مزارع مورد بررسی گندم در منطقه بوشهر

Table 1- Agronomic management factors (variable) recorded in studied wheat fields in Boushehr region

Name and type of variables	
1- Variables related to farmers information: Name, gender, production history, and education level.	۱- متغیرهای مرتبط با مشخصات کشاورز: نام، سن، جنسیت، سابقه تولید و تحصیلات.
2- Variables related to Fields information: Village name, geographical coordinates, field area, previous crops, previous legumes name, previous years of legume cultivation, field position, direction of the field gradient, drainage and flooding problems, field leveling situation, leveling date and so on.	۲- متغیرهای مرتبط با اطلاعات کلی مزرعه: نام روستا، موقعیت جغرافیایی، مساحت مزرعه، محصول قبلی، نام بقوله قبلی، آخرین سال از بقوله قبلی، موقعیت مزرعه، جهت شیب مزرعه، مشکل زه کشی مزرعه، مشکل آب گرفتگی مزرعه، وضعیت تسطیح تاریخ تسطیح و ...
3- Variables related to seedbed preparation: Name and type of machinery and implementation, date and no. of machinery utilization, tillage method, seedbed situation and humidity in the cultivation time, soil crusting problem and so on.	۳- متغیرهای مرتبط با عملیات تهیه بستر بذر: نام و نوع ادوات و ماشین آلات، تاریخ و تعداد دفعات کاربرد ماشین آلات، شیوه خاک‌ورزی، وضعیت بستر در زمان کاشت، رطوبت بستر در زمان کاشت، مشکل رسله و ...
4- Variables related to crop fertilization: Fertilizer name, basal and top-dressing usage, usage date, crop growth stages in the usage time, amount and method of fertilizer usage, no. of top-dressing, amount and type of farmyard manure, and so on.	۴- متغیرهای مرتبط با تغذیه گیاه: نام کود، مصرف پایه و سرک، تاریخ مصرف، مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف، مقدار مصرف، شیوه مصرف، تعداد دفعات سرک، نوع کود دامی، مقدار کود دامی و ...
5- Variables related to cultivation: Seed rate, seed disinfection condition, seed disinfection material, cultivar name, cultivar type, seed providing resource, degree of seed satisfaction, planting density, planting method, planting date and so on.	۵- متغیرهای مرتبط با عملیات کاشت: میزان بذر، وضعیت ضدعفونی بذر، ماده ضدعفونی بذر، نام رقم، نوع رقم، منبع تهیه بذر، درجه رضایت از بذر، تراکم بونه، روش کاشت، تاریخ کاشت و ...
6- Variables related to crop protection: Poison name and type, the type of toxin group, the date and crop growth stages in the poison usage time, the amount and unit of poison usage, the manner of taking pesticides, the frequency of herbicide, insecticide, fungicide usage and so on.	۶- متغیرهای مرتبط با حفاظت گیاه: نام و نوع سموم مصرفی، تاریخ و مرحله رشدی گیاه در زمان مصرف هر سم، مقدار و واحد مصرف سموم، تعداد دفعات مصرف علف کش، خشره کش، قارچ کش و ...
7- Variables related to weeding and other farming practices: Name of farming practice, date of practices, implement utilization for each operation and so on.	۷- متغیرهای مرتبط با وجین و سایر عملیات زراعی: نام عملیات زراعی، تاریخ انجام، وسیله مورد استفاده و ...
8- Variables related to harvest: planting density in harvesting time, harvesting date, type and name of harvesting machinery, seed yield amount, average yield of previous years, management of crop residue, problems of lodging, pests, diseases, weeds, harvest, combine machine type, approximate percentage of seed falling, the most hazardous pests, diseases and weeds in the current year and previous years and so on.	۸- متغیرهای مرتبط با برداشت: تراکم بونه در زمان برداشت، تاریخ برداشت، نام ادوات و ماشین آلات برداشت، میزان عملکرد بذر، متوسط عملکرد سال‌های قبل، شیوه مدیریت بقایای محصول، مشکل خرابیدگی بونه، مشکل آفات، مشکل بیماری‌ها، مشکل علفهای هرز، مشکل برداشت، نوع کمابین برداشت، درصد تقریبی ریزش، آفات، بیماری‌ها و علفهای هرز مهم و خسارت‌زای سال جاری و سال‌های قبل و ...
9- Other investigated variables: The most important problem and proposed solution from the viewpoint of the farmer in this year and the previous years, the effect of each agronomic and management factors on yield reduction from the viewpoint of the farmer and so on.	۹- سایر متغیرهای مورد بررسی: مهم‌ترین مشکل و (راه حل پیشنهادی از نگاه کشاورز در سال جاری و سال‌های قبل، تاثیر هر یک از عوامل زراعی و مدیریتی بر کاهش عملکرد از نگاه کشاورز و ...

کاشت، کوددهی، حفاظت گیاه، کنترل علف‌های هرز، آبیاری، برداشت و حمل‌ونقل به کارخانه تفکیک شد. سپس، با شروع هر عملیات، با توجه به نوسانات دمایی، تنوع روش‌های تولید و مقادیر مختلف کاربرد نهاده‌ها (ورودی‌ها) توسط کشاورزان منطقه و به‌منظور تهیه اطلاعات جامع‌تر، اطلاعات تبیین عملیات زراعی از قبیل تاریخ شروع هر عملیات و میزان ورودی‌ها در هر مرحله از اجرا (کاشت تا برداشت) از مزارع جمع‌آوری و ثبت شد.

تقسیم مزارع بر اساس اندازه، طبق پراکنش مساحت مزارع مورد بررسی و همچنین مزارع تولید گندم کشاورزان در منطقه بوشهر انجام شد تا جامعه آماری مناسبی از نظر اندازه مزارع انتخاب شود. نحوه شناسایی مزارع به شکلی است که کلیه روش‌های عمده تولید را در منطقه مورد نظر پوشش دهد. سپس شرایط مزارع و اطلاعات تکمیلی مربوط به آن‌ها ارایه شد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از مزارع، ابتدا کلیه اعمال زراعی به هشت بخش تهیه زمین،

جدول ۲- تشریح مقادیر ورودی‌ها و خروجی در کشت آبی و دیم گندم بر اساس اندازه مزرعه در منطقه بوشهر
Table 2- Description of input and output amounts in irrigation and rainfed wheat production based on farm size in the Boushehr region

بخش Item	واحد Unit	کشت آبی (هکتار) Irrigated (ha)					کشت دیم (هکتار) Rainfed (ha)				
		<2	2-5	5-10	10-15	>15	<2	2-5	5-10	10-15	>15
اندازه مزرعه Farm size	%	16	43	21	13	7	12	38	27	14	9
ورودی‌ها Inputs											
بذر Seed	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	240	225	215	205	190	135	130	118	110	104
سوخت Diesel	لیتر l	275	245	220	205	195	175	160	150	140	135
نیروی برق Electricity	کیلووات ساعت kWh	650	600	575	525	500	475	445	430	425	400
ادوات و ماشین‌آلات Machinery	کیلوگرم kg	65	58	52	49	44	48	42	40	36	35
نیتروژن Nitrogen	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	220	200	180	165	160	180	165	150	150	145
فسفر Phosphorous	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	142	123	112	108	85	120	85	80	75	70
پتاسیم Potassium	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	105	95	86	80	80	100	100	95	95	90
روی Zinc	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	30	20	15	10	10	27	24	20	15	10
آفت‌کش‌ها Pesticides	کیلوگرم ماده مؤثره در هکتار kg a.i. ha ⁻¹	10.2	9.8	9.2	8.5	8	8.5	8.3	8	7.5	7
خروجی‌ها Outputs											
عملکرد دانه Grain yield	کیلوگرم در هکتار kg. ha ⁻¹	2900	2700	2570	2450	2350	970	950	870	830	780

درصد دانه و ۱۰ درصد کاه و کلش در نظر گرفته شد که مطابق ارزش اقتصادی آن‌ها است (Rebitzer et al., 2004).

صورت‌برداری از چرخه حیات

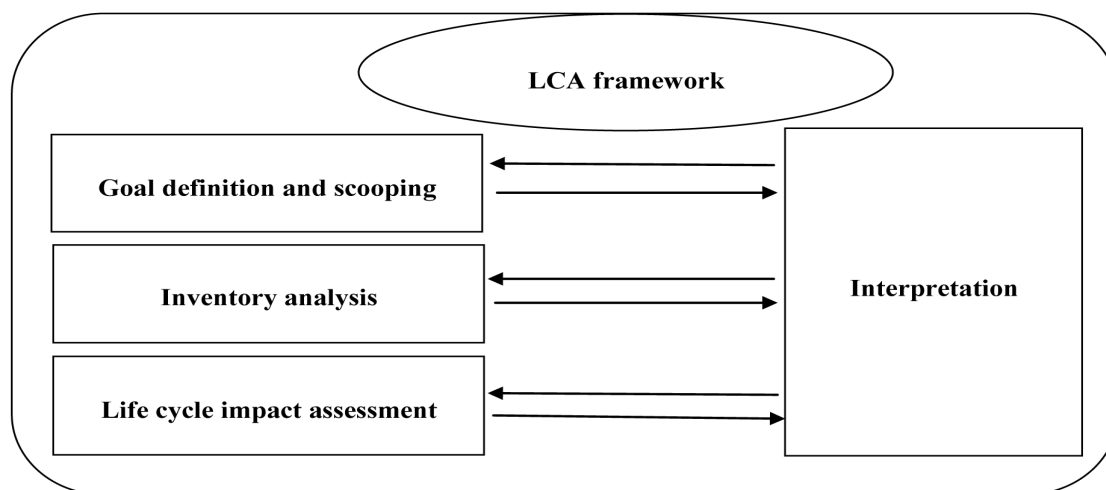
این بخش پرکارترین و زمان‌برترین مرحله انجام LCA است (Roy et al., 2009). در این مرحله کلیه منابع (ورودی‌ها) و نهاده‌های مورد نیاز برای تولید گندم و مقادیر تمامی آلاینده‌های منتشر شده در اثر استفاده از انواع مختلف نهاده‌ها فهرست‌برداری شدند. در هر مرحله از صورت‌برداری به موارد زیر توجه شده است: (۱) زیرساخت‌ها: شامل ساخت، نگهداری و استهلاک ماشین‌آلات و ساختمان‌ها (پناهگاه‌ها برای ماشین‌آلات)، (۲) کلیه عملیات زراعی شامل تهیه بستر، کاشت، تغذیه گیاه، حفاظت گیاه، آبیاری، برداشت و حمل‌ونقل و تأمین و مصرف سوخت جهت انجام عملیات و (۳) تولید کودها و آفت‌کش‌ها و حمل‌ونقل آن‌ها. نتیجه مرحله صورت‌برداری فهرستی از ورودی‌ها به مزرعه و خروجی‌ها و انتشارات از مزرعه (شکل ۱) است (Brenttrup et al., 2004 a).

ارزیابی چرخه زندگی (LCA) اثرات زیست‌محیطی

بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰، ارزیابی چرخه حیات شامل چهار بخش: تعریف اهداف و حوزه عمل مطالعه، ممیزی چرخه حیات (تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های سامانه)، ارزیابی اثرات زیست‌محیطی چرخه حیات و تفسیر نتایج است (Iriarte et al., 2010)، که جزئیات مربوط به هر بخش از دیگر مطالعات استخراج شد (Brenttrup et al., 2004 a).

بیان هدف و واحد کارکردی

در روش ارزیابی چرخه حیات ابتدا هدف و واحد کارکردی مشخص می‌شود. هدف از ارزیابی چرخه حیات در این پژوهش بررسی اثرات زیست‌محیطی تولید گندم بود. واحد کارکردی در این مطالعه بر مبنای تولید یک تن عملکرد دانه در نظر گرفته شد که کلیه ورودی‌ها و خروجی‌ها و اثرات زیست‌محیطی نسبت به آن سنجیده شدند. با توجه به اینکه مزرعه دارای دو خروجی، یکی محصول دانه و دیگری کاه و کلش بود، توزیع (تخصیص) اثرات زیست‌محیطی به صورت ۹۰



شکل ۱- مراحل چهارگانه ارزیابی چرخه حیات
Fig. 1- Life cycle assessment framework

نرم‌افزار SimaPro نسخه ۸/۲ برآورد شدند. پس از بررسی‌های انجام شده روی مدل‌های مختلف، ارزیابی چرخه حیات و مقایسه کلی نتایج بر مبنای مدل CML non-baseline در نرم‌افزار SimaPro استفاده شد (SimaPro, 2011). سپس شاخص کلی انتشار آلاینده‌ها محاسبه شد. به منظور ارزیابی دقیق و کامل چرخه زندگی اثرات محیط‌زیستی

ارزیابی تأثیر در چرخه حیات

در این مرحله باید مشخص ساخت که کدام طبقه تأثیر لحاظ شود و نیز برای ارزیابی تأثیر از چه روشی استفاده شود. در این تحقیق، با توجه به اهمیت مباحث محیط‌زیستی در تولید گندم، برخی از شاخص‌های رده‌اثر مهم و تأثیرگذار با مدل‌های مختلف LCA در

آسیب زدن به محیط زیست) یک وزن داده شده که به گروه تأثیر دارای کارایی آسیب بالاتر، مقدار بیشتری تعلق می‌گیرد (Brenttrup et al., 2004 a).

تلفیق و تفسیر نتایج

در این مرحله نتایج حاصل جهت مقایسه اثرات محیط‌زیستی تولید گندم مطابق استانداردهای موجود مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش، برای ارزیابی دقیق‌تر و با حساسیت بالاتر و همچنین کاهش عدم قطعیت نتایج، از نرمال‌سازی و وزن‌دهی داده‌ها صرف‌نظر شد که به تبع شاخص محیط‌زیستی تحت عنوان شاخص بوم‌شناخت (Eco-index) که معیار نهایی LCA است، محاسبه نشد (Brenttrup et al., 2004 a):

$$EcoX = \sum Ni \times Wi$$

معادله (۱)

که در آن، EcoX: شاخص محیطی بوم‌شناخت به‌ازای واحد کارکردی، Ni: مقدار نرمال شده مربوط به هر گروه تأثیر و Wi: وزن مربوط به هر یک از مقادیر Ni است. هرچه شاخص زیست‌محیطی بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده پتانسیل بیشتر در آسیب به محیط زیست است.

نتایج و بحث

مدل تقاضای انرژی تجمعی (CED)

مدل تقاضای انرژی تجمعی شامل شش شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای و زیست‌توده) و انرژی تجدیدپذیر (زیست‌توده، آب و بادی - خورشیدی - زمین‌گرمایی) است که تمامی ورودی‌ها بر مزرعه (بذر، سوخت، نیروی برق، ادوات و ماشین‌آلات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آفت‌کش‌ها) بر آن اثرگذار بودند که مجموع آن‌ها به‌عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد (جدول ۳). طبق یافته‌های جدول ۳ میانگین مقدار تقاضای انرژی تجمعی در دو روش کاشت دیم و آبی گندم برابر ۳۰۲۴۴/۴۹ مگاژول بود که کشت دیم با میانگین ۴۱۹۵۲/۱۵ مگاژول بالاتر از کشت آبی (۱۸۵۳۶/۸۳ مگاژول) قرار گرفت. در کشت آبی با افزایش اندازه مزرعه از زیر دو هکتار (مزارع خیلی کوچک) به بالای ۱۵ هکتار (مزارع خیلی بزرگ) تقاضای انرژی تجمعی روند کاهشی نشان داد، ولی در کشت دیم تقاضای انرژی تجمعی روند متغیر را نشان داد که بیشترین مقدار آن در مزارع خیلی کوچک (۴۴۰۵۳/۰۱ مگاژول در هکتار) و کمترین

در مرحله بعد با استفاده از سایر روش‌ها (97 Ecopoints, Cumulative Exergy, Cumulative Energy Demand, Ecological footprint, IPCC GWP 100a, Demand Greenhouse Gas Protocol و Water footprint) تمامی شاخص‌های انتشار آلاینده‌های محیط‌زیستی محاسبه و ارزیابی چرخه زندگی به‌طور کامل انجام شد. سپس، نتایج به‌دست آمده از هر مدل با یکدیگر مقایسه و ارزیابی شدند. در مرحله ارزیابی تأثیر، ابتدا تعیین شد که هر یک از مواد انتشاریافته به محیط دارای کدام تأثیر بوده و باید در کدام طبقه تأثیر قرار گیرد. سپس، این انتشارات به یک واحد معادل برای طبقه تأثیر تبدیل شدند. برای مثال، گازهای انتشار یافته CH_4 و N_2O دارای تأثیر بر گرم شدن زمین هستند، ولی پتانسیل این گازها در ایجاد تغییر اقلیم متفاوت است، به این صورت که هر کیلوگرم N_2O و CH_4 به‌ترتیب معادل ۳۱۰ و ۲۵ کیلوگرم CO_2 اثر گلخانه‌ای دارند (Brenttrup et al., 2004 a). برای ارزیابی اثرات محیط‌زیستی و تفسیر دقیق ورودی‌ها و خروجی‌ها سه مرحله طبقه‌بندی، نرمال‌سازی و وزن‌دهی داده‌ها انجام می‌شود.

الف) طبقه‌بندی: این مرحله در LCA الزامی است. بر اساس ISO گروه‌های تأثیر بسته به نوع مطالعه تعریف می‌شوند. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های مختلف LCA در نرم‌افزار SimaPro گروه‌های تأثیر متعددی برای تولید یک تن عملکرد دانه با اثر مربوطه برآورد و مقایسه شدند. مهم‌ترین گروه‌های تأثیر در این تحقیق شامل: مهم‌ترین شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی شامل گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه اوزون دوره ۴۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب بودند (Brenttrup et al., 2004 a).

ب) نرمال‌سازی: این مرحله در LCA اختیاری است. در این مرحله سهم هر شاخص رده‌اثر در کل اثرات محیط‌زیستی یک منطقه تعیین می‌شود. به‌عبارت دیگر، در مرحله نرمال‌سازی نتایج مرحله قبل در گستره یک منطقه تقسیم می‌شود. نتایج به‌دست آمده در مرحله قبل، یعنی شاخص طبقه‌بندی هر رده‌اثر بر یک عامل نرمال‌سازی تقسیم می‌شود، تا هم به اهمیت داده‌های مرحله قبل پی برده، داده‌ها بدون واحد شده و برای مرحله وزن‌دهی آماده شوند (Brenttrup et al., 2004 a).

ج) وزن‌دهی: این مرحله نیز در LCA اختیاری است. در این مرحله به شاخص رده‌اثر محیط‌زیستی (بر اساس کارایی که برای

مقدار آن (۴۰۶۸۵/۶۵ مگاژول) در مزارع کوچک به‌دست آمد.

جدول ۳- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله مدل‌های CED، CExD، GGP، IPCC 2013 GWP 100a، EF and WF models
Table 3- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by CED, CExD, GGP, IPCC 2013 GWP 100a, EF and WF models

تیمارها Treatment	تقاضای انرژی Cumulative energy demand (MJ)	تقاضای اکسرژی Cumulative exergy demand (MJ)	پروتکل گازهای گلخانه‌ای Greenhouse gas protocol (kg CO ₂ eq)				پتانسیل گرمایش جهانی ۱۰۰ ساله IPCC GWP 100a (kg CO ₂ eq)	ردیای بوم‌شناسی Ecological footprint (m ² a)	ردیای آب Water footprint (m ³)
			تجمعی Fossil CO ₂ eq	کربن فسیلی کربن دی‌اکسید Fossil CO ₂ eq	کربن بی‌ژنیک کربن دی‌اکسید Biogenic CO ₂ eq	معدل دی‌اکسید کربن ناشی از کربن دی‌اکسید From land transformation			
کشت آبی Irrigated									
<2 ha	19814.02	22666.01	848.61	23.23	1.82	173.15	862.72	2721.77	49.59
2-5 ha	19183.62	21958.16	822.81	22.47	1.73	172.35	836.33	2647.53	48.84
5-10 ha	18326.36	21025.67	783.85	21.40	1.66	170.37	797.00	2538.87	47.74
10-15 ha	17874.65	20557.95	763.53	20.92	1.64	169.25	775.75	2484.18	47.23
>15 ha	17485.49	20001.18	746.20	20.24	1.48	165.14	758.13	2413.29	45.63
میانگین Mean	18536.83	21241.79	793.00	21.65	1.67	170.05	805.99	2561.13	47.81
اشتباه استاندارد SE	426.48	479.32	18.87	0.54	0.06	1.41	19.27	124.04	0.68
ضریب تغییرات CV (%)	5.14	5.04	5.32	5.53	7.66	1.85	5.35	4.84	3.19
کشت دیم Rainfed									
<2 ha	44053.01	50210.55	1996.02	56.63	4.47	340.58	2031.98	6221.34	96.75
2-5 ha	40685.65	46150.31	1841.75	51.77	3.66	332.04	1874.15	5733.85	103.44
5-10 ha	41278.55	46814.68	1862.79	52.74	3.73	333.82	796.50	5792.38	97.13
10-15 ha	41528.35	47034.49	1885.22	53.44	3.74	333.73	1918.76	5843.67	97.57
>15 ha	42215.17	47769.75	1918.08	54.29	3.76	336.50	1952.36	5935.33	98.66
میانگین Mean	41952.15	47595.95	1900.77	53.78	3.87	335.33	1714.75	5905.31	98.71
اشتباه استاندارد SE	579.66	702.92	26.96	0.82	0.15	1.49	231.01	85.65	1.22
ضریب تغییرات CV (%)	3.09	3.30	3.17	3.43	8.63	0.99	30.12	3.24	2.78
میانگین کل Total mean	30244.49	34418.87	1346.88	37.71	2.77	252.70	1260.37	4233.22	73.26
اشتباه استاندارد SE	3917.27	4410.63	185.28	5.37	0.37	27.56	186.77	559.44	8.51
ضریب تغییرات CV (%)	40.96	40.52	43.50	45.06	42.82	34.49	46.86	41.79	36.73

میزان این شاخص در مزارع با اندازه متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ به ترتیب معادل ۴۱۲۷۸/۵۵، ۴۱۵۲۸/۳۵ و ۴۲۲۱۵/۱۷ مگاژول بود (جدول ۳). طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی (عملکرد دانه) بر تقاضای انرژی تجمعی اثرگذار بودند. بنابراین، متغیر بودن مقدار این شاخص بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. این نتایج نشان می‌دهد که سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم پایین‌تر است. این مسئله از لحاظ بوم‌شناختی اهمیت قابل توجهی دارد، زیرا منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که عمدتاً سوخت‌های فسیلی هستند و تکیه بر این منابع در آینده همراه با مخاطرات زیادی است (Dastan et al., 2015 a,b). بنابراین، با تجزیه و تحلیل انرژی ورودی، می‌توان به میزان استفاده از تمام شکل‌های انرژی پی برد و از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع زیستی برای نسل‌های آینده حفاظت کرد. در واقع، توسعه نظام‌های کشاورزی با حداقل انرژی ورودی می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک شایانی کند (Dastan et al., 2015 a,b).

مدل تقاضای اکسرژی تجمعی (CExD)

شاخص اکسرژی تجمعی به عنوان مجموع اکسرژی تمامی منابع مورد نیاز برای تولید یک محصول و یا فراهم آوردن یک خدمت بیان می‌شود. این شاخص مشابه شاخص رایج‌تر یعنی تقاضای انرژی تجمعی است، با این تفاوت که تقاضای اکسرژی تجمعی، کیفیت منابع انرژی و همچنین منابع غیرانرژی مانند مواد معدنی و فلزات را نیز محاسبه می‌کند (Bosch et al., 2007). این روش شامل ۱۰ شاخص رده‌اثر انرژی تجدیدناپذیر (فسیلی، هسته‌ای، فلزات و عناصر) و انرژی تجدیدپذیر (جنبشی، خورشیدی، پتانسیل، انرژی اولیه، زیست‌توده و آب) است که مجموع آن‌ها به عنوان تقاضای انرژی تجمعی در نظر گرفته شد. طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به مزرعه بر آن اثرگذار بودند. میانگین این شاخص نیز دو کشت دیم و آبی برابر ۳۴۴۱۸/۸۷ مگاژول بود که در کشت آبی کمتر از کشت دیم به دست آمد (جدول ۳). میانگین این شاخص در کشت آبی برابر ۲۱۲۴۱/۷۹ با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ، تقاضای اکسرژی تجمعی روند کاهشی را نشان داد که از ۲۲۶۶۶/۰۱ مگاژول

به ۲۰۰۰۱/۱۸ مگاژول رسید. در کشت دیم نیز میانگین تقاضای اکسرژی تجمعی برابر ۴۷۵۹۵/۹۵ مگاژول بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک و کمترین مقدار نیز متعلق به اراضی کوچک بود. همچنین، اراضی متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ از نظر شاخص تقاضای اکسرژی تجمعی در رتبه‌های دوم تا چهارم قرار گرفتند (جدول ۳). تمامی ورودی‌ها و خروجی بر تقاضای اکسرژی تجمعی تأثیر داشتند. متغیر بودن مقدار این شاخص در کشت دیم می‌تواند به دلیل دامنه تغییرات با ثبات بالاتر مقادیر خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد.

مدل پروتکل گازهای گلخانه‌ای (GPP)

بر اساس یافته‌های جدول ۳، این روش دارای چهار شاخص رده‌اثر اکسی‌والان CO₂ فسیلی، اکسی‌والان CO₂ بیوژنیک، اکسی‌والان CO₂ ناشی از تغییر شکل (ترادیسی) زمین و CO₂ جذب شده بود که هر یک از شاخص‌ها به تفکیک ارائه شد. تمامی ورودی‌ها همانند دو روش CED و CExD بر پروتکل گازهای گلخانه‌ای اثر داشتند. تمامی شاخص‌های رده‌اثر متعلق به کشت دیم گندم بالاتر از کشت آبی بود که در کشت آبی با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقادیر هر یک از چهار شاخص رده‌اثر روند کاشی را نشان داد. ولی در کشت دیم هر چهار شاخص در مزارع خیلی کوچک حداکثر و در مزارع کوچک حداقل بود. مزارع متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳). دلیل عمده تغییرپذیری GPP در کشت دیم را می‌توان به مقادیر ورودی‌ها و خروجی (عملکرد) در این روش کاشت ربط داد.

مدل پتانسیل گرمایش جهانی دوره ۱۰۰ ساله (GWP 100a)

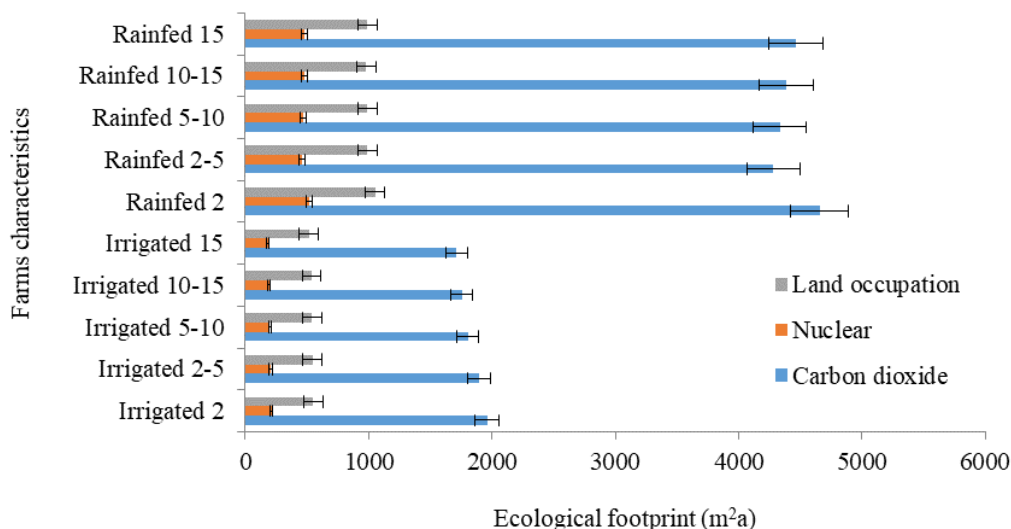
شاخص پتانسیل گرمایش جهانی در دوره ۱۰۰ ساله بر اساس پروتکل IPCC 2013 ارزیابی شد. این شاخص رده‌اثر ناشی از از تمامی ورودی‌ها به مزرعه و خروجی بود. میانگین در دو کشت آبی و دیم برابر ۱۲۶۰/۳۷ کیلوگرم معادل CO₂ بود که این شاخص نیز همانند سایر روش‌های مورد ارزیابی در کشت دیم به طور قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود (جدول ۳). میانگین GWP 100a در کشت آبی برابر ۸۰۵/۹۹ کیلوگرم معادل CO₂ بوده که با کاهش افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ (از ۸۶۲/۷۲ به ۷۵۸/۱۳

که در کشت دیم (۵۹۰۵/۳۱ مترمربع در سال) به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت دیم (۲۵۶۱/۱۳ مترمربع در سال) بود (جدول ۳). در کشت آبی گندم با افزایش اندازه زمین ردپای بوم‌شناختی روند کاهشی را نشان داد که مقادیر آن‌ها از ۲۷۲۱/۷۷ به ۲۴۱۳/۲۹ مترمربع در سال رسید. ولی، در کشت دیم بالاترین میزان این شاخص در مزارع خیلی کوچک (۶۲۲۱/۳۴ مترمربع در سال) و کمترین مقدار آن در مزارع کوچک و متوسط (به‌ترتیب ۵۷۳۳/۸۵ و ۵۷۹۲/۳۸ مترمربع در سال) به‌دست آمد که مزارع بزرگ و خیلی بزرگ در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند (جدول ۳). طبق یافته‌های شکل ۲، مشاهده می‌شود که شاخص رده‌اثر اشغال زمین بالاترین اثر را بر ردپای بوم‌شناختی داشته و انتشار دی‌اکسید کربن و انرژی هسته‌های به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند.

کیلوگرم معادل CO_2 روند کاهشی را نشان داد. در کشت دیم نیز روند تغییرات از ۲۰۳۱/۹۸ الی ۷۹۶/۵ کیلوگرم معادل CO_2 بوده که بیشترین و کمترین مقدار آن به‌ترتیب متعلق به مزارع خیلی کوچک و متوسط بود. همچنین، مزارع خیلی بزرگ، بزرگ و کوچک به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۳).

مدل ردپای بوم‌شناختی (EF)

در این روش سه گروه تأثیر دی‌اکسید کربن، انرژی هسته‌ای و اشغال زمین بر اساس مترمربع در سال (m^2a) ارزیابی شدند. تمامی ورودی‌ها بر ردپای بوم‌شناختی اثرگذار بودند که نیتروژن و ماشین‌آلات بیشترین تأثیر را بر انتشار دی‌اکسید کربن و هسته‌ای و بذر مصرفی بالاترین اثر را بر اشغال زمین نشان داد. میانگین ردپای بوم‌شناختی در دو روش کاشت برابر ۱۲۳۳/۲۲ مترمربع در سال بوده



شکل ۲ - مقایسه کشت آبی و دیم گندم در اندازه‌های مختلف به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل ردپای بوم‌شناختی
Fig. 2- Comparson of irrigated and rainfed wheat in different farm sizes by impact categories of ecological footprint model

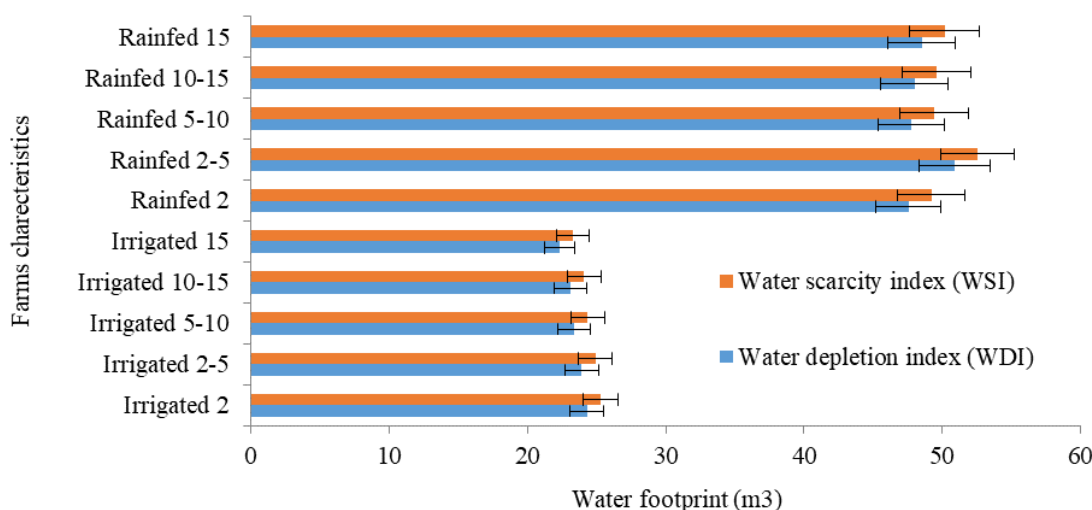
درصد (از ۴۹/۵۹ به ۴۵/۶۳ مترمکعب) کاهش یافت. میانگین ردپای آب در کشت دیم برابر ۹۸/۷۱ مترمکعب بود که بیشترین مقدار متعلق به مزارع کوچک (۱۰۳/۴۴ مترمکعب) بود که مزارع خیلی بزرگ، بزرگ و متوسط در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. کمترین مقدار این شاخص (۹۶/۷۵ مترمکعب) متعلق به مزرعه خیلی کوچک بود (جدول ۳). طبق یافته‌های شکل ۳، میانگین WDI در دو روش کاشت برابر ۳۷/۲۸ مترمکعب بود که در کشت آبی برابر ۲۴/۳۹ مترمکعب و در

مدل ردپای آب (WF)

این روش بر اساس دو شاخص رده‌اثر تخلیه آب (WDI) و کمبود آب (WSI) بر اساس مترمکعب ارزیابی شد. میانگین مقدار ردپای آب در دو روش کشت آبی و دیم برابر ۷۳/۲۶ مترمکعب برآورد شد که در کشت دیم به‌مقدار قابل توجهی بالاتر از کشت آبی به‌دست آمد (جدول ۳). ردپای آب در کشت آبی با میانگین برابر ۴۷/۸۱ مترمکعب با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ معادل ۷/۹۹

بود که مقدار شاخص WSI به مقدار اندکی بالاتر از WDI به‌دست آمد. هر دو شاخص در کشت آبی با افزایش اندازه مزارع کاهش و در کشت دیم متغیر بود (شکل ۳).

کشت دیم برابر ۵۰/۱۸ مترمکعب بود. میانگین WSI در هر رو روش کاشت برابر ۳۷/۲۸ مترمکعب حاصل شد که در کشت آبی برابر ۲۴/۳۹ مترمکعب و در کشت دیم برابر ۵۰/۱۸ مترمکعب مشاهده شد. هر دو شاخص رده‌اثر WDI و WSI در کشت دیم بالاتر از کشت آبی



شکل ۳- مقایسه کشت آبی و دیم گندم در اندازه‌های مختلف پی‌سیله شاخص‌های رده‌اثر مدل ردپای آب
Fig. 3- Comparison of irrigated and rainfed wheat in different farm sizes by impact categories of water footprint model

کوچک مشاهده شد که سایر مزارع مقادیر نزدیک به یکدیگر را نشان دادند (جدول ۴). در جدول ۵ نیز یافته‌های شاخص‌های رده‌اثر تخلیه لایه ازون دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی در آب‌های شیرین طی دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله ارائه شد.

در کشت آبی و دیم میانگین شاخص تخلیه ازن (۰/۰۰۰۳۹۱ کیلوگرم معادل کلروفلوروکربن-۱۱)، مسمومیت انسان (۹۳۱/۱۱ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی در آب‌های شیرین (۳۶/۸۲ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی (۲۵۸/۱۸ کیلوگرم معادل 1,4-DB)، مسمومیت ناشی از رسوبات دریایی و آب‌های شیرین (۶۹/۶۳ و ۳۲۲/۵۷ کیلوگرم معادل 1,4-DB) و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله برابر ۴/۸۹ کیلوگرم معادل 1,4-DB به‌دست آمد (جدول ۵).

مدل CML-IA non-baseline

مقادیر شاخص‌های رده‌اثر مربوط به مدل CML-IA non-baseline در جداول ۴ و ۵ ارائه شد. در جدول ۴ شاخص‌های رده‌اثر تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، گرمایش جهانی ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان و بدبو شدن هوا ارزیابی شدند. در دو روش کشت آبی و دیم میانگین تخلیه غیرزنده برابر ۰/۵۹۹۶ کیلوگرم معادل انتیموان (Sb)، اشغال زمین (۳۷۵/۸۱ مترمربع در سال)، گرمایش جهانی ۵۰۰ ساله (۱۲۰۴/۴۰ کیلوگرم معادل CO₂، اسیدی شدن (۹/۲۲ کیلوگرم معادل SO₂)، یوتریفیکاسیون (۵/۸۱ کیلوگرم معادل PO₄)، بدبویی هوا (۱۸۳۴۲۳۱۷ مترمکعب هوا) بود که تمامی این شاخص‌ها در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. در کشت آبی با افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقدار تمامی شاخص‌های رده‌اثر روند کاهشی را نشان داد، ولی در کشت دیم با افزایش اندازه مزرعه این شاخص‌ها روند ناپایدار را نشان دادند که بیشترین مقدار آن‌ها در مزارع خیلی

جدول ۴- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به وسیله شاخص های رده اثر مدل های CML-IA non-baseline در منطقه پوشهر
Table 4- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of CML-IA non-baseline models in Bousher

تیمارها Treatment	تخلیه غیرزنده Abiotic depletion (kg Sb eq)	رقابت زمین Land competition (m ² a)	ساله 500a	گرمایش جهانی Global warming (kg CO ₂ eq)	اسیدی شدن Acidification (kg SO ₂ eq)	یوتریفیکاسیون Eutrophication (kg PO ₄ eq)	تابش یونیزان Ionising radiation (DALYs)	بدبویی هوا Malodorous air (m ³ air)
کشت آبی Irrigated								
<2 ha	0.3958	265.97	757.70	5.89	3.78		1.28002E-06	11355403
2-5 ha	0.3744	263.62	734.00	5.70	3.69		1.23129E-06	11114375
5-10 ha	0.3568	260.47	698.69	5.45	3.56		1.16913E-06	10629980
10-15 ha	0.3522	259.30	680.41	5.33	3.49		1.14313E-06	10320346
>15 ha	0.3184	248.48	664.50	5.14	3.40		1.10702E-06	10066842
میانگین Mean	0.3595	259.57	707.06	5.50	3.58		1.18612E-06	10697389
اشتباه استاندارد SE	0.0128	3.01	17.15	0.13	0.07		3.1026E-08	239912
کشت دیم Rainfed								
<2 ha	0.9641	517.44	1789.31	13.77	8.40		2.85607E-06	27124334
2-5 ha	0.8006	485.96	1648.00	12.50	7.82		2.57926E-06	25264236
5-10 ha	0.8171	487.18	1667.32	12.67	7.87		2.61794E-06	25721749
10-15 ha	0.8080	483.01	1687.38	12.77	7.96		2.62652E-06	25754354
>15 ha	0.8087	486.68	1716.69	12.94	8.08		2.67485E-06	26071551
میانگین Mean	0.8397	492.06	1701.74	12.93	8.03		2.67093E-06	25987245
اشتباه استاندارد SE	0.0312	6.39	24.67	0.22	0.10		4.87216E-08	312054
ضریب تغییرات CV (%)								
ضریب تغییرات CV (%)	8.3108	2.90	3.24	3.85	2.89		4.08	2.68
میانگین کل Total mean								
میانگین کل Total mean	0.5996	375.81	1204.40	9.22	5.81		1.92852E-06	18342317
اشتباه استاندارد SE								
اشتباه استاندارد SE	0.0816	38.89	166.38	1.24	0.74		2.48962E-07	2555056
ضریب تغییرات C.V. (%)								
ضریب تغییرات C.V. (%)	43.03	32.72	43.68	42.67	40.46		40.82	44.05

معنی داری بالاتر از کشت آبی بود. در کشت آبی تمامی شاخص ها با

طبق یافته ها، تمامی شاخص های رده اثر در کشت دیم به طور

NH_4 در پتانسیل اسیدی شدن با اختلاف زیادی بیشتر از NO_3 و SO_4 بود. منبع انتشار NH_4 کود اوره است. تصعید آمونیاک اثر مهمی در ایجاد اثرهای زیست‌محیطی یوتریفیکاسیون و اسیدی شدن دارد. علت بالا بودن آلاینده‌ها در کشت دیم در مقایسه با کشت آبی را می‌توان به دامنه تغییرات با ثبات بالاتر مقادیر خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ نسبت داد. نتایج مقایسه بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن‌ها نشان داد که بین انرژی‌های ورودی و پتانسیل گرمایش جهانی ناشی از آن ارتباط مستقیمی وجود دارد.

افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ روند کاهشی را نشان داد، ولی در کشت دیم مزارع خیلی کوچک از نظر انتشار این آلاینده‌ها در رتبه اول قرار گرفت. در کشت دیم، از نظر مسمومیت انسان، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی و مسمومیت ناشی از رسوبات در آب‌های شیرین مزارع خیلی بزرگ در رتبه دوم قرار گرفت. ولی مقادیر شاخص‌های مسمومیت زیستی گونه‌های دریایی، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و مسمومیت زیستی زمین با افزایش اندازه مزارع از خیلی کوچک به خیلی بزرگ به‌ترتیب معادل ۲/۲۸، ۴۵/۳۰ و ۸۱/۶ درصد کاهش نشان دادند (جدول ۵). سهم

جدول ۶- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله شاخص‌های رده‌اثر مدل Ecopoint 97 در منطقه پوشهر

Table 6- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher

تیمارها Treatment	انتشار به هوا Emission into air (g)					انتشار به آب Emission into water (g)					
	Pb	Cd	Zn	Hg	Cr	Zn	Cu	Cd	Hg	Pb	Ni
کشت آبی Irrigated											
<2 ha	1.32	0.1278	53.93	0.0323	2.55	3.72	1.35	0.2382	0.2127	1.12	1.07
2-5 ha	1.28	0.1239	39.19	0.0312	2.45	3.60	1.27	0.2226	0.1983	1.05	1.01
5-10 ha	1.21	0.1180	31.25	0.0297	2.36	3.47	1.22	0.2131	0.1899	1.00	0.97
10-15 ha	1.18	0.1146	22.47	0.0290	2.36	3.43	1.23	0.2150	0.1919	1.00	0.97
>15 ha	1.14	0.1121	23.20	0.0281	2.13	3.16	1.05	0.1793	0.1585	0.85	0.83
میانگین Mean	1.23	0.1193	34.01	0.0301	2.37	3.48	1.23	0.2136	0.1903	1.00	0.97
اشتباه استاندارد SE	0.03	0.0029	5.84	0.0007	0.07	0.09	0.05	0.0096	0.0089	0.04	0.04
ضریب تغییرات C.V. (%)	5.94	5.4302	38.38	5.6312	6.57	5.99	9.05	10.10	10.4360	9.68	9.20
کشت دیم Rainfed											
<2 ha	3.13	0.3030	144.38	0.0766	5.77	8.67	3.28	0.5940	0.5335	2.77	2.64
2-5 ha	2.82	0.2775	130.83	0.0701	4.81	7.46	2.50	0.4391	0.3892	2.08	2.02
5-10 ha	2.87	0.2796	119.59	0.0713	4.90	7.64	2.55	0.4505	0.3997	2.14	2.07
10-15 ha	2.88	0.2852	95.07	0.0717	4.82	7.58	2.52	0.4433	0.3929	2.11	2.04
>15 ha	2.93	0.2905	68.96	0.0729	4.85	7.61	2.51	0.4412	0.3905	2.10	2.03
میانگین Mean	2.92	0.2872	111.77	0.0725	5.03	7.79	2.67	0.4736	0.4212	2.24	2.16
اشتباه استاندارد SE	0.05	0.0046	13.42	0.0011	0.18	0.22	0.15	0.0301	0.0281	0.13	0.12
ضریب تغییرات CV (%)	4.12	3.5511	26.84	3.4636	8.25	6.36	12.79	14.23	14.94	13.30	12.46
میانگین کل Total mean	2.08	0.2032	72.89	0.0513	3.70	5.63	1.95	0.3436	0.3057	1.62	1.57
اشتباه استاندارد SE	0.28	0.0281	14.68	0.0071	0.45	0.73	0.25	0.0458	0.0409	0.22	0.21
ضریب تغییرات C.V. (%)	43.30	43.72	63.69	43.81	38.70	40.86	40.96	42.17	42.33	42.18	41.71

جدول ۷- ارزیابی چرخه حیات تولید گندم در کشت آبی و دیم بر اساس اندازه مزرعه به‌وسیله شاخص‌های رده‌اتر مدل‌های Ecopoint 97 در منطقه بوشهر

Table 7- Life cycle assessment of irrigated and rainfed wheat production based on farm sizes by impact categories of Ecopoint 97 models in Bousher											
تیمارها Treatment	نیترات به خاک Nitrate into soil (g)	فلزات به خاک Metals into soil (g Cd eq)	آفت‌کش‌ها به خاک Pesticide into soil (g act.subst.)	اکسید نیتروژن NOx (g)	اکسید گوگرد Sox (g SO ₂ eq)	آمونیاک NH ₃ (g)	گرد و غبار Dust PM10 (g)	تقاضای اکسیژن شیمیایی COD (g)	فسفر P (g)	نیتروژن N (g)	
کشت آبی											
Irrigated											
<2 ha	2446.72	0.1126	22.50	1923.79	3896.73	341.23	1235.05	5260.87	125.35	1350.82	
2-5 ha	2454.24	0.1132	22.54	1864.51	3754.63	338.41	1193.06	5042.13	120.60	1320.85	
5-10 ha	2450.89	0.1133	22.45	1781.23	3575.34	330.87	1136.33	4775.56	117.49	1250.76	
10-15 ha	2445.97	0.1132	22.38	1740.89	3494.80	325.73	1113.12	4638.50	117.94	1203.44	
>15 ha	2377.15	0.1095	21.83	1686.34	3348.33	320.47	1065.93	4544.84	104.52	1215.03	
میانگین Mean	2434.99	0.1124	22.34	1799.35	3613.96	331.34	1148.70	4852.38	117.18	1268.18	
اشتباه استاندارد SE	14.54	0.0007	0.13	42.57	96.43	3.86	29.74	132.12	3.46	29.09	
ضریب تغییرات C.V. (%)	1.33	1.46	1.31	5.29	5.97	2.60	5.79	6.09	6.60	5.13	
کشت دیم											
Rainfed											
<2 ha	4396.16	0.1935	41.72	4477.13	9297.24	704.64	2921.42	11330.70	283.09	3308.62	
2-5 ha	4334.74	0.1894	41.26	4091.64	8347.67	676.20	2627.75	10457.70	229.95	3103.74	
5-10 ha	4327.85	0.1881	41.34	4144.39	8483.38	674.94	2671.62	10627.45	234.35	3088.83	
10-15 ha	4277.76	0.1843	41.08	4180.98	8537.05	683.95	2682.50	10490.38	230.52	3230.00	
>15 ha	4305.44	0.1855	41.35	4245.91	8642.96	694.87	2731.50	10590.29	229.96	3317.76	
میانگین Mean	4328.39	0.1881	41.35	4228.01	8661.66	686.92	2726.96	10699.30	241.57	3209.79	
اشتباه استاندارد SE	19.65	0.0016	0.10	67.15	165.86	5.68	51.34	160.89	10.41	48.84	
ضریب تغییرات C.V. (%)	1.02	1.9179	0.56	3.55	4.28	1.85	4.21	3.36	9.64	3.40	
میانگین کل Total mean	3381.69	0.1503	31.84	3013.68	6137.81	509.13	1937.83	7775.84	179.38	2238.98	
اشتباه استاندارد SE	315.78	0.0127	3.17	406.51	846.13	59.35	264.53	979.42	21.37	324.71	
ضریب تغییرات C.V. (%)	29.53	26.64	31.47	42.66	43.59	36.86	43.17	39.83	37.67	45.86	

مدل 97 Ecopoints

یافته‌های جداول ۶ و ۷ خروجی روش 97 Ecopoints با شاخص‌های رده‌اثر انتشار فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های زیست‌محیطی به تفکیک در هوا، آب و خاک را نشان می‌دهد. فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیوم، روی و جیوه) و فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیوم، جیوه، سرب و نیکل) بودند (جدول ۶). در دو روش کاشت آبی و دیم میانگین انتشار فلزات سنگین سرب، کادمیوم، روی و جیوه به ترتیب برابر ۲/۰۸، ۰/۲۰۳۲، ۷۷/۸۹ و ۰/۵۱۳ گرم بود که در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. میانگین انتشار سرب، کادمیوم، روی و جیوه به هوا در کشت آبی به ترتیب برابر ۱/۲۳، ۰/۱۱۹۳، ۳۴/۰۱ و ۰/۳۰۱ گرم در کشت آبی به ترتیب برابر ۲/۹۲، ۲۸۷۲، ۱۱۱/۷۷ و ۰/۷۲۵ گرم به دست آمد. در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی فلزات سنگین به هوا روند کاهشی را نشان دادند.

در کشت آبی انتشار سرب، کادمیوم و جیوه متغیر بود که بیشترین انتشار این مواد به هوا در مزارع خیلی کوچک مشاهده شد، ولی انتشار روی با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ معادل ۶۶/۹۸ درصد کاهش یافت (جدول ۶). میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیوم، جیوه، سرب و نیکل در کشت دیم به ترتیب برابر ۳/۷۰، ۵/۶۳، ۱/۹۵، ۰/۳۴۳۶، ۰/۳۰۵۷، ۱/۶۲ و ۱/۵۷ گرم حاصل شد (جدول ۶). همچنین، میانگین انتشار کروم، روی، مس، کادمیوم، جیوه، سرب و نیکل در کشت آبی به ترتیب برابر ۲/۳۷، ۳/۴۸، ۱/۲۳، ۰/۲۱۳۶، ۱۹۰۳، ۱/۰۰ و ۰/۹۷ گرم و در کشت دیم به ترتیب برابر ۵/۰۳، ۷/۷۹، ۲/۶۷، ۰/۴۷۳۶، ۰/۴۲۱۲، ۲/۲۴ و ۲/۱۶ گرم به دست آمد که نشان می‌دهد انتشار این فلزات در کشت دیم به میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی است. طبق یافته‌ها، تمامی فلزات سنگین منتشر شده به هوا در کشت آبی با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ کاهش یافت. ولی در کشت دیم روند متغیر برای انتشار فلزات سنگین به هوا بر اساس اندازه زمین مشاهده شد که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود (جدول ۶).

در جدول ۷ شاخص‌های رده‌اثر انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار NOx، SOx، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم ارزیابی شدند. در دو روش کاشت آبی و دیم

میانگین انتشار نیترات به خاک (۳۳۸۱/۶۹ گرم)، فلزات به خاک (۰/۱۵۰۳ گرم معادل کادمیوم)، آفت‌کش‌ها به خاک (۳۱/۸۴ گرم بر اساس ماده مؤثره)، انتشار NOx (۳۰۱۳/۶۸ گرم)، SOx (۶۱۳۷/۶۸۱ گرم معادل SO_۲)، آمونیاک (۵۰۹/۱۳ گرم)، گرد و غبار (۱۹۳۷/۸۳ گرم)، COD (۷۷۷۵/۸۴ گرم)، فسفر (۱۷۹/۳۸ گرم) و پتاسیم (۲۲۳۸/۹۸ گرم) به دست آمد که تمامی این شاخص‌ها در کشت دیم به مقدار توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. در کشت آبی با افزایش اندازه زمین از خیلی کوچک به خیلی بزرگ مقدار تمامی این شاخص‌ها کاهش یافت. ولی در کشت دیم با افزایش اندازه مزرعه این شاخص‌ها روند متغیر را نشان دادند که بیشترین مقدار آن‌ها در مزارع خیلی کوچک مشاهده شد و سایر مزارع در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). با مقایسه گروهی بین کشت دیم و آبی مشاهده شد که در کشت دیم انتشار فلزات سنگین و سایر آلاینده‌ها به آب، هوا و خاک بالاتر از کشت آبی را دارا بودند که علت اصلی آن نیز تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. در واقع، میزان فلزات سنگین منتشر شده به آب و خاک بر اساس برآورد سالانه رسوب این عناصر و نیز مقدار ورود آن‌ها به خاک از محل کود، سموم، بذر و رسوب و خروج آن‌ها از خاک توسط برداشت محصول، آب‌شویی و فرسایش محاسبه شده است.

یافته‌ها نشان می‌دهد کشت دیم گندم در منطقه بوشهر در تمامی شاخص‌های رده‌اثر مورد ارزیابی تقریباً دو برابر بالاتر از کشت آبی دارای اثر سوء محیط‌زیستی بود. در همین رابطه، دیگر محققان بیان داشتند انتشار گازهای گلخانه‌ای در هنگام فعالیت‌های متنوع کشاورزی یا به‌طور مستقیم از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی در طی اجرای عملیات زراعی (کاشت تا برداشت) و یا به‌طور غیرمستقیم در زمان تولید و حمل‌ونقل ورودی‌های مورد نیاز مزرعه (علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی) به دست می‌آیند (Wood & Cowie, 2004). در مطالعه‌ای دیگر نیز اعلام شد عملیات زراعی و غیر زراعی (تولید و حمل‌ونقل کودها و آفت‌کش‌ها) در تولید برنج هرکدام به ترتیب ۹۸-۸۰ و ۹۱-۱۶ کیلوگرم معادل CO_۲ در هکتار پتانسیل گرمایش جهانی نقش دارند (Pathak & Wassmann, 2007). عوامل متفاوت طبیعی و انسانی باعث ایجاد گرمایش جهانی می‌شوند؛ اما عموماً محققان آن را ناشی از افزایش انتشار گازهای

گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی می‌دانند (Bare, 2011)، که می‌تواند سبب تغییرات زیادی در الگوهای جهانی اقلیم شود. برای گزارش میزان گازهای گلخانه‌ای تولید شده، تمامی گازهای تولید شده با معادل دی‌اکسید کربن که بیان‌گر پتانسیل گرمایش جهانی است، گزارش می‌شوند. در مطالعه سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2013) مقدار پتانسیل گرمایش جهانی در گرگان را ۶۲۱ کیلوگرم معادل CO_2 به‌ازای تولید یک تن گندم گزارش شد. در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر در بخش زراعی تولید گندم ۱۱۹/۵ کیلوگرم معادل CO_2 (Wang et al., 2007)، گندم در مردودشت ۲۶۲/۱ کیلوگرم معادل CO_2 (Mirhaji et al., 2013) و گندم در سوئیس ۳۸۱ کیلوگرم معادل CO_2 گزارش شد (Charles et al., 2006). مقدار تقاضای انرژی غیرقابل تجدید برای تولید یک تن گندم در گرگان ۶۶۴۱ مگاژول گزارش شد (Soltani et al., 2013). مقدار کل انرژی مصرفی در انگلیس بسته به نوع خاک و عملیات مزرعه‌ای و نظام‌های تولیدی بین ۲۷۴ تا ۵۵۷ مگاژول (Tzilivakis et al., 2005) و در ژاپن ۵۲۱ مگاژول (Koga, 2008) در هر تن چغندر قند گزارش شد.

مهم‌ترین مواد دارای پتانسیل اسیدی شدن در بوم‌نظام‌ها، دی‌اکسید سولفور و اکسیدهای نیتروژن هستند که در جریان تولید در کشاورزی عمدتاً از مصرف سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شوند، اگرچه آمونیاک حاصل از مصرف کودهای شیمیایی در مزرعه نیز از عوامل مهم اسیدی شدن است (Engstrom et al., 2009). علاوه بر این، در مصرف سوخت، ادوات و ماشین‌آلات، تولید و حمل‌ونقل این مواد نیز اثر سمیت وجود دارد (Engstrom et al., 2009). این انتشارات به‌وسیله مجموعه فرآیندهای پیچیده انتقال اتمسفری و شیمیایی سبب اسیدی‌سازی شده و این به نوبه خود ایجاد اثرات زیان‌باری بر بوم‌نظام‌ها، جمعیت‌های گیاهی و جانوری می‌کند (Bare et al., 2003). در دیگر تحقیقات شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برابر چهار کیلوگرم معادل SO_2 حاصل شد (Wang et al., 2007). در تحقیقی دیگر در شیلی شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO_2 محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). اعتقاد بر آن است که انتشاراتی مانند کلروفلوروکربن‌ها و گازهای هالوژنه باعث تخریب لایه ازن در استراتوسفر می‌شوند (Bare et al., 2003). تخریب لایه ازن می‌تواند باعث اثراتی مثل سرطان پوست، ورود خسارت‌های مولکولی به مواد،

صدمه به گیاهان و حیوانات گردد که به‌علت افزایش عبور ماوراءبنفش رخ می‌دهند (Bare et al., 2003). سرعت تشکیل ازن در لایه تروپوسفر به‌وسیله واکنش‌های پیچیده شیمیایی تعیین می‌شود که تحت تأثیر غلظت NO_x ، ترکیبات آلی فرار و همچنین دما، نور خورشید و جریان‌های همرفت قرار دارد. یافته‌های اخیر نشان می‌دهد که منواکسید کربن و متان نیز در تشکیل ازن مؤثر هستند (Bare et al., 2003). تشکیل ازن باعث تغییر در ترکیب گونه‌ای بوم‌نظام‌ها شده و میزان تولید زیست‌توده را افزایش می‌دهد. این خود سبب زنجیره‌ای از پیامدهای زیان‌بار شامل کاهش تنوع زیستی و تولید ترکیبات شیمیایی سمی برای انسان، دام و سایر پستانداران می‌شود (Bare et al., 2003). همچنین، دیگر محققان، مقدار این آب‌سویی را در سوئیس ۰/۵۹ کیلوگرم نیتروژن به‌ازای هر تن چغندر قند گزارش کردند (Nemecek & Kagi, 2007). دیگر محققان شاخص طبقه‌بندی یوتریفیکاسیون برای تولید کلزا و آفتابگردان در شیلی را به‌ترتیب ۷/۲ و ۹ کیلوگرم معادل PO_4 گزارش کردند (Iriarte et al., 2010). در شیلی نیز شاخص طبقه‌بندی گروه تأثیر اسیدیته برای تولید کلزا و آفتابگردان به‌ترتیب ۱۹ و ۲۳ کیلوگرم معادل SO_2 محاسبه شد (Iriarte et al., 2010). باران اسیدی در برخی نقاط جهان باعث مسمومیت و صدمه به گیاهان، درختان، آبیان و افزایش اسیدیته خاک می‌شود (Dastan et al., 2016 a; 2017). از منابع عمده این اثر در کشاورزی استفاده از کودهای شیمیایی نیتروژنه و در نتیجه، انتشار NO_x و NH_3 به اتمسفر است (Dastan et al., 2016 a; 2017). از آنجا که در تولید محصولات کشاورزی نهاده‌های زیادی مصرف می‌شود در نتیجه، سامانه تولید اثرات زیست‌محیطی گسترده‌ای را ایجاد می‌کند (Brentrup et al., 2004 a). در مطالعه دیگر در آلمان گزارش شد برای تولید یک تن گندم اسیدیته و گرمایش جهانی از اثرات عمده محیطی بوده‌اند (Brentrup et al., 2004 b). برای محصول گندم تخلیه انرژی با شاخص نهایی ۰/۱۴ و اسیدیته با ۰/۱۳ مهم‌ترین شاخص زیست‌محیطی بودند (Wang et al., 2009). برای تولید آفتابگردان و کلزا بالاترین تأثیر زیست‌محیطی برای گرمایش جهانی و یوتریفیکاسیون گزارش شد (Iriarte et al., 2010). پتانسیل اکسیداسیون فتوشیمیایی (مه‌دود) عمدتاً ناشی از تشکیل ازن در سطح زمین است که تحت اثر واکنش‌های بین اکسیدهای نیتروژن و ترکیبات آلی فرار در نور خورشید قرار دارد (Bare et al., 2011).

نتیجه‌گیری

طبق یافته‌های می‌توان بیان کرد میانگین مقادیر شاخص‌های رده‌اثر متعلق به تقاضای انرژی تجمعی، تقاضای اکسرژی تجمعی، پروتکل گازهای گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی طی دوره ۱۰۰ ساله، ردپای بوم‌شناختی و ردپای آب در کشت دیم به‌میزان قابل توجهی بالاتر از کشت آبی بود. علاوه‌براین، شاخص‌های رده‌اثر متعلق به مدل CML-IA non-baseline مثل تخلیه غیرزنده، رقابت زمین، گرمایش جهانی طی دوره ۵۰۰ ساله، اسیدی شدن، یوتریفیکاسیون، تابش یونیزان، بدبو شدن هوا، تخلیه لایه اوزون دوره ۴۰ ساله، مسمومیت انسان در دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت زیستی گونه‌های آبی در آب‌های شیرین طی دوره ۱۰۰ ساله، مسمومیت ناشی از رسوبات در دریا و آب‌های شیرین در دوره ۱۰۰ ساله و مسمومیت زیستی زمین در دوره ۱۰۰ ساله در کشت دیم به‌طور قابل توجه و بسیار بالایی بیشتر از کشت آبی بود. همچنین، شاخص‌های رده‌اثر فلزات سنگین منتشر شده در هوا (سرب، کادمیم، روی و جیوه)، فلزات سنگین انتشار یافته در آب (کروم، روی، مس، کادمیم، جیوه، سرب و نیکل)، انتشار نیترات، فلزات و آفت‌کش‌ها به خاک، انتشار NOx، SOx، آمونیاک، گرد و غبار، COD، فسفر و پتاسیم در روش کشت دیم بسیار بالاتر از کشت آبی بود. طبق یافته‌ها، تمامی ورودی‌ها به

مزرعه (بذر، سوخت، نیروی برق، ادوات و ماشین‌آلات، نیتروژن، فسفر، پتاسیم و آفت‌کش‌ها) و خروجی (عملکرد دانه) بر تقاضای انرژی تجمعی اثرگذار بودند.

در روش کاشت آبی، با افزایش اندازه مزرعه از خیلی کوچک به خیلی بزرگ انتشار تمامی آلاینده‌های مدل‌های مورد بررسی روند کاهش را نشان دادند، ولی در کشت دیم روند متغیر برای انتشار فلزات سنگین به هوا بر اساس اندازه زمین مشاهده شد که بیشترین مقدار متعلق به مزارع خیلی کوچک بود. متغیر بودن مقدار این شاخص‌ها بر اساس اندازه مزرعه در کشت دیم می‌تواند به‌دلیل تغییرات کمتر مقدار خروجی (عملکرد) و تمامی ورودی‌ها در مزارع خیلی کوچک تا خیلی بزرگ باشد. این نتایج نشان می‌دهد که سهم آلاینده‌ها در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم در منطقه بوشهر کمتر است.

سپاسگزاری

این مقاله بر گرفته از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه پیام‌نور استان بوشهر با شماره ۱۴۲۵۳۶۵ است که بدین وسیله سپاسگزاری می‌شود.

References

- Bare, J., 2011. TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental. Clean Technologies and Environmental Policy pp. 1-10.
- Bare, J.C., Norris, N.A., Pennington, D.W., and McKone, T., 2003. TRACI: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts. Journal of Industrial Ecology 6: 49-78.
- Brentup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H., and Lammel, J., 2004 a. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment methodology: I. Theoretical concept of a LCA method tailored a crop production. European Journal of Agronomy 20(3): 247-264.
- Brentup, F., Kusters, J., Lammel, J., Barraclough, P., and Kuhlmann, H., 2004 b. Environmental impact assessment of agricultural production systems using the life cycle assessment (LCA) methodology: II. The application to N fertilizer use in winter wheat production systems. European Journal of Agronomy 20(3): 265-279.
- Bosch, M.E., Hellweng, S., Huijbregts, M.A., and Frischknecht, R., 2007. Applying cumulative exergy demand (CExD) indicators to the ecoinvent database. The International Journal of Life Cycle Assessment 12(3): 181-190.
- Charles, R., Jolliet, O., Gaillard, G., and Pellet, D., 2006. Environmental analysis of intensity level in wheat crop production using life cycle assessment. Agriculture, Ecosystems and Environment 113(1/4): 216-225.
- Chauhan, N.S., Mohapatra, P.K.J., and Pandey, K.P., 2006. Improving energy productivity in paddy production through benchmarking: an application of data envelopment analysis. Energy Conversion and Management 47: 1063-1085.
- Clements, D.R., Weise, S.F., Brown, R., Stonehouse, D.P., Hume, D.J., and Swanton, C.J., 2005. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management-systems. Agriculture, Ecosystems and Environment 52: 119-128.
- Dastan S., Soltani, A., Noormohamadi, G., and Madani, H., 2015 a. CO₂ emission and global warming potential (GWP)

- of energy consumption in paddy field production systems. *Journal of Agroecology* 6(4): 823-835. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., 2012. Evaluation on agronomic and ecophysiological indices of lowland rice genotypes in modified agronomical systems. Ph.D. Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran College of Agriculture and Natural Resources. 278 pp. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., Soltani, A., and Alimagham, S.M., 2018. Documenting the process of local rice varieties production in two conventional and semi-mechanized planting methods in Mazandaran province. *Cereal Research* 7(4): 485-502. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., Soltani, A., Noormohamadi, G., and Madani, H., 2016 b. Estimation of the carbon footprint and global warming potential in rice production systems. *Journal of Environmental Sciences* 14(1): 19-22. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., Ghareyazie, B., Soltani, A., and Omid, M., 2016 a. The life cycle assessment (LCA) of rice in conventional, intensive and conservation systems. 2nd International and 14th National Iranian Crop Science Congress. Aug. 30-Sep. 1. University of Guilan, Rasht, Iran. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., Ghareyazie, B., Mortazavi, E., Mohsenpour, M., and Abdollahi, S., 2017. The environmental life cycle assessment (LCA) of transgenic and non-transgenic rice cultivars. 2nd International and 10th National Biotechnology Congress of Islamic Republic of Iran. Aug. 29-31. Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran. (In Persian with English Summary)
- Dastan, S., Noormohamadi, G., Madani, H., and Soltani, A., 2015 b. Analysis of energy indices in rice production systems in the Neka region. *Journal of Environmental Sciences* 13(1): 53-66. (In Persian with English Summary)
- Engstrom, R., Wadeskog, A., and Finnveden, G., 2009. Environmental assessment of Swedish agriculture. *Ecological Economics* 60: 550-563.
- Esmailpour, B., Khorramdel, S., and Amin Ghafouri, A., 2015. Study of environmental impacts for potato agroecosystems of Iran by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Journal of Crop Production* 8(3): 199-224. (In Persian with English Summary)
- Iriarte, A., Rieradevall, J., and Gabarrell, H., 2010. Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean condition. *Journal of Cleaner Production* 18: 336-345.
- Khorramdel, S., Shabahang, J., and Ghafouri, A., 2017. Evaluation of environmental impacts for rice agroecosystems using life cycle assessment (LCA). *Iranian Journal of Applied Ecology* 5(18):1-14. (In Persian with English Summary)
- Khorramdel, S., Ghorbani, R., and Amin Ghafori, A., 2015. Comparison of environmental impacts for dryland and irrigated barley agroecosystems by using life cycle assessment (LCA) methodology. *Journal of Plant Production Research* 22(1): 243-264. (In Persian with English Summary)
- Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Ghafori, A., 2014. Evaluation of environmental impacts for wheat agroecosystems of Iran by using LCA methodology. *Cereal Research* 4(1): 27-44. (In Persian with English Summary)
- Koga, N. 2008. An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125: 101-110.
- Meisterling, K., Samaras, C., and Schweizer, V., 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17: 222-230.
- Mirhaji, H., Khojastehpour, M., and Abbaspour-Fard, M.H., 2013. Environmental impact study of wheat production in Marvdasht Area of Iran. *Journal of Natural Environment* 66(2): 223-232.
- Mitchell, T.D., 2003. Pattern scaling: An Examination of the accuracy of the technique for describing future climates. *Climatic Change* 60: 217-242.
- Mollafilabi, A., Khorramdel, S., Aminghafori, A., and Hosseini, M., 2015. Evaluation of environmental impacts for saffron agroecosystems of khorasan based on nitrogen fertilizer by using life cycle assessment (LCA). *Journal of Saffron Research* 2(2): 152-166. (In Persian with English Summary)
- Nemecek, T., and Kagi, T., 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final Report Eco Invent V2.0 NO. 15a. Agroscope Reckenholz- Taenikon Research Station ARTM, Swiss centre for life cycle inventories, Zurich and Dubendorf, CH.
- Nikkhah, A., Firouzi, S., Payman, S.H., and Khorramdel, S., 2016. Life cycle assessment of urea fertilizer consumption

- in Iran. Journal of Natural Environment (Iranian Journal of Natural Resources) 69(3): 853-864. (In Persian with English Summary)
- Nikkhah, A., Khortamdel, S., Abedi, M., Firouzi, S., and Hamzeh Kalkenari, H., 2017. Study of Environmental impacts for tea production system in Chaboksar region of Guilan province through life cycle assessment. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production 27(1): 181-195. (In Persian with English Summary)
- Pathak, H., and Wassmann, R., 2007. Introducing greenhouse gas mitigation as a development objective in rice-based agriculture: I. Generation of technical coefficients. Agricultural Systems 94: 807-825.
- Pervanchon, F., Bockstaller, C., and Girardin, P., 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agricultural Systems 72: 149-172.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W., Suh, S., Weidema, B.P., and Pennington, D.W., 2004. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International 30: 701-720.
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., and Shiina, T., 2009. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. Journal of Food Engineering 90: 1-10.
- SimaPro., 2011. Software and Database Manual. Pré Consultants BV, Amersfoort, the Netherlands.
- Soltani, A., Rajabi, M.H., Zeinali, E., and Soltani, E., 2013. Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. Energy 50: 54-61.
- Tzilivakis, J., Warner, D.J., May, M., Lewis, K.A., and Jaggard, K., 2005. An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. Agricultural Systems 85: 101-119.
- Wang, M., Wu, W., Liu, W., and Bao, Y., 2009. Life cycle assessment of the winter wheat-summer maize production system on the North China Plain. International Journal of Sustainable Development and World Ecology 14(4): 400-407.
- Wood, S., and Cowie, A., 2004. A review of greenhouse gas emission factors for fertilizer production. Research and Development Division, State Forests of New South Wales. Cooperative research center for greenhouse accounting. The original study was: T.O. West and G. Marland. A synthesis of carbon sequestration, Carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: Comparing tillage practices in the United States. Agriculture, Ecosystems and Environment 91(1-3): 217-232.



Comparision of Ecological Footprint, Water Footprint and Environmental Impacts of Irrigated and Rainfed Wheat Production Systems based on Farm Size (Case Study: Boushehr Region)

M. Siavoshi^{1*} and S. Dastan²

Submitted: 25-10-2018

Accepted: 24-11-2019

Siavoshi, M., and Dastan, S., 2021. Comparision of ecological footprint, water footprint and environmental impacts of irrigated and rainfed wheat production systems based on farm size (Case study: Boushehr region). Journal of Agroecology 13(1):135-155.

Introduction

Nowadays, agriculture plays a major role in environmental pollution, and knowledge regarding reducing input utilization in such systems can help us to decrease the limited input resource consumption and the consequent greenhouse gas (GHGs) emissions and environmental impacts. Environmental assessment is one of the accepted ways for achieving sustainable agricultural goals. Hence, life cycle assessment (LCA) is an appropriate way to study the environmental impact of a crop plant producing in its whole life cycle in production systems. Moreover, life cycle assessment (LCA) is an appropriate method for studying the environmental impacts of a crop product throughout its life cycle in production systems. Therefore, this research was carried out with the aim of evaluating the life cycle of irrigated and rainfed wheat productions based on the farm size in Bushehr region in 2016-17.

Material and Methods

To conduct research, at first, 200 wheat fields were identified which 100 farms belonging to rainfed cultivation in the Genaveh region and 100 farms belonging to irrigated cultivation in the Dashty region were monitored. After data recording, farms in each method were classified into five groups in terms of size level, including very small ($<2 \text{ ha}^{-1}$), small ($2\text{-}5 \text{ ha}^{-1}$), medium ($5\text{-}10 \text{ ha}^{-1}$), large ($10\text{-}15 \text{ ha}^{-1}$) and very large ($>15 \text{ ha}^{-1}$). For each impact category, correspond characterization factors were used based on cumulative energy demand (CED), cumulative exergy demand (CexD), greenhouse gas protocol (GGP), IPCC 2013 GWP 100a, ecological footprint (EF), and water footprint (WF) methods in SimaPro8.2.3 software.

Results and Discussion

The findings of this study demonstrated that all impact category of cumulative energy demand (CED), cumulative exergy demand (CexD), greenhouse gas protocol (GGP), IPCC 2013 GWP 100a, ecological footprint (EF), and water footprint (WF) in rainfed cultivation were significantly higher than irrigated cultivation. In addition, the impact category indices associated with the CML-IA non-baseline model, such as global warming 500a, acidification, eutrophication, ionizing radiation, malodorous air, ozone layer depletion 40a, human toxicity 100a, freshwater and marine aquatic ecotoxicity 100a in rainfed cultivation, were significantly higher than irrigated cultivation. Moreover, impact category of heavy metals emitted into the air (Pb, Cd, Zn, and Hg), heavy metals emitted into water (Cr, Zn, Cu, Cd, Hg, Pb, and Ni), nitrate into soil, metals into soil, pesticide into the soil, and emission of NO_x, SO_x, NH₃, dust, COD, phosphorous and nitrogen in the rainfed method was much higher than irrigated cultivation. In irrigated planting method, with increasing farm size from very small to very large, all of the pollutants revealed a decreasing trend, but it was varied in rainfed cultivation, with the largest amount belonging to very small farms. According to the results, it is possible to improve productivity by reducing nitrogen and fuel consumption as well as mechanization of agricultural crops. Based on the findings, it can be argued that farmers in both systems consider economic efficiency in production and are less likely to pay attention to environmental sustainability. It seems that by reducing the government subsidies related to

1- Asistant Professor, Department of Agricultural Science, Payame Noor University, I.R. of Iran.

2- Postdoctoral researcher, Agricultural Biotechnology Research Institute of Iran (ABRII), Karaj, Iran.

(*Corresponding author: morteza_siavoshi@yahoo.com)

Doi:10.22067/jag.v13i1.76210

chemical inputs and promoting conservation planting systems, the gap created could be offset to increase economic and environmental productivity in wheat cultivation in the region.

Conclusion

The variability of these indicators based on farm size level in rainfed cultivation can be due to lower variation in output (yield) and all inputs from very small to very large fields. Therefore, these results show that the share of pollutants in irrigated cultivation is lower than in rainfed cultivation in the Bushehr region. This issue is of great importance from the ecological point of view because the source of non-renewable energies, which are mostly fossil fuels, and the reliance on these resources in the future, is fraught with great risks.

Keywords: Cumulative exergy demand, Ecological footprint, Eutrophication, Global warming



مقاله علمی - پژوهشی

استفاده از مدل SSM-iCrop برای پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط ایران

سمانه رهبان^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و ابراهیم زینلی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۲۷

رهبان، س.، ترابی، ب.، سلطانی، ا.، و زینلی، ا.، ۱۴۰۰. استفاده از مدل SSM-iCrop برای پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۳(۱): ۱۵۷-۱۷۷.

چکیده

تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی در منطقه و نگرانی در مورد امنیت غذایی به‌عنوان مشکلاتی مهم مطرح هستند؛ در این راستا بررسی شرایط جهت دستیابی به افزایش تولید محصولات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد. برای بررسی راه‌کارهای افزایش عملکرد، ابتدا بایستی پتانسیل عملکرد و عوامل محدودکننده عملکرد تعیین و مورد ارزیابی قرار گیرند. از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به‌عنوان طرح توسعه‌یافته‌ای از آزمایش‌های مزرعه‌ای برای غلبه بر محدودیت‌هایی مانند زمان و هزینه استفاده نمود. این بررسی با هدف استفاده از مدل SSM-iCrop برای شبیه‌سازی فنولوژی، عملکرد و بهره‌وری آب گیاه کلزا در سطح کشور انجام گرفت. در نتیجه پارامتریابی مدل، سه رقم زودرس، متوسط رس و دیرس برای کلزا تعیین شد، که درجه حرارت تجمعی برای کامل شدن دوره رشد آن‌ها به‌ترتیب ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۷۰۰ درجه سانتی‌گراد روز برآورد گردید. پس از تعیین پارامترهای مورد نیاز، به‌منظور ارزیابی مستقل مدل، با استفاده از داده‌های مقالاتی که از آن‌ها برای برآورد پارامترها استفاده نشده بود، بر اساس تاریخ کاشت و مدیریت منطقه مورد نظر و همچنین آمار هواشناسی آن مناطق، مدل اجرا گردید تا درستی و صحت‌سنجی مدل صورت گیرد. با توجه نمودار ۱:۱ و آماره‌های $F=0/87$ ، $CV=18$ (درصد) و $RMSE=67/04$ ($g.m^{-2}$) برای عملکرد دانه و $F=0/97$ ، $CV=5$ (درصد)، $RMSE=10/68$ (روز) برای روز تا رسیدگی و $F=0/83$ ، $CV=19/35$ ، $RMSE=91/9$ ($mm.ha^{-1}$) برای نیاز آبی می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی رشد کلزا با استفاده از مدل SSM-iCrop رضایت‌بخش بوده است و نتایج حاکی از برآورد صحیح پارامترهای مدل و تصدیق‌کننده کارایی مدل در پیش‌بینی عملکرد کلزا در ایران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، پارامتریابی، شبیه‌سازی، مدل‌های گیاهی

مقدمه

کنجاله جهان است (Yang et al., 2014). سطح زیر کشت کلزا در دنیا در نیم قرن اخیر پنج برابر شده است، یعنی هر ۲۰ سال دو برابر به سطح زیر کشت کلزا اضافه گردیده است (FAO, 2015). از سال ۱۹۹۲ تا ۲۰۱۳ میزان تولید کلزا در دنیا از ۲۶/۷ به بیش از ۷۲/۶ میلیون تن و سطح زیر کشت آن از ۲۰ به بیش از ۳۶ میلیون هکتار رسیده است. همچنین آمارها نشان می‌دهد که در ایران از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ میزان تولید از ۷۶ به ۳۵۰ هزار تن و سطح زیر کشت از ۴۷ به ۱۷۰ هزار هکتار رسیده است (FAO, 2014). با این وجود، در حال حاضر تولید دانه‌های روغنی از جمله کلزا در کشور نمی‌تواند تقاضای مصرف داخلی را برآورده سازد. ایران با واردات ۹/۱ میلیارد دلار انواع

کلزا (*Brassica napus*) در بسیاری از مناطق جهان یک زراعت مهم اقتصادی محسوب می‌شود و سومین منبع تأمین‌کننده روغن و

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۳- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

۴- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.

(Email: ben_torabi@yahoo.com)

(*) نویسنده مسئول:

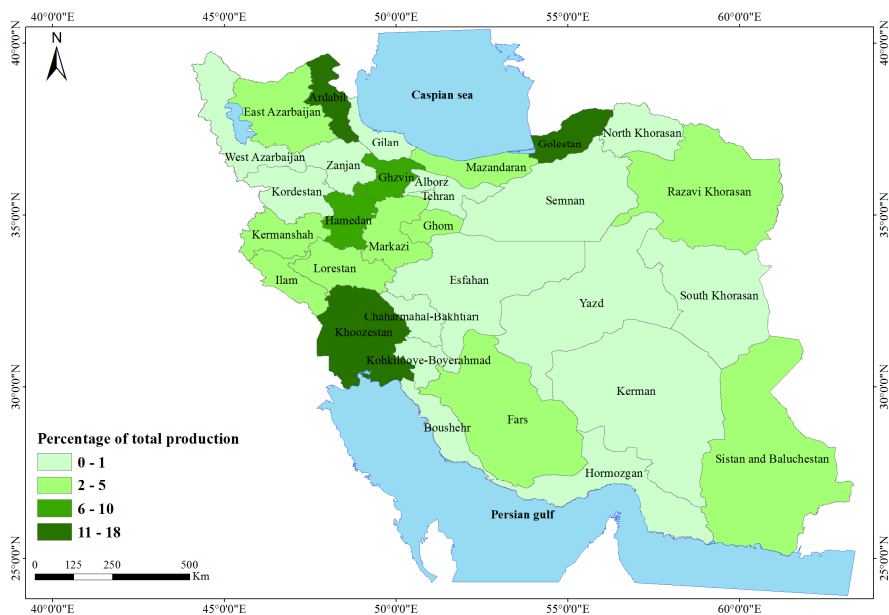
مناسب برای تخمین عملکرد پتانسیل می‌باشد (Soltani et al., 2016؛ Hajjarpoor et al., 2018) و دارای قابلیت اطمینان بالایی در مطالعات متعدد در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها برای محصولات مختلف از جمله نخود (Vadez et al., 2013)، سویا (Sinclair et al., 2014)، لوبیا (Marrou et al., 2014)، عدس (Ghanem et al., 2015) و بادام زمینی (Vadez et al., 2017) بوده است. مدل SSM-iCrop به واسطه دارا بودن مزیت‌هایی مانند تسهیل در ساخت، آزمون، کاربرد، درک و تفسیر نتایج، و همچنین نیاز به حداقل ورودی‌ها، در تجزیه و تحلیل عملکرد و عوامل محدودکننده عملکرد، کارایی بالایی دارد. این مطالعه به منظور پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop برای کلزا بر اساس داده‌های آزمایش‌های مستقل میدانی در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

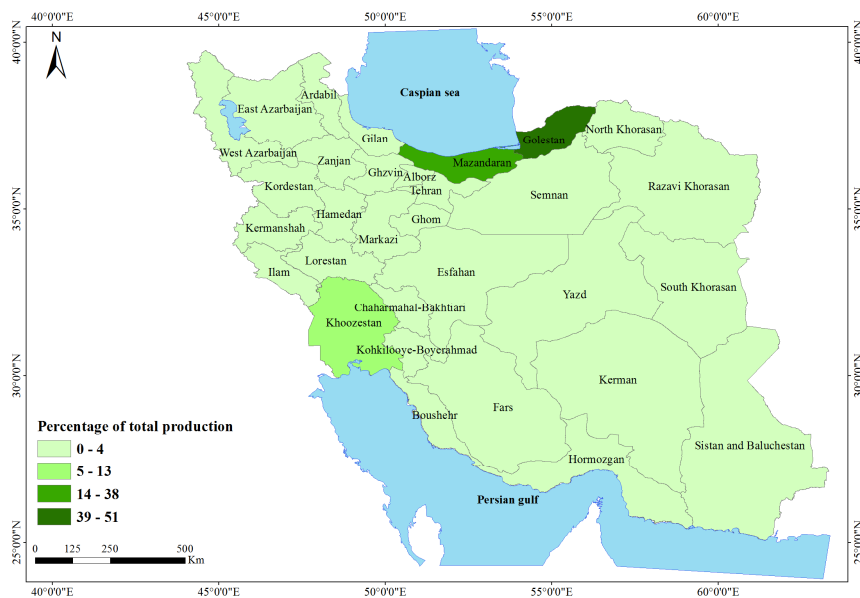
محل مطالعه و استان‌های اصلی تولیدکننده کلزا در ایران

این تحقیق در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. در اولین مرحله مهم‌ترین مناطق تولیدکننده کلزا در ایران تعیین شد. برای این منظور استان‌هایی که مجموعاً ۸۵ درصد تولید کلزا در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به تفکیک آبی و دیم را به خود اختصاص داده‌اند، انتخاب شدند. استان‌های با بیش از پنج درصد میزان تولید در اولویت انتخاب بودند. بر اساس آمار ۱۵ ساله از سازمان جهاد کشاورزی کشور استان‌های مهم تولیدکننده کلزا در کشت آبی عبارتند از خوزستان، گلستان، مازندران، اردبیل، ایلام، کرمانشاه، آذربایجان شرقی، لرستان، خراسان رضوی، فارس، همدان و قزوین که در مجموع، ۸۶/۷ درصد تولید کلزای آبی کشور را به خود اختصاص می‌دهند و استان‌های مهم تولیدکننده کلزا در کشت دیم عبارت از مازندران، گلستان و خوزستان است که مجموعاً ۹۰/۱ درصد تولید کلزای دیم کشور را به خود اختصاص می‌دهند. تولید کلزای آبی و دیم در ایران در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ به‌طور متوسط به ترتیب حدود ۸۵۹۵۱/۱ و ۶۴۳۰۱/۳ تن، عملکرد متوسط به ترتیب ۱۸۳۳/۵ و ۱۵۴۱/۶ کیلوگرم در هکتار و سطح زیر کشت به ترتیب ۴۳۳۸۹/۲ و ۳۸۷۹۱/۵ هکتار بوده است.

روغن‌های خوراکی دوازدهمین واردکننده در دنیا به‌شمار می‌رود. با در نظر گرفتن خالص مصرف داخلی، ایران با میزان سرانه واردات بیش از ۲۰ کیلوگرم به‌ازای هر نفر، مقام اول سرانه واردات در بین کشورها را به خود اختصاص می‌دهد (Soltani, A. 2015). بر اساس آمار ۱۵ ساله از سازمان جهاد کشاورزی کشور در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، عملکرد متوسط در مزارع آبی کلزا برابر با ۱۹۰۷ کیلوگرم در هکتار و در مزارع دیم کلزا معادل با ۱۵۲۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است. محدودیت منابع آب و خاک به دلیل موقعیت جغرافیایی و اقلیمی کشور از یک سو و ضرورت تحقق خودکفایی در امور زیربنایی از سوی دیگر، موجبات بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک موجود در سطح کشور را امری اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی در منطقه و نگرانی در مورد امنیت غذایی به عنوان مشکلاتی مهم مطرح هستند. در این راستا بررسی شرایط، جهت دستیابی به افزایش تولید محصولات کشاورزی ضروری به نظر می‌رسد (Laurance, 2014). برای بررسی راه کارهای افزایش عملکرد، ابتدا بایستی پتانسیل عملکرد و عوامل محدودکننده عملکرد (آب و هوا، خاک، آب و عوامل ژنتیکی) تعیین و مورد بررسی قرار گیرند. بدین منظور می‌توان از آزمایش‌های مزرعه‌ای در نقاط مختلف و طی چند سال بهره‌گرفت تا راه‌های بهبود مدیریت زراعی و بهبود ژنتیکی مشخص گردد، اما انجام چنین آزمایشاتی پرهزینه بوده و هزینه زیادی دارد. از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان طرح توسعه یافته‌ای از آزمایش‌های مزرعه‌ای برای غلبه بر محدودیت‌هایی مانند زمان و هزینه استفاده نمود. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قرار دادن اطلاعات کامل، گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند. مدل‌های گیاهان زراعی برای بررسی و برآورد میزان عملکرد، تعیین راه کارها و برنامه‌ریزی برای افزایش عملکرد با استفاده از منابع مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند (Geerts & Raes, 2009). همچنین می‌توانند برای ارزیابی نیاز آب و نیازهای تغذیه گیاهی در شرایط مختلف از این مدل‌ها استفاده کرد (Van Ittersum et al., 2003). مدل‌های گیاهان زراعی از پارامترهای مختلف گیاهی و محیطی برای شبیه‌سازی رشد محصول استفاده می‌کنند و قبل از به کارگیری این مدل‌ها بایستی آن‌ها را پارامتریابی و سپس ارزیابی نمود (Hsiao et al., 2009). از جمله مدل‌هایی که برای کلزا واسنجی و کالیبره شده است، می‌توان به مدل AquaCrop (Arvaneh & Abbasi, 2014) و CropSyst (Honar et al., 2012) اشاره کرد. مدل SSM-iCrop که توسط سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012) طراحی و ساخته شده است، بسیار



شکل ۱- سهم تولید کلزا آبی در استان‌های مختلف ایران (درصد) در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵
Fig. 1- Irrigated canola production share in different provinces of Iran (percent)



شکل ۲- سهم تولید کلزا دیم در استان‌های مختلف ایران (درصد) در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵.
Fig. 2- Rainfed canola production share in different provinces of Iran (percent)

آزمایشات میدانی

استان‌های مهم تولیدکننده کلزا استخراج شد. این آزمایشات در جدول

داده‌های مورد نیاز مدل SSM-iCrop برای شبیه‌سازی رشد، ۱ ارائه شده است.
نمو، عملکرد و نیاز آبی کلزا از منابع و پژوهش‌هایی انجام شده در

جدول ۱- آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی و ارزیابی SSM-iCrop
Table 1- Experiments used for parameterization and evaluation of SSM-iCrop

استان، شهرستان و سال آزمایش Province, location and year	تیمارها Treatments	رفرنس Reference
آزمایشات مورد استفاده برای پارامتریابی مدل Experiments used for parameter estimation		
مغان، اردبیل، ۱۳۸۵ Moghan, Ardebil, 2006	تاریخ کاشت Planting date	Razmi et al., 2009
مغان، اردبیل، ۱۳۸۹ Moghan, Ardebil, 2010	فیزیولوژی، فیزیولوژی Phenology, physiology	Soleymanzade et al., 2012
اراک، مرکزی، ۱۳۸۷ Arak, Markazi, 2008	ژنوتیپ Genotype	Khatamian et al., 2011
ارومیه، آذربایجان غربی، ۱۳۷۹ Orumieh, West Azarbaijan, 2000	ژنوتیپ Genotype	Valadiani & Tajbakhsh, 2007
اهواز، خوزستان، ۱۳۸۴-۱۳۸۵-۱۳۸۶ Ahwaz, Khozestan, 2005-2006-2007	تاریخ کاشت Planting date	Khayat et al., 2011
اسلام آباد، کرمانشاه، ۱۳۸۵ Eslamabad, Kermanshah, 2006	ژنوتیپ Genotype	Siahbidi & rezaizad, 2012
گرگان، گلستان، ۱۳۸۲ Gorgan, Golestan, 2003	تاریخ کاشت Planting date	Abadian et al., 2012
گرگان، گلستان، ۱۳۸۶ Gorgan, Golestan, 2007	تاریخ کاشت Planting date	Bagheri & Safahani, 2010
گرگان، گلستان، ۱۳۷۹ Gonbad, Golestan, 2000	مقدار دانه، فاصله ردیف Seed quantity, Row spacing	Faraji, 2004
ساری، مازندران، ۱۳۸۸ Sari, Mazandaran, 2009	تاریخ کاشت، کود نیتروژن planting date, Nitrogen fertilizer	Pashakolayi et al., 2011
نکاء، مازندران، ۱۳۸۶ Neka, Mazandaran, 2007	تاریخ کاشت، کود نیتروژن Planting date, Nitrogen fertilizer	Pashakolayi et al., 2008
باوه، مازندران، ۱۳۸۵ Baye, Mazandaran, 2006	تاریخ کاشت Planting date	Rameeh, 2014
آزمایشات مورد استفاده در ارزیابی مدل Experiments used for model evaluation		
زرقان، فارس، ۱۳۷۹ Zarghan, Fars, 2000	رژیم آبی Water regime	Niazi, 2006
همدان، همدان، ۱۳۸۹ Hamedan, Hamedan, 2007	روش آبیاری Irrigation method	Mazaheri et al., 2011
اراک، مرکزی، ۱۳۸۸ Arak, Markazi, 2008	ژنوتیپ Genotype	Mostafavi Rad et al., 2011
اراک، مرکزی، ۱۳۸۸ Arak, Markazi, 2008	تاریخ کاشت Planting date	Mostafavi Rad et al., 2012

مشهد، خراسان رضوی، ۱۳۸۵ Mashhad, Khorasan Razavi, 2006	ژنوتیپ Genotype	Ghani zade & Azizi, 2009
اهواز، خوزستان، ۱۳۹۴ Ahwaz, Khozestan, 2007	تنش خشکی ژنوتیپ، Genotype, Drought stress	Ahmadi et al., 2015
دزفول، خوزستان، ۱۳۹۰ Dezful, Khozestan, 2011	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	Nouriani, 2015
قزوین، قزوین، ۱۳۸۷ Qazvin, Qazvin, 2008	تاریخ کاشت، روش آبیاری Planting date, Irrigation method	Varse et al., 2010
گرگان، گلستان، ۱۳۸۸ Gorgan, Golestan, 2009	کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	Behdadian et al., 2012
گرگان، گلستان، ۱۳۸۹ Gorgan, Golestan, 2010	تاریخ کاشت Planting date	Faraji, 2016
گرگان، گلستان، ۱۳۸۹ Gorgan, Golestan, 2010	باکتری‌های تحریک‌کننده رشد Growth stimulating bacteria	Faraji, 2013
گرگان، گلستان، ۱۳۸۶ Gorgan, Golestan, 2005	ژنوتیپ Genotype	Langrudi et al., 2007
نکا، مازندران، ۱۳۸۷ Neka, Mazandaran, 2008	مقدار بذر Seed quantity	Sina & Ramie, 2011
خرم‌آباد، لرستان، ۱۳۸۷ Khoramabad, Lorestan, 2008	کود ریز مغذی Micronutrients	Azizi et al., 2011
میاندوآب، آذربایجان غربی، ۱۳۸۳ Miandoab, West Azarbaijan, 2004	ژنوتیپ Genotype	Akhondi et al., 2009
اسلام‌آباد، کرمانشاه، ۱۳۸۸ Eslamabad, Kermanshah, 2009	ژنوتیپ Genotype	Jafari et al., 2014
اسلام‌آباد، کرمانشاه، ۱۳۹۲ Eslamabad, Kermanshah, 2009	تاریخ کاشت Planting date	Zarei Siahbidi & Rezai Zad, 2013
آزمایشات مورد استفاده برای تعیین مقدار تبخیر و تعرق Experiments used for Water requirement		
فارس، شیراز، ۱۳۸۷ Fars, Shiraz, 2008	تنش خشکی Drought stress	Henr et al., 2013
قزوین، قزوین، ۱۳۸۵ Qazvin, Qazvin, 2009	تبخیر تعرق پتانسیل Determination of evapotranspiration potential	Ebrahimi pak, 2009
کرمانشاه، کرمانشاه، ۱۳۹۳ Kermansha, Kermansha, 2014	تعیین تبخیر و تعرق Determination of evapotranspiration	Ghamarniya, 2016
ارومیه، آذربایجان غربی، ۱۳۸۳ West Azerbaijan, orumie, 2004	میزان آب مورد نیاز Water requirements	Razavi, 2010
حاجی‌آباد، هرمزگان، ۱۳۸۴ Hormozgan, Hajiabadm, 2005	میزان آب مورد نیاز Water requirements	Moradi, 2005
گنبد، گلستان، ۱۳۸۴ Golestan, Gorgan, 2005	آبیاری، تاریخ کاشت Irrigation & date	Faraji, 2005

ساختار مدل SSM-iCrop

شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه کلزا را بر اساس داده‌های هواشناسی روزانه (جدول ۲)، ویژگی‌های خاک (جدول ۲)، مدیریت زراعی (جدول ۲)، و پارامترهای گیاهی (جدول ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) انجام می‌دهد.

از مدل SSM-iCrop برای شبیه‌سازی مراحل رشد، نمو و عملکرد محصولات زراعی مختلف در شرایط متفاوت استفاده می‌شود (Soltani, 2012). این مدل رشد، نمو و عملکرد را با استفاده از زیر مدل‌های فنولوژی، گسترش و پیری برگ، تولید و توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک محاسبه می‌کند. این مدل

جدول ۲- داده‌های مورد نیاز هواشناسی و ورودی‌های مدیریت محصول برای اجرای مدل SSM-iCrop
Table 2- Required weather, soil and crop management input to run SSM-iCrop

واحد Unit	اختصار Abbreviation	پارامتر Parameter
		داده‌های هواشناسی Wheatear data
°C	TMAX	حداکثر دمای روزانه Maximum daily temperature
°C	TMIN	حداقل دمای روزانه Minimum daily temperature
MJ.m ⁻² .d ⁻¹	SRAD	تشعشع خورشیدی Solar radiation
mm	RAIN	بارندگی روزانه Daily rainfall
		ویژگی‌های خاک Soil Attributes
-	SALB	آلبدوی خاک Soil albedo
-	DRAINF	ضریب زهکشی عمق خاک Drainage factor
mm.mm ⁻¹	IDUL	کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم Volumetric soil water content at drained upper limit
mm.mm ⁻¹	ILL	کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه ظرفیت زراعی Volumetric soil water content at crop lower limit
mm.mm ⁻¹	ISAT	کسر حجمی رطوبت خاک در نقطه اشباع Volumetric soil water content at saturation
mm.mm ⁻¹	EXTR	حجم آب خاک در دسترس قابل استخراج برای ریشه‌ها Volumetric soil water content available for extraction by crop roots
-	CN	شماره منحنی خاک Curve number
mm	SOL DEP	عمق خاک Soil depth
		مدیریت زراعی Crop management
Day	PDOY	تاریخ کاشت Planting data
mm	ISW	رطوبت خاک در زمان کاشت Initial soil water at sowing time
-	IRGLVL	کسر آب قابل تعرق خاک برای انجام آبیاری Irrigation threshold level

فنولوژی

فنولوژی بر اساس مفهوم واحد دمایی تعدیل شده بر اساس مقدار رطوبت خاک پیش‌بینی می‌شود (Soltani et al., 1999; Soltani & Sinclair, 2011, 2012). مدل مراحل سبز شدن، شروع پیر شدن دانه‌ها، پایان پیر شدن دانه‌ها، شروع پیر شدن برگ‌ها و رسیدگی را پیش‌بینی می‌کند. مدل، واکنش سرعت نسبی نمو به میانگین دمای روزانه را با استفاده از یک تابع دندان‌مانند^۱ توصیف می‌کند. پارامترهای مورد نیاز در این تابع شامل TBD: دمای پایه^۲، TP1D: دمای مطلوب تحتانی^۳، TP2D: دمای مطلوب فوقانی^۴ و TCD: دمای سقف^۵ می‌باشد. گیاهان برای رسیدن به هر یک از مراحل نیاز به مقادیر مشخصی از واحد دمایی تجمعی دارند که این مقادیر به‌عنوان پارامترهای ورودی زیرمدل SSM-iCrop جهت مدل‌سازی مراحل فنولوژیک گیاهان محسوب می‌شوند.

تغییرات سطح برگ

برای محاسبه تغییرات سطح برگ از روشی که در مدل EPIC و ALMANAC به کار گرفته شده استفاده شد (Soltani, 2009; Williams et al., 1989; Kiniry et al., 1992). در این روش فرض بر آن است که دما مهم‌ترین عامل محدود سازنده گسترش سطح برگ است و گسترش سطح برگ به‌طور غیرمستقیم از طریق مرحله نمو نسبی که خود تحت کنترل واحد دمایی است، به دما ربط داده می‌شود. همچنین پیر شدن و کاهش سطح برگ به‌طور ساده به مرحله نمو ارتباط داده می‌شود. با شروع رشد دانه‌ها مرحله پیر شدن سطح برگ شروع شده و شاخص سطح برگ به‌طور خطی کاهش می‌یابد و در رسیدگی برداشت به صفر می‌رسد. بدین ترتیب، در مرحله پیر شدن دانه‌ها چنانچه دما بالاتر باشد، پیر شدن دانه‌ها سریع‌تر رخ داده و رسیدگی زودتر اتفاق می‌افتد و در نتیجه، شاخص سطح برگ نیز زودتر کاهش پیدا می‌کند.

تولید و توزیع ماده خشک

در این مدل تولید ماده خشک با روش ساده مبتنی بر کارایی استفاده از تشعشع (RUE^۶) پیش‌بینی می‌شود. کسر دریافت نور در هر روز از شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نور (K برای PAR) بر اساس قانون بیر-بوگر-لامبرت در مدل محاسبه می‌شود (Sinclair, 2006).

کسری از نور رسیده به بالای کانوپی گیاه که توسط آن دریافت می‌شود، کسر دریافت نور (FINT) نامیده می‌شود. به‌طور کلی، کسر دریافت نور تحت تأثیر شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی (K) می‌باشد. در معادله ۱ رابطه بین FINT با شاخص سطح برگ و ضریب خاموشی نشان داده شده است.

$$\text{معادله (۱)} \quad \text{FINT} = 1 - \exp(-k \times \text{LAI})$$

در این معادله، FINT: کسری از نور رسیده به بالای کانوپی گیاه که توسط آن دریافت می‌شود، K: ضریب خاموشی و LAI شاخص سطح برگ است.

بین مقدار نور دریافت شده و ماده خشک تولید شده در گیاه یک رابطه خطی وجود دارد. شیب این خط به‌عنوان کارایی استفاده از تشعشع (RUE) شناخته می‌شود (معادله ۲). با استفاده از مقدار شاخص سطح برگ روزانه و با استفاده از ضریب خاموشی برای گیاه (K)، به‌عنوان یکی از پارامترهای ورودی مدل SSM-iCrop، و با استفاده از رابطه موجود در معادله ۱، مقدار کسر دریافت تشعشع روزانه محاسبه می‌شود. در مدل SSM-iCrop با استفاده از مقدار تشعشع دریافتی تجمعی محاسبه شده با معادله ۱ و پارامتر RUE و با استفاده از معادله ۲، مقدار ماده خشک محاسبه می‌شود.

$$\text{معادله (۲)} \quad \text{CDM} = \text{RUE} \times \text{CPAR}$$

در این معادله، CDM: ماده خشک تجمعی، CPAR: مقدار تشعشع دریافتی تجمعی و RUE: کارایی استفاده از تشعشع می‌باشد. تشکیل دانه بر اساس مفهوم افزایش خطی شاخص برداشت محاسبه می‌شود (Soltani & Sinclair, 2012). ابتدا مقدار بالقوه افزایش شاخص برداشت به‌ازای هر واحد دمایی در طول دوره پیر شدن (PDHI) به‌صورت $\text{Hmax} / \text{tuHAR}$ تقسیم بر واحد دمایی دوره پیر شدن دانه ($\text{tuHAR} \times (\text{frTSG} - \text{frBSG})$) به‌دست می‌آید. frTTG به‌ترتیب واحد دمایی از کاشت تا رسیدگی برداشت، واحد حرارتی از کاشت تا شروع رشد دانه و واحد حرارتی از کاشت تا پایان رشد دانه می‌باشند. در طول دوره پیر شدن میزان افزایش شاخص برداشت در هر روز (DHI) به‌صورت حاصل ضرب PDHI و واحد دمایی در آن روز (DTU) محاسبه می‌شود. میزان افزایش ماده خشک دانه از تولید جاری یا انتقال مجدد به‌صورت حاصل ضرب DHI و ماده خشک کل محاسبه می‌شود.

موازنه آب خاک

این مدل می‌تواند تعادل آب خاک و اثرات کمبود آب خاک را بر رشد و نمو محصول شبیه‌سازی کند. مقدار آب قابل دسترس برای گیاه تحت تأثیر عمق ریشه و به تبع آن حجم خاکی است که ریشه در طول فصل رشد به آن دسترسی دارد. در مدل SSM برای انجام

- 1- Dent-link
- 2- Base Temperature for Development
- 3- Lower Optimum Temperature for Development
- 4- Upper Optimum Temperature for Development
- 5- Ceiling Temperature for Development
- 6- Radiation use efficiency

(Taylor, 1972) اصلاح شده توسط ریچی (Ritchie, 1998) محاسبه می‌شود. در این روش ابتدا تبخیر و تعرق معادل (EEQ) از آلبدو (ALBEDO) سطح (خاک و گیاه زراعی)، میانگین دمای هوا در طی روز (TD) و تشعشع خورشیدی روزانه (SRAD) به‌دست می‌آید:

معادله (۶)

$$EEQ = SRAD \times (0.004876 - 0.004374 \times ALBEDO) \times (TD + 29)$$

میانگین دمای هوا از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن وزن بیشتری به حداکثر دمای روزانه داده شده است.

$$TD = 0.6 \times TMAX + 0.4 \times TMIN \quad \text{معادله (۷)}$$

آلبدوی سطح (ALBEDO) بستگی به بخشی از سطح مزرعه که توسط گیاه زراعی یا خاک پوشیده شده، دارد و به آلبدوی گیاه زراعی (CALB) یا خاک (SALB) نیز وابسته است:

معادله (۸)

$$ALBEDO = CALB \times (1 - \exp(-KET \times ETLAI)) + SALB \times (\exp(-KET \times ETLAI))$$

بر اساس معادلات بالا برای مزرعه‌ای بدون پوشش گیاه زراعی، ALBEDO برابر با آلبدوی خاک (SALB) خواهد بود، ولی با افزایش ALBEDO، ETLAI افزایش می‌یابد و با پوشش کامل زمین با گیاه، آلبدو برابر آلبدوی گیاه (CALB) خواهد بود.

بعد از تخمین EEQ تبخیر تعرق بالقوه (PET) بسته به شرایط طی روز به‌دست می‌آید:

$$PET = EEQ \times 1.1 \quad \text{معادله (۹)}$$

$$\text{if } 5 \leq TMAX \leq 34$$

$$PET = EEQ \times ((TMAX - 34) \times 0.05 + 1.1)$$

$$\text{if } TMAX > 34$$

$$PET = EEQ \times 0.01 \times \exp(0.18 \times (TMAX + 20))$$

$$\text{if } TMAX < 5$$

در این معادله، TMAX: حداکثر دمای روزانه می‌باشد. در شرایطی که حداکثر دمای هوا کمتر از پنج درجه سانتی‌گراد باشد به دلیل احتمال وقوع یخبندان PET کمتری محاسبه می‌گردد و برعکس، در شرایطی که حداکثر دمای هوا بالاتر از ۳۴ درجه سانتی‌گراد باشد، به دلیل احتمال وقوع انتقال افقی گرما، PET کوچک‌تری محاسبه می‌شود.

تبخیر بالقوه از سطح خاک (EOS) یعنی تبخیر از خاک کاملاً مرطوب، با ضرب PET در کسری از سطح خاک که توسط گیاه پوشیده نشده است، به‌دست می‌آید:

معادله (۱۰)

$$EOS = PET \times \exp(-KET \times ETLAI)$$

عبارت نمایی در سمت راست معادله، کسری از زمین که توسط

محاسبات موازنه آب خاک، خاک به‌صورت دو لایه در نظر گرفته شده است: یک لایه فوقانی با ضخامت ۲۰ سانتی‌متر و یک لایه دوم که شامل لایه اول نیز می‌باشد و برابر با عمق مؤثر استخراج آب^۷ است (MEED). مقدار این پارامتر برابر با ۱۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. عمق لایه دوم با شروع رشد ریشه افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد. عمق خاک در زمان سبز شدن برابر ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. پس از مرحله سبز شدن به‌ازای هر واحد دمایی، به‌مقداری که جزء پارامترهای گیاهی محسوب می‌شود، بر عمق ریشه افزوده می‌شود. عمق نهایی قابل دسترس برای ریشه می‌تواند بر اساس مرحله فنولوژیک، عمق نفوذ ریشه، عمق خاک و یا موانع فیزیکی و شیمیایی موجود در خاک برای رشد ریشه تعیین شود (Soltani & Sinclair, 2011). در این مدل مقدار آب قابل دسترس برای گیاه و کسر آب قابل تعرق روزانه برای گیاه با استفاده از معادلات ۳ تا ۵ به‌دست می‌آید:

$$ESW_i = ESW_{i-1} + I - ES - TR - D \quad \text{معادله (۳)}$$

$$ATSW_i = ATSW_i + I + EWAT - ES - TR - D$$

معادله (۴)

$$FTSW_i = ATSW_i / TTSW \quad \text{معادله (۵)}$$

در این معادله‌ها، ESW: مقدار آب قابل دسترس در لایه اول، ATSW: مقدار آب قابل دسترس در لایه دوم، FTSW: کسر آب قابل تعرق خاک، I: مقدار آب نفوذ کرده به خاک در اثر بارندگی (پس از کسر رواناب) یا آبیاری، ES: تبخیر از سطح خاک، TR1: مقدار آب تعرق یافته که از لایه اول جذب شده است، D: مقدار زهکشی، EWAT: مقدار آبی که در اثر افزایش عمق مؤثر استخراج آب یعنی نفوذ ریشه به لایه‌های زیرین، قابل دسترس شده است، TR: مقدار آب تعرق یافته، TTSW: کل آب قابل تعرق خاک (بالحقوه). به‌جز FTSW که فاقد واحد است، سایر اجزای معادلات ۱ تا ۳ دارای واحد میلی‌متر هستند. TTSW را می‌توان با ضرب کردن عمق مؤثر استخراج آب و کسر حجمی آب قابل استخراج خاک به‌دست آورد. کسر حجمی آب قابل استخراج خاک در خاک‌های زراعی عموماً برابر ۰/۱۳ متر بر متر می‌باشد (Soltani, 2009).

تبخیر از سطح خاک

در مدل SSM برای محاسبه تبخیر تعرق ابتدا تبخیر و تعرق بالقوه (PET: میلی‌متر در روز) محاسبه شده و سپس تبخیر بالقوه از سطح خاک (EOS: میلی‌متر در روز) و سرانجام تبخیر واقعی از سطح خاک (SEVP: میلی‌متر در روز) محاسبه می‌شود. تبخیر تعرق بالقوه با روش پرستیلی و تیلور (Priestley &

(Torabi, 2009) و سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012) مراجعه شود.

بهره‌وری آب

مقدار بهره‌وری آب (WP) از تقسیم مقدار عملکرد بر مقدار تبخیر و تعرق گیاه زراعی در طی فصل رشد (ET) محاسبه شد.
معادله (۱۴) $WP = Y / ET$

اطلاعات آب و هوا

اطلاعات مربوط به آب و هوا شامل مقادیر روزانه تشعشع رسیده (SRAD, MJ m⁻² d⁻¹), دمای حداکثر (TMAX, °C), دمای حداقل (Tmin, °C), متوسط دما (TEMP, °C) و بارندگی (PR, mm) از مرکز اطلاعات و آمار سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید.

اطلاعات خاک

اطلاعات مربوط به خاک از نقشه خاک Harvest Choice استخراج شد (Koo & Dimes, 2010). اطلاعات خاک مورد نیاز برای مدل در جدول ۱ آورده شده است.

پارامتریابی

پارامتریابی مدل SSM-iCrop با استفاده از بررسی منابع و پژوهش‌هایی که قبلاً انجام گرفته است، صورت پذیرفت (لیست مقالات استفاده شده در پارامتریابی در جدول ۱ آورده شده است). پارامتریابی عبارتست از تعیین پارامترها و ضرایب مدل برای منطقه مورد مطالعه به منظور تصحیح مراحل فنولوژی و عملکرد. جهت انجام پارامتریابی از رنج وسیعی از تاریخ کاشت و سال‌های مختلف استفاده شد. بدین ترتیب از داده‌های آزمایش‌های مزرعه‌ای استخراج شده از پایان‌نامه‌ها و مقالات چاپ شده توسط سایر محققین در استان‌های مهم تولیدکننده کلزا بر اساس روش پارامتریابی سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012) عمل گردید. اطلاعات مورد نیاز جهت پارامتریابی شامل تاریخ کاشت، روز تا رسیدگی، حداکثر عملکرد دانه، حداکثر شاخص سطح برگ مورد انتظار، میزان کارایی مصرف نور بر حسب تشعشع فعال فتوسنتزی، شاخص برداشت و میزان رطوبت دانه در زمان برداشت بود. بعد از اجرای مدل، تنظیم پارامترها و ضرایب برای تعیین نتایج درست، و تکرار تنظیمات برای دستیابی به نتایج مورد نظر انجام گرفت. برای بررسی درستی پیش‌بینی روز تا رسیدگی و عملکرد توسط مدل، مقادیر مشاهده شده این صفات در مقابل مقادیر شبیه‌سازی شده آن‌ها در نمودار ۱:۱ ترسیم شد. برای صفت روز تا رسیدگی با تغییر در مقدار tuHAR (واحد حرارتی برای

گیاه پوشیده نشده است را نشان می‌دهد، KET: ضریب خاموشی برای کل تشعشع خورشیدی (و نه PAR) (معادل ۰/۵) و ETLAI: عبارت از شاخص سطح برگ مؤثر در تبخیر هستند.

تبخیر حقیقی از سطح خاک (SEVP) بر مبنای مدل ساده شده دو مرحله‌ای تبخیر است (Soltani & Sinclair, 2012). در مرحله اول، تبخیر از سطح خاک توسط انرژی قابل دسترس محدود می‌شود و زمانی اتفاق می‌افتد که لایه اول خاک مرطوب باشد، یعنی اولین روز پس از مرطوب شدن سطح خاک با بارندگی یا آبیاری بیش از ۱۰ میلی‌متر. در این شرایط مقدار SEVP مساوی با EOS قرار داده می‌شود. مرحله دوم، در زمانی اتفاق می‌افتد که لایه اول خشک باشد ($ATSW1 \leq 1$) یا از مرطوب شدن سطح خاک بیش از یک روز گذشته باشد، یا کسر آب قابل دسترس در لایه مؤثر ریشه کمتر از ۰/۵ باشد ($ATSW1 \leq 5$). در این مرحله، هر چه زمان پیشرفت کند، تبخیر حقیقی از سطح خاک کمتر می‌شود.

معادله (۱۱)

$$\begin{aligned} SEVP &= EOS & \text{Stage I} \\ SEVP &= EOS \times [(DYSE + 1)0.5 - DYSE0.5] & \text{Stage II} \end{aligned}$$

در این معادله، DYSE: تعداد روز از شروع مرحله دوم است.

تعرق از گیاه

تعرق روزانه از گیاه (TR؛ میلی‌متر در روز) بر اساس پیوستگی بین تعرق و تولید ماده خشک روزانه (DDMP) محاسبه می‌شود. این پیوستگی توسط تنر و همکاران (Tanner, 1983) به‌طور کامل توضیح داده شده است. بر این اساس، مقدار تعرق روزانه متناسب با مقدار ماده خشک روزانه (حاصل فتوسنتز که از طریق روزنه‌ها رخ می‌دهد، یعنی همان مسیری که تعرق از آن روی می‌دهد) است که درجه خشکی هوا (VPD: کمبود فشار بخار اشباع بر حسب کیلوپاسکال) و ویژگی‌های گیاه از طریق ضریب کارایی تعرق (TEC؛ کیلوپاسکال) نیز اثرگذار هستند:

$$TR = (DDMP \times VPD) / TEC \quad \text{معادله (۱۲)}$$

TEC عمدتاً به مسیر فتوسنتزی (C_3 یا C_4) و نیز کیفیت بیوشیمیایی بافت گیاه بستگی دارد و یک پارامتر گیاهی ورودی مدل است. کمبود فشار بخار اشباع (VPD) به‌صورتی کسری (VPDF) از اختلاف بین فشار بخار اشباع در دمای حداکثر روزانه (VPTMAX) و دمای روزانه (VPTMIN) به‌دست می‌آید:

$$VPD = VPDF (VPTMAX - VPTMIN)$$

مقدار VPDF عموماً برابر ۰/۷۵ می‌باشد، ولی در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب به ۰/۶۵ قابل کاهش است.

برای توضیحات بیشتر در ارتباط با روش‌های برآورد پارامترهای گیاهی به سلطانی (Soltani, 2009)، سلطانی و ترابی (Soltani ana

نتایج

فنولوژی

پارامتریایی مدل SSM-iCrop برای کلزا بر اساس مناطق و ارقام مختلف تعیین شد و در نهایت، در مدل سه گونه یا رقم زودرس، متوسط رس و دیررس با واحد دمایی به‌ترتیب ۲۰۰۰، ۲۵۰۰ و ۲۷۰۰ درجه روز رشد (GDD) برای کل دوره رشد تعریف شدند. بر اساس نتایج پارامتریایی دمای کاردینال کلزا شامل TBD (دمای پایه برای نمو)، TP1D (دمای مطلوب تحتانی برای نمو)، TP2D (دمای مطلوب فوقانی برای نمو) و TCD (دمای سقف برای نمو) به‌ترتیب 0°C ، 25°C ، 28°C و 40°C می‌باشد (Soltani, 2009). همچنین واحد دمایی برای هر یک از مراحل فنولوژیکی شامل tuEMR (واحد حرارتی برای سبز شدن)، tuBSG (واحد حرارتی برای شروع پر شدن دانه)، tuBLS (واحد حرارتی برای شروع پیر شدن برگ)، tuTSG (واحد حرارتی برای پایان پر شدن دانه) و tuHAR (واحد حرارتی برای رسیدگی برداشت) برای ارقام زودرس به‌ترتیب ۱۶۰، ۱۲۰۰، ۱۲۰۰، ۱۸۰۰ و ۲۰۰۰، برای ارقام متوسط رس به‌ترتیب ۲۰۰، ۱۵۰۰، ۱۵۰۰، ۲۲۵۰ و ۲۵۰۰ و برای ارقام دیررس به‌ترتیب ۲۱۶، ۱۶۲۰، ۱۶۲۰، ۲۴۳۰ و ۲۷۰۰ درجه روز رشد (GDD) برآورد شد (جدول ۳). هر یک از متغیرهای tuEMR، tuBSG، tuBLS، tuTSG، tuHAR، کسری از واحد حرارتی برای رسیدگی برداشت هستند که بر اساس ضرایب مربوط به گیاه کلزا محاسبه می‌شوند (Soltani, 2009). لازم به ذکر است که ضرایب مربوط به متغیرهای tuBSG و tuBLS یکسان می‌باشد. این بدین معناست که مرحله شروع پیر شدن برگ‌ها همزمان با مرحله شروع پر شدن دانه آغاز می‌گردد. با توجه به شکل ۳ نتایج نهایی پارامتریایی برای گیاه کلزا نشان می‌دهد که مدل SSM-iCrop صفت روز تا رسیدگی را با مقدار $r=0.90$ و $\text{RMSE}=17/5$ (day) و $\text{CV}=7/38$ پیش‌بینی نموده است. این نتیجه بدین معنی که فنولوژی شبیه‌سازی شده توسط مدل دقیق بوده است.

رسیدگی برداشت و برای صفت عملکرد با تغییر در مقادیر LAIMX (حداکثر شاخص سطح برگ) و RUE (کارایی استفاده از تشعشع) توانستیم تنظیمات لازم برای برآورد مناسب مدل را فراهم آوریم. لازم به ذکر است که مدل SSM-iCrop عملکرد دانه را بر حسب وزن خشک شبیه‌سازی می‌نماید. عملکرد گزارش شده در پژوهش‌های مورد استفاده بر حسب وزن تر است. بنابراین، برای اضافه کردن رطوبت (رطوبت ثبت شده برای دانه‌های کلزا در زمان برداشت ۱۰٪ می‌باشد)، عملکرد ماده خشک با 0.9 ضرب شد.

ارزیابی

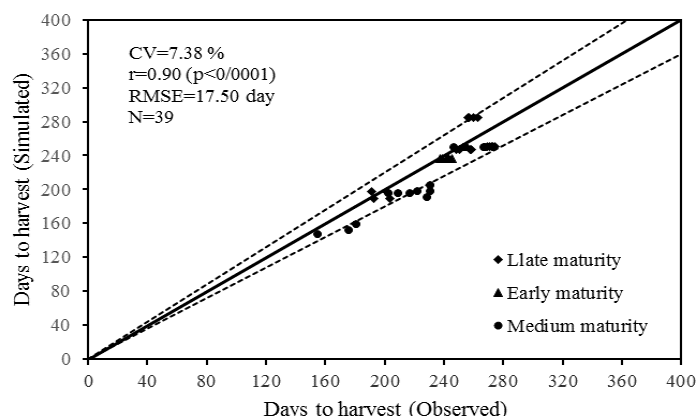
پس از پارامتریایی مدل، به‌منظور ارزیابی مستقل مدل، با استفاده از مقالاتی که از آن‌ها برای برآورد پارامتر استفاده نشده بود، اطلاعات مورد نیاز استخراج شد و بر اساس تاریخ کاشت و مدیریت منطقه مورد نظر و همچنین آمار هواشناسی آن مناطق مدل اجرا گردید تا درستی و صحت‌سنجی مدل صورت گیرد (جدول ۱). برای ارزیابی مدل از سه شاخص ضریب تغییر (CV)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum (O_i - P_i)^2}{n-1}} \quad \text{معادله (۱۵)}$$

$$\text{CV} = \frac{\text{RMSE}}{\bar{O}} \times 100 \quad \text{معادله (۱۶)}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad \text{معادله (۱۷)}$$

که در این معادلات، O_i و Y_{pi} : به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده متغیرهاست و n : تعداد مشاهدات می‌باشد. RMSE: به‌صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود، کم بودن میزان خطا (RMSE) و ضریب تغییرات (CV) و بالا بودن ضریب همبستگی (r) بیانگر دقت قابل قبول مدل خواهد بود.



شکل ۳- روز تا رسیدگی مشاهده شده در مقابل شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop بر اساس داده‌های استفاده شده در پارامتریابی مدل
 Fig. 3- Simulated versus measured days to harvest by SSM-iCrop model based on data used in model parameterization

جدول ۳- برآورد پارامترهای فنولوژیکی برای ارقام زودرس، متوسط رس و دیررس
 Table 3- Estimation of phenological parameters for early, Medium and late maturity cultivars

تعریف پارامترهای فنولوژی Definition of phenological parameters	اختصار Abbreviation	ارقام زودرس Early maturity	ارقام متوسط‌رس Medium maturity	ارقام دیر رس Late maturity	رفرنس References
دمای پایه برای نمو (درجه سانتی‌گراد) Base temperature for development (°C)	TBD	0	0	0	Soltani, 2009
دمای مطلوب تحتانی برای نمو (درجه سانتی‌گراد) Lower optimum temperature for development (°C)	TP1D	25	25	25	Soltani, 2009
دمای مطلوب فوقانی برای نمو (درجه سانتی‌گراد) Upper optimum temperature for development (°C)	TP2D	28	28	28	Soltani, 2009
دمای سقف برای نمو (درجه سانتی‌گراد) Ceiling temperature for development (°C)	TCD	40	40	40	Soltani, 2009
واحد حرارتی برای سبز شدن (درجه سانتی‌گراد روز) Temperature unit for emergence (°C)	tuEMR	160	200	216	Soltani, 2009
واحد حرارتی برای شروع پر شدن دانه (درجه سانتی‌گراد روز) Temperature unit for beginning of tuber growth (°C)	tuBSG	1200	1500	1620	Soltani, 2009
واحد حرارتی برای پایان پر شدن دانه (درجه سانتی‌گراد روز) Temperature unit for termination of tuber growth (°C)	tuTSG	1800	2250	2430	Soltani, 2009
واحد حرارتی برای رسیدگی برداشت (درجه سانتی‌گراد روز) Temperature unit for beginning leaf senescence (°C)	tuHAR	2000	2500	2700	Soltani, 2009
واحد حرارتی برای شروع پیر شدن برگ (درجه سانتی‌گراد روز) Temperature unit for harvest (°C)	tuBLS	1200	1500	1620	Soltani, 2009

۳-۲- توسعه سطح برگ

پارامترهای مورد نیاز برای این بخش از مدل شامل $RLAI_1$ (شاخص سطح برگ در زمان سبز شدن)، $frEMR$ (واحد دمایی از کاشت تا سبز شدن بر حسب درجه سانتی گراد روز)، $RLAI_2$ (شاخص سطح برگ در مرحله نمو نسبی که در آن گیاه به ۹۶ درصد از حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد)، $frEMR$ (واحد دمایی از کاشت تا سبز شدن)، $frMLAI$ (واحد دمایی از کاشت تا مرحله نمو نسبی که در آن گیاه به ۹۶ درصد از حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد بر حسب درجه سانتی گراد روز) و $SRATE$ (ضریب سرعت زوال برگ) به ترتیب برابر $۰/۲۲$ ، $۰/۴$ ، $۰/۹۹$ ، $۰/۶۵$ و ۱ تخمین زده شد.

مقدار $LAIMX$ (حداکثر شاخص سطح برگ) برای ارقام زودرس، متوسط رس و دیررس به ترتیب برابر $۲/۲$ ، $۲/۳$ و ۵ برآورد شد. پارامترهای مربوط به تأثیر دماهای نامناسب برای توسعه برگ‌ها شامل $FrzTh$ (آستانه حداقل دما / دمایی که باعث انجماد و مرگ برگ می‌شود) و $HeatTh$ (آستانه حداکثر دما برای پیری برگ) و همچنین مقدار تأثیر این دماها شامل $FrzLDR$ (سرعت زوال برگ نسبت به هر درجه از دمای زیر آستانه دمای حداقل / انجماد)، و $HtLDR$ (سرعت افزایش پیری برگ نسبت به هر درجه بالاتر از دمای آستانه) برای کلزا به ترتیب برابر $۱۰-^{\circ}C$ ، $۳۰^{\circ}C$ ، $۰/۰۱$ ، $۰/۱$ $cm^2\ ^{\circ}C^{-1}$ می‌باشد (جدول ۴).

جدول ۴- برآورد پارامترهای توسعه و پیری سطح برگ

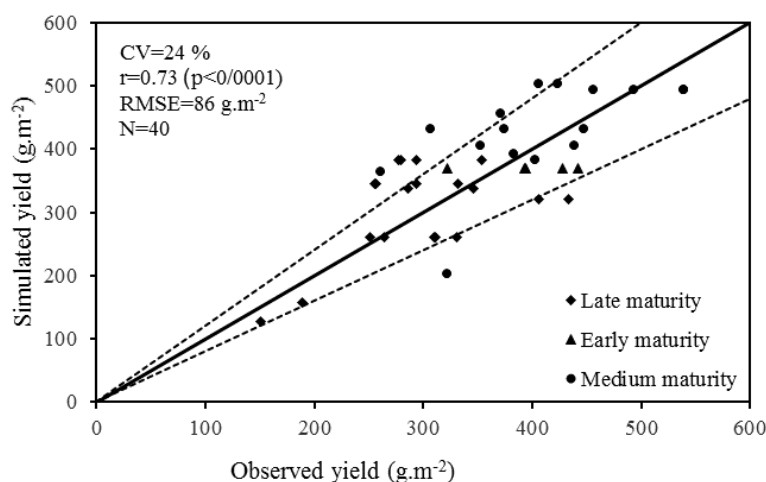
Table 4- Estimation of the parameters of development and senescence leaf

پارامتر Parameter	اختصار Abbreviation	ارزش Values	رفرنس References
شاخص سطح برگ در زمان سبز شدن Relative LAI at emergence stage	$RLAI_1$	0.22	Soltani, 2009
واحد دمایی از کاشت تا سبز شدن (درجه سانتی گراد روز) Fraction of temperature unit from sowing to emergence ($^{\circ}C$)	$frEMR$	0.4	Soltani, 2009
شاخص سطح برگ در مرحله نمو نسبی که در آن گیاه به ۹۶ درصد از حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد Relative LAI from sowing to 96% of maximum LAI	$RLAI_2$	0.99	Soltani, 2009
واحد دمایی در مرحله نمو نسبی که در آن گیاه به ۹۶ درصد از حداکثر شاخص سطح برگ خود می‌رسد (درجه سانتی گراد روز) Fraction of temperature unit from sowing to 96% of maximum LAI ($^{\circ}C$)	$frMLAI$	0.65	Soltani, 2009
حداکثر شاخص سطح برگ Maximum leaf area index		Early maturity=2.2 Medium maturity=3.2 Late maturity=5	
ضریب سرعت زوال برگ Leaf senescence rate coefficient	$SRATE$	1	Soltani, 2009
آستانه حداقل دما / دمایی که باعث انجماد و مرگ برگ می‌شود ($^{\circ}C$) Low temperature/freezing threshold for leaf death ($^{\circ}C$)	$FrzTh$	-10	Table 1
سرعت زوال برگ نسبت به هر درجه از دمای زیر آستانه دمای حداقل / انجماد ($cm^2\ ^{\circ}C^{-1}$) Leaf death rate per $^{\circ}C$ below $FrzTh$ ($cm^2\ ^{\circ}C^{-1}$)	$FrzLDR$	0.01	Table 1
آستانه حداکثر دما برای پیری برگ ($^{\circ}C$) Heat threshold temperature for leaf death ($^{\circ}C$)	$HeatTh$	30	Table 1
سرعت افزایش پیری برگ نسبت به هر درجه بالاتر از دمای آستانه ($cm^2\ ^{\circ}C^{-1}$) Leaf death rate per $^{\circ}C$ above $HeatTh$ ($cm^2\ ^{\circ}C^{-1}$)	$HtLDR$	0.1	Table 1

شد. آستانه شوری برای کلزا (dS.m^{-1}) ۱۱ و کاهش نسبی عملکرد با شوری بالاتر از حد آستانه (dS.m^{-1}) ۱۳ در نظر گرفته شد (جدول ۵). در شکل ۴ نتایج نهایی پارامتریابی برای صفت عملکرد گیاه کلزا ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که مدل SSM-iCrop عملکرد دانه کلزا را با مقدار $r=0.73$ و $\text{RMSE}=86 \text{ (g.m}^{-2}\text{)}$ و $\text{CV}=24\%$ پیش‌بینی نموده است.

تولید و توزیع ماده خشک

در زیر مدل تولید و توزیع ماده خشک پارامترهای مربوط به دمای کاردینال برای تولید ماده خشک شامل To_1RUE ، TbRUE و To_2RUE به ترتیب برابر 0°C ، 10°C ، 25°C ، 35°C برآورد گردید. همچنین مقادیر KPAR و IRUE به ترتیب ۰/۶۵ و $2 \text{ (g.MJ}^{-1}\text{)}$ به دست آمد. پارامترهای توزیع ماده خشک به دانه از جمله Hlmax و Hlmin به ترتیب معادل ۰/۵ و ۰/۲۵ تخمین زده



شکل ۴- عملکرد مشاهده شده در مقابل شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop بر اساس داده‌های استفاده شده در پارامتریابی مدل
Fig. 4- Simulated versus measured yield by SSM-iCrop model based on data used in model parameterization

نمودار ۱:۱ (شکل ۵ و ۶) و آماره‌های $r=0.87$ ، $\text{CV}=18\%$ (درصد) و $\text{RMSE}=67.04 \text{ (g.m}^{-2}\text{)}$ برای عملکرد دانه و $r=0.97$ ، $\text{CV}=5\%$ (درصد) و $\text{RMSE}=10.68$ (روز) برای روز تا رسیدگی، می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی کلزا با استفاده از مدل SSM-iCrop رضایت‌بخش بوده است و نشان‌دهنده برآورد صحیح پارامترهای مدل و تصدیق‌کننده کارایی مدل در پیش‌بینی عملکرد کلزا در شرایط آب و هوایی مناطق مهم تولیدکننده کلزا در ایران می‌باشد.

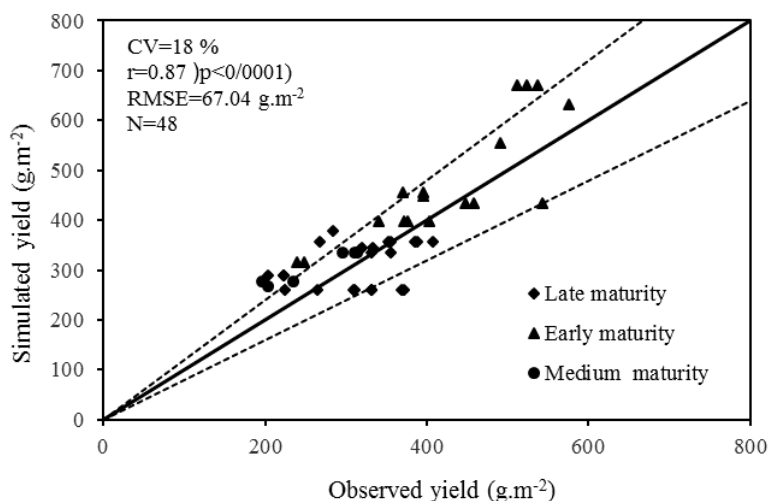
ارزیابی مدل

در این مرحله به منظور اطمینان از کارایی مدل، داده‌های روز تا رسیدگی و عملکرد شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده آن‌ها در آزمایش‌های میدانی (جدول ۱) مورد ارزیابی قرار گرفت. میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده برای روز تا رسیدگی و عملکرد به ترتیب برابر ۲۲۲ (روز) و ۳۸۳ (گرم بر مترمربع) به دست آمده و میانگین داده‌های مشاهده شده برای روز تا رسیدگی و عملکرد به ترتیب برابر ۲۲۳ (روز) و ۳۵۹ (گرم بر مترمربع) بوده است. همچنین با توجه

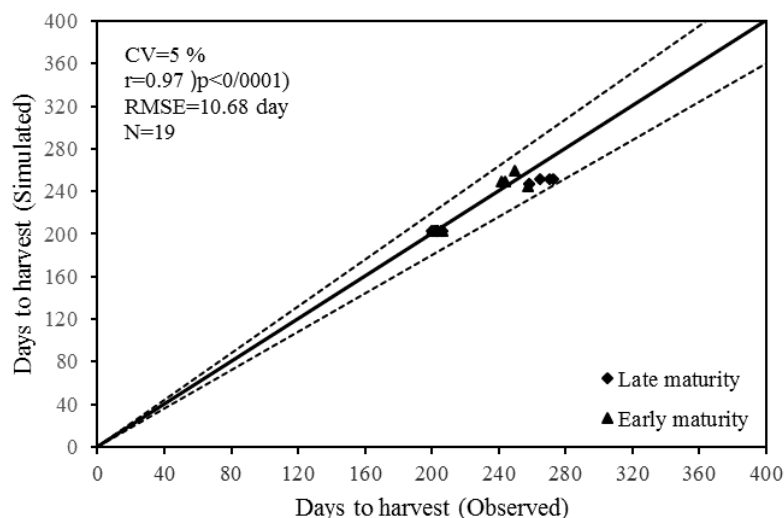
جدول ۵- برآورد پارامترهای تولید و توزیع ماده خشک

Table 5- Estimation of the parameters of dry matter production and partitioning

پارامتر References	اختصار Abbreviation	ارزش Values	دفرنس Parameter
دمای پایه برای تولید ماده خشک (°C) Base temperature for dry matter production (°C)	TBRUE	0	Soltani, 2009
دمای مطلوب تحتانی برای تولید ماده خشک (°C) Lower optimum temperature for dry matter production (°C)	TP1RUE	10	Soltani, 2009
دمای مطلوب فوقانی برای تولید ماده خشک (°C) Upper optimum temperature for dry matter production (°C)	TP2RUE	25	Soltani, 2009
دمای سقف برای تولید ماده خشک (°C) Ceiling temperature for dry matter production (°C)	TCRUE	35	Soltani, 2009
ضریب خاموشی PAR Extinction coefficient for photosynthetically active radiation	KPAR	0.65	Soltani, 2009
کارایی استفاده از تشعشع فعال فتوسنتزی در شرایط بهینه رشد (g.MJ ⁻¹) Radiation use efficiency under optimal growth conditions (g.MJ ⁻¹)	IRUE	2	Soltani, 2009
حداکثر شاخص برداشت Maximum harvest index/linear increase in harvest index	HI _{max}	0.5	Table 1
حداقل شاخص برداشت Minimum harvest index	HI _{min}	0.25	Table 1
آستانه شوری برای عملکرد (dS.m ⁻¹) Salinity threshold for yield (dS.m ⁻¹)	SaltTh	11	Table 2
کاهش نسبی عملکرد با شوری بالاتر از آستانه (dS.m ⁻¹) Slope of yield decrease per dS.m ⁻¹ above SaltTh	SaltSlope	13	Table 3



شکل ۵- عملکرد مشاهده شده در مقابل عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop بر اساس داده‌های استفاده شده در ارزیابی مدل
fig. 5- Simulated versus measured yield by SSM-iCrop model based on data used in model evaluation



شکل ۶- روز تا رسیدگی مشاهده شده در مقابل شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop بر اساس داده‌های استفاده شده در ارزیابی مدل
 fig. 6- Simulated versus measured days to harvest by SSM-iCrop model based on data used in model evaluation

نیاز آبی

مقادیر پارامترهای به‌دست آمده در این مرحله به‌طور کامل در جدول ۶ آورده شده است.

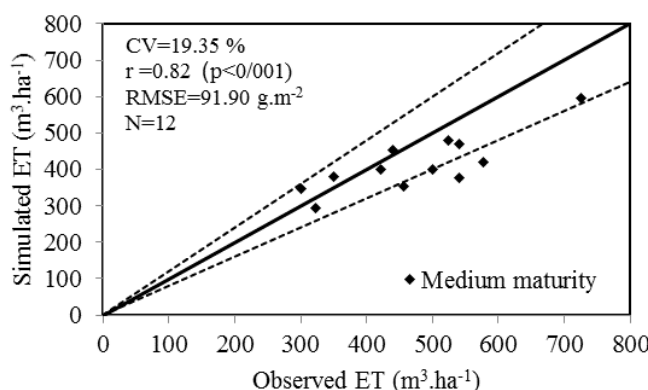
جدول ۶- برآورد پارامترهای گیاهی در کلزا که در موازنه آب خاک استفاده می‌شود.

Table 6- Parameter estimates relating to plant in canola that is used in soil water balance.

تعریف Description	اختصار Abbreviation	ارقام زودرس Early maturity	ارقام متوسط رس Medium maturity	ارقام دیررس Late maturity
عمق اولیه ریشه در زمان سبز شدن Initial depth of roots at emergence (mm)	iDEPOR	200	200	200
واحد حرارتی که در آن رشد ریشه شروع می‌شود Temperature unit for beginning root growth (°C)	tuBRG	160	200	216
واحد حرارتی که در آن رشد ریشه متوقف می‌شود Temperature unit for termination root growth (°C)	tuTRG	1200	1500	1620
حداکثر عمق مؤثر استخراج آب از خاک توسط ریشه Effective depth of water extraction from soil (mm)	MEED	1000	1000	1000
ضریب کارایی تعرق Transpiration efficiency coefficient (Pa)	TEC	4.5	4.5	4.5
کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن تولید کاهش می‌یابد FTSW threshold when dry matter production starts to decline	WSSG	0.3	0.3	0.3
کسر آب قابل دسترس خاک که در کمتر از آن گسترش سطح برگ کاهش می‌یابد FTSW threshold when leaf area development starts to decline	WSSL	0.4	0.4	0.4
ضریب حساسیت نمو و پیر شدن به تنش خشکی A coefficient that specifies acceleration or retardation in development in response to water deficit	WSSD	0.5	0.5	0.5

به‌طور متوسط ۴۷۵ میلی‌متر بر هکتار و مقدار تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده در محدوده ۲۹۵ تا ۶۰۰ و به‌طور متوسط ۴۱۴ میلی‌متر بر هکتار تخمین زده شد. شکل ۷ نمودار ۱:۱ با حدود اطمینان ۲۰ درصد تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد.

به‌منظور ارزیابی مدل در برآورد نیاز آبی، مقادیر تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده در تحقیقات مستقل میدانی انجام شده (جدول ۱) با مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده توسط مدل مورد مقایسه قرار گرفت. میزان تبخیر و تعرق مشاهده شده در دامنه ۳۰۰ تا ۷۲۶ و



شکل ۷- تبخیر و تعرق مشاهده شده در مقابل شبیه‌سازی شده توسط مدل SSM-iCrop
Fig. 7- Simulated versus measured evaporation and transpiration by SSM-iCrop model

2002). CV کمتر از این مقادیر به‌دلیل (الف) وجود خطاهای ذاتی در آزمایش‌ها و (ب) وجود خطا در تخمین پارامترهای ورودی به‌سختی به‌دست می‌آید (Soltani & Sinclair, 2011).

نتایج حاصل از پارامتریابی و ارزیابی مدل برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا با نتایج گزارش شده توسط امیری و همکاران (Amiri et al., 2018) هم‌خوانی داشت. همچنین پیش‌بینی‌ها با نتایج به‌دست آمده در سایر مطالعات برای گیاه کلزا با استفاده از مدل CropSyst (Honar et al., 2012) و AquaCrop (Mousavizadeh et al., 2014; 2016) (Arvaneh & Abbasi, 2014) مشابه بود.

مطالعات متعددی جهت پارامتریابی و ارزیابی مدل SSM-iCrop انجام شده است. نه‌بندانی و همکاران (Nehbandani et al., 2015) برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد سویا از مدل SSM-iCrop استفاده کردند. آن‌ها نتایج قابل قبولی را در رابطه با ارزیابی مدل گزارش دادند و ابراز داشتند که از این مدل می‌توان برای تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت و برداشت محصول، عملکرد دانه و سایر مراحل فنولوژیکی سویا استفاده کرد. همچنین از مدل SSM-iCrop در طیف گسترده‌ای از محیط‌ها و برای محصولات مختلف از جمله نخود (Vadez et al., 2013)، سویا (Sinclair et al., 2014)، لوبیا (Marrou et al., 2014)، عدس (Ghanem et al., 2015)، بادام

نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل، تبخیر و تعرق کلزا را با مقدار $r=0.83$ و $CV=19.35$ و $RMSE=91.9$ (mm.ha⁻¹) پیش‌بینی نموده است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که مدل SSM-iCrop پیش‌بینی قابل قبولی را برای مقدار تبخیر و تعرق در مورد گیاه کلزا ارائه نموده است. برآورد تبخیر-تعرق در مدیریت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر روی بازده و تأمین نیاز آبی گیاهان، می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. میزان بهره‌وری آب در مناطق مورد بررسی بین ۰/۶۳ تا ۱/۰۴ و به‌طور متوسط ۰/۸۲ کیلوگرم بر متر مکعب برآورد گردید.

بحث

در مطالعه حاضر، مدل SSM-iCrop برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد کلزا پارامتریابی شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. این مدل برای شبیه‌سازی روز تا رسیدگی از دقت بالایی برخوردار بود (درصد $CV=5$) و برای شبیه‌سازی عملکرد و نیاز آبی از دقت قابل قبولی برخوردار بود (شکل ۶، ۷، ۸).

معمولاً برای مدل‌ها CV بین ۱۰ تا ۳۰ درصد قابل قبول است (به‌عنوان مثال، Amir & Sinclair, 1991; Hammer et al., 2010; Jamieson & Semenov, 2000; Robertson et al.,

SSM-iCrop می‌تواند بر این محدودیت‌ها غلبه کند و نیازی به سرمایه‌گذاری برای تعیین ضرایب مناطق جدید نیست. علاوه‌براین، SSM دارای کدهای باز است که امکان استفاده در شرایط محیطی گسترده را برای پیش‌بینی رشد و عملکرد بسیاری از محصولات زراعی فراهم می‌آورد (Noorhosseini et al., 2018). این مدل نسبت به سایر مدل‌ها ساده‌تر بوده و نیاز به پارامترهای ورودی کمتری دارد. بنابراین، مهم‌ترین مزیت مدل SSM-iCrop شفافیت و کاربر پسند بودن آن می‌باشد، به‌طوری‌که می‌تواند مورد استفاده بسیاری از محققان قرار گیرد.

نتیجه‌گیری

مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی ابزاری قدرتمند برای مطالعات مختلف مرتبط با گیاهان هستند. مدل حاضر که نسخه ساده شده مدل‌های SSM است برای کاربرد در سطوح بزرگ تهیه شده است. هدف اصلی از این مدل استفاده از آن برای پیش‌بینی توان تولید گیاه و نیاز آبیاری خالص آن در گستره کشور بوده است. بنابراین، این مدل برای شبیه‌سازی جزئیات فرایندهای گیاهی در شرایط یک مزرعه احتمالاً مناسب نیست. برای مثال، این مدل فاقد معادلات لازم برای شبیه‌سازی تأثیر فتوپریود و بهاره‌سازی بر سرعت نمو فنولوژیک است. یا همچنین در این مدل خاک به‌صورت تک لایه تعریف و استفاده شده است.

باید توجه داشت که هر نوع مطالعه ممکن است مدل خاص خود را نیاز داشته باشد. وقتی هدف پیش‌بینی رشد و تولید گونه‌های گیاهی در کشوری پهناور باشد، یک مدل ساده مناسب‌تر خواهد بود، چون پارامتریابی آن ساده‌تر بوده و برای پیش‌بینی به ورودی‌های ساده‌تر و در دسترس نیاز خواهد داشت. مدل SSM-iCrop چنین مدلی است. نتایج ارزیابی مدل با کمک داده‌های واقعی که از سطح کشور جمع‌آوری شده بود، نشان داد که عملکرد مدل رضایت‌بخش است.

زمینی (Vadez et al., 2017) و ذرت (Sinclair & Muchow, 2011; Torabi et al., 1999) استفاده شده است.

تعداد پارامترها در مدل SSM-iCrop خیلی کمتر از مدل‌های DSSAT (Hoogenboom et al., 2019) و APSIM (Keating et al., 2010; Hammer et al., 2003; et al., 2003) می‌باشد، ولی با تعداد پارامتر در مدل CropSyst (Stockle et al., 2003) قابل قیاس است. سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2015) به‌منظور شبیه‌سازی رشد، توسعه و عملکرد گندم، در مطالعه‌ای اقدام به مقایسه چهار مدل گندم با توجه به قدرت و شفافیت مدل‌ها نمودند. در میان چهار مدل مورد آزمایش، دو مدل ساده (Stockle et al., 2003) و CropSyst (Amir & Sinclair, 1991; Soltani & Sinclair, 2013; Soltani et al., 2012) و دو مدل پیچیده‌تر APSIM (Jones et al., 2003; DSSAT و Keating et al., 2003) (Hoogenboom et al., 2012) مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج حاکی از تفاوت معنی‌دار در قدرت مدل‌ها بود. در تمام متغیرهای ارزیابی شده مدل SSM و CropSyst دارای CV پایین و ضریب همبستگی بالاتر نسبت به مدل‌های APSIM و DSSAT بودند و به‌طور کلی، در این آزمون دو مدل ساده قوی‌تر از دو مدل پیچیده‌تر بودند. در مورد صفت عملکرد دانه مدل SSM بهترین نتایج را حاصل نمود. ایشان همچنین نشان دادند که بین تعداد پارامتر در مدل برای فرایندهای مختلف و کارکرد مدل ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. باید توجه داشت که کم بودن تعداد پارامترها دارای دو جنبه است (Soltani, 2009). گاهی یک مدل در مقایسه با دیگری پارامتر کمتری دارد و تعداد فرآیند و واکنش کمتری را هم شبیه‌سازی می‌کند. اما، گاهی برای شبیه‌سازی فرآیند معینی (مثل تولید ماده خشک) دو مدل دارای تعداد پارامتر متفاوت هستند. در مدل SSM جنبه دوم صادق است.

بسیاری از مدل‌های نیمه‌تجربی ابزار مناسبی برای ارزیابی عملکرد گیاهان مختلف در مناطق مختلف جغرافیایی نیستند. اما مدل

References

- Amir, J., and Sinclair, T.R., 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Research* 28: 59–69. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(91\)90074-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(91)90074-6).
- Amiri, E., Khorsand, A., Daneshian, J., and Yousefi, M., 2018. Predicting biomass and grain yield in canola under different water regimes and fertilizers using AquaCrop model. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering* 41(1): 57-72. (In Persian with English Summary)
- Arvaneh, H., and Abbasi, F., 2014. Validation and calibration of the model aqua crop for *Brassica napus* in field conditions. *Journal of Iran Water Research* 14: 9-17. (In Persian with English Summary)
- FAO and DWFI., 2015. Yield gap analysis of field crops— Methods and Case Studies, by Sadras, V.O., Cassman, K.G.G., Grassini, P., Hall, A.J., Bastiaanssen, W.G.M., Laborte, A.G., Milne, A.E., Sileshi, G., Steduto, P. FAO Water Reports No. 41, Rome, Italy.
- FAOSTAT., 2014, Available in <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx> [15 June 2014].
- Geerts, S., and Raes, D., 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry

areas. *Agricultural Water Management* 96: 1275-1284.

Ghanem, M.E., Marrou, H., Biradar, C., and Sinclair, T.R., 2015. Production potential of lentil (*Lens culinaris* Medik.) in East Africa. *Agricultural Systems* 137: 24-38.

Hajjarpoor, A., Vadez, V., Soltani, A., Gaur, P., Whitbread, A., Babu, D.S., Gumma, M.K., Diancoumba, M., and Kholová, J., 2018. Characterization of the main chickpea cropping systems in India using a yield gap analysis approach. *Field Crops Research* 223: 93-104.

Hammer, G.L., Van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., and Muchow, R.C., 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *Journal of Experimental Botany* 61: 2185-2202.

Honar, T., Sarverestani, A., Kamgarhaghighy, A.A., and Shams, S., 2012. CropSyst calibration model to predict performance and simulation of plant growth. *Journal of Soil and Water (Agricultural Science and Technology)* 25(3): 593-605. (In Persian with English Summary)

Hoogenboom, G., Jones, J.W., Wilkens, P.W., Porter, C.H., Boote, K.J., Hunt, L.A., Singh, U., Lizaso, J.L., White, J.W., Uryasev, O., Royce, F.S., Ogoshi, R., Gijsman, A.J., Tsuji, G.Y., and Koo, J., 2012. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.5. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii (CD-ROM).

Hoogenboom, G., Porter, C.H., Shelia, V., Boote, K.J., Singh, U., White, J.W., Hunt, L.A., Ogoshi, R., Lizaso, J.L., Koo, J., Asseng, S., Singels, A., Moreno, L.P., and Jones, J.W., 2019. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.7.5 (<https://DSSAT.net>). DSSAT Foundation, Gainesville, Florida, USA.

Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D., and Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal* 101: 448-459.

Jamieson, P.D., and Semenov, M.A., 2000. Modelling nitrogen uptake and redistribution in wheat. *Field Crops Research* 68: 21-29.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy* 18: 235-265.

Keating, B.A., Asseng, S., Brown, S.D., Carberry, P.S., Chapman, S., Dimes, J.P., Freebairn, D.M., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Hochman, Z., Holzworth, D., Huth, N.I., Meinke, H., McCown, R.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Silburn, M., Smith, C.J., Snow, V.O., Verburg, K., and Wang, E., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18: 267-288.

Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., and Hochman, Z., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy* 18: 267-288.

Kiniry, J.R., Blanchet, R., Williams, J.R., Texier, V., and Jones, C.A., 1992. Sunflower simulation using the EPIC and A LM A N A C models. *Field Crops Research* 30: 403-423.

Koo, J., and Dimes, J., 2010. HC27 Generic Soil Profile Database. Version 1, July. International Food Policy Research Institute, Washington, DC.

Laurance, W.F., Sayer, J., and Cassman, K.G., 2014. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in Ecology and Evolution* 29: 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>.

Marrou, H., Sinclair, T.R., and Metral, R., 2014. Assessment of irrigation scenarios to improve performances of lingot bean (*Phaseolus vulgaris*) in southwest France. *European Journal of Agronomy* 59: 22-28.

Mousavizadeh, S.F., Honar, T., and Ahmadi, S.H., 2016. Assessment of the aquacrop model for simulating canola under different irrigation management in a semiarid area. *International Journal of Plant Production* 10(4): 1735-6814.

Nehbandani, A.R., Soltani, A., Zeinali, E., Raeisi, S., and Rajabi, R., 2015. Parameterization and evaluation of SSM-soybean model for prediction of growth and yield of soybean in Gorgan. *Journal of Plant Production Research (JOPPR)* 22(3): 1-26. (In Persian with English Summary)

Noorhosseini, S., Soltani, A., and Ajamnoroozi, H., 2018. Simulating peanut (*Arachis hypogaea* L.) growth and yield with the use of the Simple Simulation Model (SSM). *Computers and Electronics in Agriculture* 145: 63-75. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.12.020>

Priestley, C.H.B., and Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using largescale parameters. *Monthly Weather Review* 100: 81-92.

Ritchie, J., Singh, U., Godwin, D., and Bowen, W., 1998. Cereal growth, development and yield. In *Understanding*

options for agricultural production 79-98. Springer, Dordrecht.

Robertson, M.J., Carberry, P.S., Huth, N.I., Turpin, J.E., Probert, M.E., Poulton, P.L., Bell, M., Wright, G.C., Yeates, S.J., and Brinsmead, R.B., 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. *Australian Journal of Crop Science* 53: 429-446.

Sinclair, T., Farias, J., Neumaier, N., and Nepomuceno, A., 2003. Modeling nitrogen accumulation and use by soybean. *Field Crops Research* 81: 149-158.

Sinclair, T.R., and Muchow, R.C., 1999. Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy* 65: 215-265.

Sinclair, T.R., Marrou, H., Soltani, A., Vadez, V., and Chandolu, K.C., 2014. Soybean production potential in Africa. *Global Food Security* 3: 31-40.

Soltani, A., 2009. Mathematical modeling of the crop. Publication Mashhad University Jihad, Iran p. 175. (In Persian)

Soltani, A., 2015. All About Importing Iranian Edible Oils. <http://aftabeyazd.ir/6631>.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Field Crops Research* 124: 252-260.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. *Field Crops Research* 133: 186-196. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2012.04.006>

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012. Modeling Physiology of Crop Development, Growth, and Yield. CABI Publication, 322 pp.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2015. A comparison of four wheat models with respect to robustness and transparency: simulation in a temperate, sub-humid environment. *Field Crops Research* 175: 37-46.

Soltani, A., and Torabi, B., 2009. Mathematical Modeling in Field Crop. Jihad Daneshgahi Mashhad Press, Iran. (In Persian)

Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Khooshe, F.R., and Moghaddam, M., 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research* 62: 213-224.

Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V., 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crops Research* 185: 21-30.

Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R., 2013. SSM-Wheat: a simulation model for wheat development, growth, and yield. *International Journal of Plant Production* 7: 711-740.

Soltani, A., and Sinclair T.R., 2011. A simple model for chickpea development, growth, and yield. *Field Crops Research* 124: 252-260.

Stockle, C.O., Donatelli, M., and Nelson, R., 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy* 18: 289-307.

Tanner, C.B., and Sinclair, T.R., 1983. Efficient water use in crop production: research or re-search? In: Taylor, H. M., Jordan, W. R., and Sinclair, T. R (Eds.) *Limitations to Efficient Water Use in Crop Production*. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, pp. 1-27.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2011. Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat. *Australian Journal of Crop Science* 5: 879-884.

Vadez, V., Halilou, O., Hissene, H.M., Sibiry-Traore, P., Sinclair, T.R., and Soltani, A., 2017. Mapping water stress incidence and intensity, optimal plant populations, and cultivar duration for African groundnut productivity enhancement. *Frontiers In Plant Science* 8: 432.

Vadez, V., Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2013. Crop simulation analysis of phenological adaptation of chickpea to different latitudes of India. *Field Crops Research* 146: 1-9.

Van Ittersum, M., Leffelaar, P., van Keulen, H., Kropff, M., Bastiaans, L., and Goudriaan, J., 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy* 18: 201-234. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00106-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00106-5)

Yang, C., Gan, Y., Harker, K.N., Kutcher, H.R., Gulden, R., Irvine, B., and May, W.E., 2014. Up to 32 % yield increase with optimized spatial patterns of canola plant establishment in western Canada. *Agronomy for Sustainable Development* 34(4): 793-801.



Using SSM-iCrop Model to Predict Phenology, Yield, and Water Productivity of Canola (*Brassica napus* L.) in Iran Condition

S. Rahban¹, B. Torabi^{2*}, A. Soltani³ and E. Zeinali⁴

Submitted: 03-11-2019

Accepted: 16-02-2020

Rahban, S., Torabi, B., Soltani, A., and Zeinali, E., 2021. Using SSM-iCrop model to predict phenology, yield and water productivity of canola (*Brassica napus* L.) in Iran condition. Journal of Agroecology 13(1):157-177

Introduction

Due to limitation of water and soil resources resulted from geological and climatic conditions of Iran as well as necessity of self-reliance in infrastructural issues, efficient usage of water and soil resources available in Iran is inevitable. Climatic changes, reduced biodiversity in the region and concerns about food security are regarded as important issues; hence, evaluation of conditions to attain improved crop production seems essential. To investigate yield improvement methods, yield potential and yield limiting factors (climate, soil, water, and genetic factors) should be determined and evaluated in the first step. Simulation models may be used as scaled-up designs of field experiments to overcome limitations such as time and costs. Crop simulation models are mathematical representations of plant growth processes as influenced by interactions among genotype, environment and crop management. Using crop simulation models can be an efficient complement to experimental research. Models are being used to understand the response of crops to possible changes in crop, cultural management, and environmental variables. Crop models use various plant and environmental parameters to simulate crop growth and should be calibrated and evaluated before usage.

Materials and Methods

SSM-iCrop model predicts phenological stages as a function of temperature, day length. Calculation of phenological development in the model is based on the biological day concept. A biological day is a day with optimal temperature, photoperiod, and moisture conditions for plant development. Leaf area development and senescence is a function of temperature, provide nitrogen for leaf growth, plant density and nitrogen remobilization. To simulate leaf area expansion, the first step is to determine on each day the increase in leaf number on the main stem using the phyllochron (temperature unit between emergences of successive leaves) concept. In this model biomass is estimated as a function of the received radiation and temperature. Daily increase of crop mass is estimated as the product of incident photosynthetic active radiation (PAR, MJ m⁻²d⁻¹), the fraction of that radiation

intercepted by the crop (FINT) and efficiency with which the intercepted PAR is used to produce crop dry mass, i.e., radiation use efficiency (RUE, g MJ⁻¹). Yield formation in the model is simply simulated as total dry matter production during seed filling period plus a fraction of crop dry mass at BSG (as mobilized dry

1- Ph.D. Student, Ph.D. Student, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.

2- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

3- Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

4- Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Golestan, Iran.

(* Corresponding author: ben_torabi@yahoo.com)

Doi: 10.22067/jag.v13i2.84057

matter). Modeling seed growth rate and yield formation in the current model is based on a modified linear increase in harvest index concept as described by Soltani and Sinclair (2011).

The model needs daily weather data, i.e. maximum and minimum temperatures, rainfall, and solar radiation. The model can be run under multiple scenarios/treatments over many years.

Results

As a result of the SSM-iCrop model parameterization, three early, medium and late maturing cultivars were determined for canola, which their cumulative degree days (GDD) for growth period completion were estimated as 2000, 2500 and 2700 °C days. After determination of the required parameters, the model was run based on sowing date, management, and meteorological statistics of the region using the data from the papers which were not used for parameterization, so as to validate the model. The average of the simulated data for days to maturity and yield were 222 (days) and 383 (g.m⁻²), respectively, whereas observed values for this traits were 223 (days) and 359 (g.m⁻²).

Conclusion:

Based on the 1:1 line and statistics of $r=0.87$, $CV=18\%$ and $RMSE=67.04$ (g.m⁻²) for grain yield and $r=0.97$, $CV=5\%$ and $RMSE=10.68$ (days) for days to maturity, it may be concluded that simulation canola growth using SSM-iCrop model has been satisfactory and indicates accurate estimation of the model parameters, as well as serving as a verification of the model efficiency in prediction of canola yield under climatic conditions of major canola production regions of Iran.

Keywords: Evaluation, Parameterization, Plant models, Simulation.

Contents

The Investigation of Functional Diversity Effect on Composition, Density and Diversity Indices of Weeds in some Medicinal Plants	20
A. Koocheki, E. Azizi, L. Tabrizi and S. Bakhshaei	
Effect of Organic, Biological and Chemical Fertilizers on Yield, Yield Components and Oil Yield of Black Seed (<i>Nigella sativa</i> L.)	37
R. Sohrabi Renani, P. Rezvani Moghaddam, R. Ghorbani and A.R. Astaraie	
Greenveining Elements of the Landscape Structure as the Main Supporter of Biodiversity in Agroecosystems	55
R. Rostami, A. Koocheki, P. Rezvani Moghaddam and M. Nassiri Mahallati	
Optimization of Nitrogen Fertilizer and Water Consumption in Sugar Beet by using Response-Surface Method	71
H. Mansouri, H. Noshad and M. Hassani	
The Effects of Biological, Chemical Fertilizers and Humic Acid on some Microbial Parameters, Elements and Oil Quantity and Quality of Catnip (<i>Nepeta cataria</i> L.)	87
P. Boveiri Dehsheikh, M. Mahmoodi Sourestani, M. Zolfaghari and N. Enayati Zamir	
Effect of Drought Stress and Different Concentrations of Salicylic Acid on Yield, Yield Components and Essential Oil of Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.)	100
A. Ghilavizadeh, E. Hadidi Msouleh, H. Zakerin and S.A. Valadabadi	
Simulating Grain Yield and Water Use Efficiency in Dominant Maize Cultivars under Water Limited and Climate Change Conditions	114
N. Sharifi-Haddad, R. Deihimfard, O. Noori and S. Rahimi-Moghaddam	
Effects of Weed Management Treatments and Cover Crops as Winter Plating on Weed Population and Yield of Two Cultivars of Tomato	132
B. Sabouri, S. Khorramdel, A. Koocheki and H. Latifi	
Comparison of Ecological Footprint, Water Footprint and Environmental Impacts of Irrigated and Rainfed Wheat Production Systems Based on Farm Size (Case Study: Boushehr Region)	154
M. Siavoshi and S. Dastan	
Using SSM-iCrop Model to Predict Phenology, Yield and Water Productivity of Canola (<i>Brassica napus</i>. L) in Iran Condition	176
S. Rahban, B. Torabi, A. Soltani and E. Zeinali	

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 13 No. 1 Spring 2021

Published by: Ferdowsi University of Mashhad

Editor in charge: Prof. Alireza Koocheki

Editor in chief: Prof. Parviz Rezvani Moghaddam

Editorial Board:

Dr. Goodarz Ahmadvand, Faculty of Agriculture, BU-Ali Sina University, Hamadan

Dr. Mohammad Pessarakli, Research Professor, School of Plant Sciences, the University of Arizona

Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Adel Dabagh Mohammadi Nasab, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Mehdi Rastgoo, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Parviz Rezvani Moghaddam, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Ahmad Zare Fazabadi, Agricultural Research Institute of Khorasan Razavi

Prof. Saeed Zehtab Salmasi, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

Dr. Hamid Shahandeh Research Soil Scientist, Soil and Crop Sciences Department, Texas A & M University

Prof. Reza Ghorbani, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Alireza Koocheki, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Prof. Mohammad Galavi, Faculty of Agriculture, Zabol University

Prof. Mehdi Nassiri Mahallati, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

Internal manager: Dr. Surur Khorramdel, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

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/index.php/agroecology>