نشریه علمی
بـوم شنـاسی کشاورزی (فصلنامه)

جلد ۱۲ شماره ۳
پاییز ۱۳۹۹

شاپا: ۷۷۱۳-۲۰۰۸
(شماره پیاپی ۴۵)

عنوان مقالات

تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI ۳۵۹
علی اکبر مویدی، توحید نجفی میرک، غلام‌حسین احمدی و اکبر قندی

تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) ۳۷۳
محمدحسین امینی‌فرد، مژگان غلامی، حسن بیات و فرید مرادی‌نژاد

اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق ۳۸۹
مهدی حیاتی، عباس ملکی، افشین مظفری و فرزاد بابایی

عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران ۴۱۳
سید مجید عالیمقام، افشین سلطانی، وینست وادز، ابراهیم زینلی و اسکندر زند

ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط اقلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد) ۴۳۳
حمیدرضا توکلی کاخکی و مسعود قدسی

ارزیابی بهبود عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد ۴۴۷
کاظم خاوازی، ولی فیضی اصل، محمدحسین سدری، علی اشرف طلیعی، جعفر گوهرگانی، محمد اسماعیلی و رضا سلیمانی

شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور) ۴۶۹
سعید قوام‌سعیدی نوقابی، مصطفی یعقوب‌زاده، حامد منصوری، حسین حمامی، مختار صالحی طبس و محمد حسین نجفی مود

پهنه‌بندی اقلیمی- احتمالاتی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم ۴۸۷
کامی کابوسی

تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۵۰۷
امید حیدرپور، بهروز اسماعیل‌پور، علی اشرف سلطانی و سرور خرم‌دل

ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران ۵۲۳
حمیدرضا توکلی کاخکی، مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، محسن جهان و علیرضا بهشتی

ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycin max* L.) ۵۴۱
سمانه بخشنده لاریمی، حسین کاظمی، افشین سلطانی و بهنام کامکار

نشریه علمی بوم شناسی کشاورزی (فصلنامه) جلد ۱۲ شماره ۳ پاییز ۱۳۹۹
Journal of Agroecology (Quarterly) Vol. 12 No. 3 Fall 2020

Ferdowsi University of Mashhad

Journal of Agroecology (Quarterly)

Vol. 12 No. 3
Fall 2020

ISSN: 2008-7713

Contents

Stability analysis of seed yield in durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var durum) using AMMI analysis 370
A.A. Moayyedi, T. Najafi Mirak, G.H. Ahmadi and Akbar Ghandi

Effect of fulvic acid and amino acid application on physiological characteristics, growth and yield of coriander (*Coriandrum sativum* L.) medicinal plant 387
M.H. Aminifard, M. Gholami, H. Bayat and F. Moradi Nezhad

Simultaneous effects of deficit irrigation and transpiration reducer on yield and yield components of corn single cross 704 (*Zea mays* L.) 410
M. Hayati, A. Maleki, A. Mozaffari and F. Babaei

Irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) traits effects on potential yield under current and future climates in Iran 430
S.M. Alimagham, A. Soltani, V. Vadez, E. Zeinali and E. Zand

Evaluation of energy efficiency indices according to wheat (*Triticum aestivum* L.) based crop in conservation agricultural systems in temperate climate region (A case study: Gonabad) 444
H. Tavakoli Kakhki and M. Ghodsi

Yield enhancement by application of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculants in dryland wheat (*Triticum aestivum* L.) 466
K. Khavazi, V. Feiziasl, M.H. Sedri, A. Taliee, J. Ghohargani, M. Ismaili and R. Solaimani

Simulation of soil moisture for the upcoming period by SWAP model using climate change models and fifth report scenarios (Case Study: wheat (*Triticum aestivum* L.) field in Faroub of Neyshabour) 485
S. Ghavamsaeidi Noghbi, M. Yaghoobzadeh, H. Mansoori, H. Hammami, M. Salehi Tabas and M.H. Najafi Mood

Zoning of Golestan province agricultural land for rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) based on climatic- Stochastical Analysis 504
K. Kaboosi

Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes 521
O. Heidarpour, B. Esmaielpour, A. Soltani Toolarood and S. Khorramdel

Evaluation of nitrogen balance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping systems of Iran 539
H. Tavakoli kakhki, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, M. Jahan and S.A.R. Beheshti

Evaluation of carbon sequestration potential, primary net production and carbon allocation coefficients in soybean (*Glycin max* L.) 558
S. Bakhshande Larimi, H. Kazemi, A. Soltani and B. Kamkar

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.

جلد۱۲ شماره ۳ پاییز ۱۳۹۹

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 (به‌ترتیب 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 تگزاسA & 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 خرم‌دل، 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: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۴۶۵۴ **نمابر:** ۰۵۱-۳۸۷۸۷۴۳۰

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 پایگاه‌های زیر نمایه می‌شود:

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

بسم الله الرحمن الرحیم

مندرجات

تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI ۳۵۹

علی اکبر مویدی، توحید نجفی میرک، غلام‌حسین احمدی و اکبر قندی

تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) ۳۷۳

محمدحسین امینی‌فرد، مژگان غلامی، حسن بیات و فرید مرادی‌نژاد

اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰٤ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق ۳۸۹

مهدی حیاتی، عباس ملکی، افشین مظفری و فرزاد بابایی

عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum*) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران ٤۱۳

سید مجید عالیمقام، افشین سلطانی، وینست وادز، ابراهیم زینلی و اسکندر زند

ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط اقلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد) ٤۳۳

حمیدرضا توکلی کاخکی و مسعود قدسی

ارزیابی بهبود عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد ٤٤۷

کاظم خاوازی، ولی فیضی اصل، محمدحسین سدری، علی اشرف طلیعی، جعفر گوهرگانی، محمد اسماعیلی و رضا سلیمانی

شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور) ٤٦۹

سعید قوام‌سعیدی نوقابی، مصطفی یعقوب‌زاده، حامد منصوری، حسین حمامی، مختار صالحی طبس و محمد حسین نجفی مود

پهنه‌بندی اقلیمی- احتمالاتی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) ٤۸۷

کامی کابوسی

تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری ۵۰۷

امید حیدرپور، بهروز اسماعیل‌پور، علی اشرف سلطانی و سرور خرم‌دل

ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران ۵۲۳

حمیدرضا توکلی کاخکی، مهدی نصیری محلاتی، علیرضا کوچکی، محسن جهان و علیرضا بهشتی

ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycin max* L.) ۵٤۱

سمانه بخشنده لاریمی، حسین کاظمی، افشین سلطانی و بهنام کامکار

اسامی ارزیابان جلد ۱۲ شماره ۳ (پاییز ۱۳۹۹) نشریه بوم شناسی کشاورزی (به ترتیب الفبا)

دکتر پرویز احسان زاده	دانشگاه صنعتی اصفهان
دکتر بهروز اسماعیل پور	دانشگاه محقق اردبیلی
دکتر شهرام امیرمرادی	دانشگاه پیام نور
دکتر محمد بنایان اول	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر بهاره پارسا مطلق	دانشگاه جیرفت
دکتر مژگان ثابت تیموری	جهاد دانشگاهی مشهد
دکتر لیلا جعفری	دانشگاه هرمزگان
دکتر حامد جوادی	دانشگاه پیام نور
دکتر سرور خرم دل	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر حمیدرضا ذبیحی	مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی- بخش تحقیقات خاک و آب
دکتر اسماعیل رضائی چیانه	دانشگاه ارومیه
دکتر جواد سید محمدی	موسسه تحقیقات خاک و آب
دکتر فرزین عبدالهی	دانشگاه هرمزگان
دکتر اسماعیل قلی نژاد	دانشگاه پیام نور مرکز ارومیه
دکتر مرتضی گلدانی	دانشگاه فردوسی مشهد
دکتر فرزاد مندنی	دانشگاه رازی کرمانشاه
دکتر مهدی نصیری محلاتی	دانشگاه فردوسی مشهد
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 provided 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 تردیده 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 کارآیی و بهروه‌وری 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

به‌نام 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 قابل‌توجه 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. بهمین 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 به‌اصطلاح اکوسیستم (بوم‌نظام) نامیده می‌شود، میسر نخواهد بود و بدین‌ترتیب 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، به‌عنوان 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 نه‌تنها 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. به‌همین دلیل در مقطع زمانی کنونی برای سامان بخشیدن به این یافته‌های علمی در قالب یک مجموعه تخصصی، ضرورت انتشار مجله ای علمی تحت عنوان «بوم‌شناسی کشاورزی» بیش از هر زمان دیگر احساس می‌شود. چون نقطه ثقل چنین مجله ای «بوم شناسی» 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 حد اقل اتکا به نهاده های خارج از مزرعه
- عملیات زراعی در رابطه با کشت‌های مخلوط و کشت گیاهان پوششی
- عملیات تلفیقی در مدیریت زراعی
- بهره برداری از منابع غیر رایج آب و خاک
- استفاده از گیاهان زراعی فراموش شده و جدید
- بهره‌گیری از روابط کمّی 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 اگرواکولوژیکی
- استفاده از بقایای محصولات زراعی در تهیه سوخت‌های زیستی
- استفاده از انرژی‌های جایگزین در اکوسیستم‌های کشاورزی
- کاربرد کودهای بیولوژیکی، استفاده از میکوریزا و باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن
- کاربرد کمپوست و فرآورده‌های مشابه
- اصلاح خاک از طریق فرآیندهای بیولوژیکی
- 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 آنجایی‌که 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 نرم افزار 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، نتیجه گیری، 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 نتیجه گیری 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 شکل ها:** 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 عنوان‌ها ی جداول در زیر نوشته فارسی آنها درج شوند. محتوای جداول (اعداد) تنها به انگلیسی نوشته شوند. شکلها کاملا انگلیسی تنظیم گردند. بطور کلی اطلاعات شکل‌ها و جداول قابل استفاده برای خوانندگان انگلیسی زبان باشد.
- **صفحه آخر** شامل عنوان مقاله، چکیده انکلیسی 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 ۰/۵ 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 صورتی‌که 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- کنفرانس‌ها ی 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/SAFEWexecsummfinalreport.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.cdfa.ca.gov/is/i&c/docs/2004stateData.pdf (verified October 2005).

۱۰- نرم افزار های 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، دفترمجله بوم شناسی کشاورزی

صندوق پستی: ۱۱۶۳-۹۱۷۷۵

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

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

از آنجائیکه نشریه بوم شناسی 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.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 359-371

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۷۱-۳۵۹

مقاله علمی - پژوهشی

تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI

علی اکبر مویدی[1*]، توحید نجفی میرک[2]، غلام‌حسین احمدی[3] و اکبر قندی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۸

مویدی،ع.ا.، نجفی میرک، ت.، احمدی، غ.ح.، و قندی، ا. ۱۳۹۹. تجزیه پایداری عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) در شرایط مختلف اقلیمی با استفاده از مدل AMMI. بوم‌شناسی کشاورزی، ۱۲(۳): ۳۷۱-۳۵۹.

چکیده

هدف از این پژوهش تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بر عملکرد دانه ۱۸ لاین گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) با استفاده از تجزیه مدل اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر امی (AMMI) و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل آنها با استفاده از آماره‌های پایداری و اکووالانس ریک بود. آزمایشات در سه ایستگاه تحقیقات کشاورزی کرج، نیشابور و کرمانشاه طی سال‌های ۹۶-۱۳۹۴ به مدت دو سال زراعی اجرا شدند. نتایج حاصل از تجزیه امی بر عملکرد دانه نشان داد که اثر اصلی سال و مکان و اثر متقابل آنها با ژنوتیپ و همچنین دو مؤلفه اول اثر متقابل معنی‌دار بودند. نمودار بای‌پلات امی قادر به تفکیک ژنوتیپ‌های پایدار و محیط‌های با قدرت تفکیک بالا از محیط‌های ضعیف بود. نتایج نشان داد که محیط کرج طی هر دو سال زراعی بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط دارا بود؛ در حالی‌که محیط نیشابور طی هر دو سال زراعی پایدارترین محیط بود و کمترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط داشت. همچنین محیط کرمانشاه طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مشابه کرج و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مشابه محیط نیشابور عمل کرد. بر اساس نتایج، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند. همچنین در مجموع، سال‌ها و سه منطقه، ژنوتیپ ۱۶ دارای قدرت پایداری بالا و عملکرد مطلوب در محیط‌های مورد مطالعه بود.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل ژنوتیپ×محیط، پایداری، ژنوتیپ برتر.

مقدمه

گندم دوروم (*Triticum turgidum* L. var. durum) بخش کوچکی معادل پنج درصد از سطح زیر کشت گندم در دنیا و حدود ۱۰ درصد از کل تولید گندم را شامل می‌شود. در سال‌های اخیر میزان تولید گندم دوروم افزایش یافته و به حدود بیش از ۳۰ میلیون تن رسیده است که اتحادیه اروپا، کانادا و ایالات متحده ۶۰ درصد این میزان را تولید می‌نمایند. گندم دوروم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی در منطقه مرکز و غرب آسیا و شمال آفریقا (Central and West

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات غلات، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۳- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: moayediali@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.87607

(Asia and North Africa (CWANA و کشورهای حاشیه دریای مدیترانه می‌باشد. منطقه ساوانا سالانه حدود ۱۳ میلیون تن گندم دوروم تولید می‌کند که کشورهای ترکیه، سوریه، مراکش، تونس، الجزایر و ایران ۸۴ درصد این میزان را تولید می‌کنند. بیشتر کشورهای منطقه ساوانا جزء شبکه واردکننده گندم دوروم هستند. در این منطقه تنها سوریه صادرکننده گندم دوروم بوده و ایران پتانسیل بالایی برای تولید گندم دوروم دارد (Mohammadi & Amri, 2013). در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم بین ۴۰۰-۳۰۰ هزار هکتار بوده و میزان تولید سالانه آن بین ۶۰۰-۵۰۰ هزار تن می‌باشد (Najafi Mirak et al., 2019).

وجود اثر متقابل ژنوتیپ و محیط مهم‌ترین چالش فراروی به‌نژادگران گیاه است. تفسیر اثرات متقابل، شناسایی محیطهای هدف و معرفی ژنوتیپ‌های مناسب با سازگاری خصوصی و عمومی برای محیطهای مورد مطالعه و تعیین ژنوتیپ‌های پایدار در سال‌های مختلف از اهداف مهم در بررسی ژنوتیپها در سال‌ها و مکان‌های مختلف می‌باشد. پدیده اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به به‌نژادگران گیاه کمک می‌کند تا در ارزیابی ژنوتیپ‌ها در محیطهای مختلف، مکان‌های غیرضروری را حذف نموده و در نتیجه موجب کاهش بیشتر هزینه‌ها شوند (Basford & Cooper, 1998; Kang & Magari, 1996; Shafi et al., 1992). پارامترهای زیادی برای تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط ارائه شده است. استفاده از روش مبتنی بر رگرسیون (Finlay & Winkinson, 1963; Eberhart & Russell, 1966)، در زمره اولین روش‌های مورد استفاده است. سایر روش‌های آماری از جمله روش امی[1] (AMMI: Gauch & Zobel, 1996)، روش شمی[2] یا مدل ضرب‌پذیر متغیر (Cornelius et al, 1996 ; Cornelius,1993) و مدل SREG یا GGE Biplot (Yan, 2001) نیز زیاد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ضمن این‌که برای تعیین مدل پایداری، معیارهای ناپایداری هان (Huhn, 1996) که مبتنی بر تغییر مرتبه ارقام می‌باشند و روش مجموع رتبه کنگ (Kang, 1993; Kang, 1998) که از جمله روش‌های ناپارامتری هستند، می‌توانند معیارهای معتبری برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر باشند.

روش AMMI، یک روش چندمتغیره آماری می‌باشد که اثرات جمع‌پذیر ژنوتیپ، محیط و اثرات ضرب‌پذیر ژنوتیپ×محیط را توجیه نموده و تفسیر خوبی از اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را ارائه می‌نماید (Ebdon & Gauch, 2002). اگر از جزء جمع‌پذیر مدل، بدون در نظر گرفتن اثر متقابل برای توجیه واریانس آزمایشات استفاده شود، مدل مذکور را امی صفر و اگر از جزء ضرب‌پذیر امی که اثر متقابل را نیز در نظر می‌گیرد استفاده شود بسته به این‌که از کدام مؤلفه استفاده شود، مدل امی ۱ تا امی F نامیده می‌شود (Gauch & Zobel, 1996). مؤلفه‌های AMMI معیار معتبری برای بررسی پایداری ژنوتیپ‌ها و ارتباط بین ژنوتیپ‌ها و محیط می‌باشند. اگر چندین مؤلفه از مؤلفه‌های اثر متقابل در مدل امی از لحاظ آماری معنی‌دار باشند، نشان‌دهنده وجود اثر متقابل پیچیده ژنوتیپ×محیط می‌باشد(Gauch & Zobel, 1996). با استفاده از مدل امی، یک پارامتر پایداری معتبر توسط پرکاس (Purchase, 1997) برای پایداری ژنوتیپها ارائه شد که آن‌را ارزش پایداری امی (ASV[3]) می‌نامند و در آن از دو مؤلفه اول امی برای این روش استفاده می‌گردد. همچنین از اکووالانس ریک به منظور تعیین سهم محیطها در اثر متقابل می‌توان استفاده نمود (Isik & Kleinschmit, 2005). آلبرت (Albert, 2004) در بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و برای تعیین پایداری هیبریدهای ذرت (*Zea mays* L.) روش‌های مختلف پایداری را با هم مقایسه کرد، ولی در نهایت، مدل AMMI را مناسب‌ترین روش برای تجزیه پایداری معرفی کرد.

کاربرد مدل AMMI در گزینش ارقام مناسب برای گندم دوروم (Mohammadi et al., 2016; Najafi Mirak et al., 2018; Najafi Mirak et al., 2019) در کشور گزارش شده است. طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019)، با بررسی اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در جو (*Hordeum vulgare* L.) با استفاده از روش‌های مختلف پایداری بیان داشتند که مدل AMMI نه تنها پایدارترین ژنوتیپ‌ها را معرفی می‌کند، بلکه می‌تواند بیانگر سازگاری خصوصی ارقام نیز باشد. مؤیدی و همکاران (Moayedi et al., 2020) به‌منظور مطالعه سازگاری و پایداری بیست لاین امیدبخش گندم دوروم در چهار منطقه از اقلیم معتدل کشور با استفاده از روش چندمتغیره بای‌پلات،گزارش کردند ژنوتیپ‌های G_1، G_2 و G_{18} جزء ژنوتیپ‌های برتر از نظرعملکرد و پایداری بالا بودند. آن‌ها بیان کردند که لاین G_{18} می‌تواند در قیاس با رقم شاهد هانا (G_1) به‌عنوان لاین امیدبخش مطلوب از نظر عملکرد و پایداری در نظر گرفته شود.

1- Additive main effects and multiplicative Interaction
2- SHAMMI

1- ASV: AMMI Stability value

بنابراین هدف از این پژوهش، تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط و بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف و انتخاب ژنوتیپ گندم دوروم پایدار به محیط‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های چندمتغیره و تک‌متغیره می‌باشد.

مواد و روش‌ها

شانزده لاین امیدبخش گندم دوروم که از آزمایشات مقایسه عملکرد لاین‌های پیشرفته گندم دوروم اقلیم معتدل در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ انتخاب شده بودند (جدول ۱) (Moayedi et al., 2020)، به همراه گندم دوروم هانا و گندم نان پارسی به عنوان ارقام شاهد مورد بررسی قرار گرفتند.

جدول ۱- نام و شجره ارقام و لاین‌های امیدبخش گندم دوروم

Table 1- Name and pedigree of durum wheat cultivars and promising lines

شماره لاین‌ها Lines number	شجره لاین‌ها Pedigree of lines
G_1	Dena (*T.durum*)
G_2	Parsi (*T. aestivum*)
G_3	GUANAY*2/4/CHEN_1/TEZ/3/GUIL//CIT71/CII/5/SOMAT_4/INTER_8/6/SOOTY_9/RASCON_37//TILO_1/LOTUS_4
G_4	CLAUDIO/7/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/6/MALMUK_1/SERRATOR_1/8/HUBEI//3*SOOTY_9/RASCON_37/3/CRAKE_10/RISSA
G_5	1A.1D 5+1-06/3*MOJO//RCOL/3/SNITAN/SOMAT_3//FULVOUS_1/MFOWL_13/10/AVILLO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/9/
G_6	USDA595/3/D67.3/RABI//CRA/4/ALO/5/HUI/YAV_1/6/ARDENTE/7/HUI/YAV79/8/POD_9 ARMENT//2*SOOTY_9/RASCON_37/4/CNDO/PRIMADUR//HAI-OU_17/3/SNITAN
G_7	PLATA_6/GREEN_17/3/CHEN/AUK//BISU*2/5/PLATA_3//CREX/ALLA/3/SOMBRA_20/4/SILVER_14/MOEWE
G_8	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/RUFO/4/FNFOOT/10/GREEN_32/CHEN_7//SILVER_14/3/DIPPER_2/BUSHEN_3/4/SNITAN
G_9	GODRIN/GUTROS//DUKEM/3/THKNEE_11/4/DUKEM_1//PATKA_7/YAZI_1/3/PATKA_7/YAZI_1/5/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/ADAMAR
G_{10}	WID22248/10/LD357E/2*TC60//JO69/3/FGO/4/GTA/5/SRN_1/6/TOTUS/7/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69/8/SOMBRA_20/9/JUPARE C 2001/11/PORTO_6/GREEN_38/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4
G_{11}	CLAUDIO/10/PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/THKNEE_11/9/CHEN/ALTAR 84/3/HUI/POC//BUB/ RUFO/4/FNFOOT/11/AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/POD_9/4/RASCON_37*2/TARRO_2/5/SORA/2*PLATA_12//SOMAT_3
G_{12}	MERIDIANO/3/SOMAT_3/PHAX_1//TILO_1/LOTUS_4/5/TATLER_1/TARRO_1/3/CANELO_8//SORA/2*PLATA_12/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G_{13}	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMBRA_20/4/SNITAN/5/SOMAT_4/INTER_8/6/SOMO/CROC_4//LOTUS_1/3/KITTI/4/JUPARE C 2001
G_{14}	SOOTY_9/RASCON_37//GUAYACAN INIA
G_{15}	STOT//ALTAR 84/ALD/3/THB/CEP7780//2*MUSK_4/6/ECO/CMH76A.722//BIT/3/ALTAR 84/4/AJAIA_2/5/KJOVE_1/7/RASCON_37/2*TARRO_2/4/ROK/FGO//STIL/3/BISU_1/5/MALMUK_1/SERRATOR_1
G_{16}	PLATA_10/6/MQUE/4/USDA573//QFN/AA_7/3/ALBA-D/5/AVO/HUI/7/PLATA_13/8/RAFI97/9/MALMUK_1/SERRATOR_1/10/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1/11/SHAG_21/DIPPER_2//PATA_2/6/ARAM_7//CREX/ALLA/5/ENTE/MEXI_2//HUI/4/YAV_1/3/LD357E/2*TC60//JO69
G_{17}	AJAIA_12/F3LOCAL(SEL.ETHIO.135.85)//PLATA_13/3/SOMAT_3/4/SOOTY_9/RASCON_37/5/1A.1D 5+10-6/3*MOJO//RCOL/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1
G_{18}	ISLOM_1/DUKEM_2//TARRO_3/5/CREX//BOY/YAV_1/3/PLATA_6/4/PORRON_11/6/YAZI_1/AKAKI_4//SOMAT_3/3/AUK/GUIL//GREEN/7/TOSKA_26/RASCON_37//SNITAN/4/ARMENT//SRN_3/NIGRIS_4/3/CANELO_9.1

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در سه منطقه از اقلیم معتدل کشور شامل کرج، نیشابور و کرمانشاه طی دو سال زراعی متوالی (۹۶-۱۳۹۵و ۹۵-۱۳۹۴) کشت و مورد مطالعه قرار گرفتند. زمین مورد کشت تحت تناوب دو ساله غلات- آیش بوده و عملیات تهیه زمین شامل شخم کلش بعد از برداشت محصول قبل، یک نوبت شخم بهاره، یک نوبت دیسک، دو بار لولر عمود برهم، کودپاشی (کودهای سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و یک چهارم کود اوره به صورت پایه مصرف شدند) و ایجار فارو بود. بذور آزمایشی قبل از کاشت به منظور جلوگیری از سیاهک پنهان با قارچ‌کش کاربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضدعفونی گردید. میزان بذر مصرفی بر اساس ۴۵۰ بذر در متر مربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه برای هر لاین تعیین گردید. تاریخ کاشت در مناطق مورد آزمایش، ابتدای آبان بود. کشت به صورت جوی و پشته و آبیاری به‌صورت نشتی انجام گرفت. نوع و میزان کود بر اساس آزمون خاک هر منطقه مصرف گردید. کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم، کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل به‌صورت پایه و کود نیتروژنه از منبع اوره به‌صورت پایه و سرک در مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌دهی و ابتدای پرشدن دانه مصرف شد. هر کرت آزمایشی شامل شش ردیف شش متری به فاصله ۲۰ سانتی‌متر (متر مربع ۷/۲=۱/۲×۶) بود که قبل از برداشت نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت حذف و بقیه (شش متر مربع) برداشت شد. برای مبارزه با علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ، مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده شد. تجزیه واریانس صفت عملکرد در سه منطقه و دو سال، با استفاده از تجزیه مرکب انجام شد؛ به طوری‌که اثر مکان، ژنوتیپ و سال تصادفی در نظر گرفته شدند.

قبل از انجام تجزیه واریانس مرکب، جهت آزمون همگنی واریانس آزمایشات، از آزمون بارتلت استفاده شد. نتایج آزمون بارتلت بیانگر یکنواختی واریانس آزمایشات بود. سپس تجزیه امی بر روی مجموع عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در محیط‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار GEA-R انجام شد. به منظور تجزیه پایداری عملکرد دانه لاین‌ها و ارقام مورد بررسی از مدل AMMI و از مؤلفه‌های اثر متقابل اول و دوم ($IPCA_1$ و $IPCA_2$) به‌عنوان پارامترهای پایداری برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها استفاده شد (Annicchiarico, 1997).

همچنین از مدل بای‌پلات AMMI جهت بررسی واکنش ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها استفاده شد. بای‌پلات‌ها به دلیل نمایش گرافیکی واکنش ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها در پدیده اثر متقابل ابزارهای مفیدی جهت شناسایی ژنوتیپ‌های سازگار به محیط می‌باشند (Suadric et al., 2006). به منظور تحلیل بهتر اثر متقابل، از آماره‌های پایداری AMMI (ASV, Purchase et al., 2000) و اکووالانس ریک (W^2_i: Wrick, 1962) استفاده شد. آماره ASV به دلیل این‌که اثر دو مؤلفه اول اثر متقابل را به طور هم‌زمان مورد بررسی قرار می‌دهد نقش مهمی در تفسیر نتایج تجزیه AMMI دارد. ژنوتیپ‌ها و محیط‌های با مقادیر کم پارامتر ASV پایدار و با مقادیر بیشتر ناپایدار خواهند بود (Purchase et al., 2000). پارامتر پایداری اکووالانس ریک (W^2_i) که کمتر بودن آن برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها نشان‌دهنده پایداری بیشتر آن‌ها و سهم کمتر در اثر متقابل می‌باشد جهت کمک در تفسیر نتایج مورد استفاده قرار گرفت.

به منظور تجزیه واریانس مرکب داده‌ها، تجزیه مدل AMMI و رسم نمودارهای بای‌پلات آن و محاسبه پارامترهای اکووالانس ریک و ASV از نرم‌افزارهای ADEL-R، GE-R و SAS استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.

نتایج نشان داد که بین سال‌ها و مکان‌های آزمایش و همچنین اثر متقابل ژنوتیپ×سال و ژنوتیپ×سال×مکان در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل ژنوتیپ×مکان در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری وجود داشت ($p≤۰/۰۱$)، لذا تجزیه پایداری ژنوتیپ‌ها امکان‌پذیر بود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس برای اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر در جدول ۳ آورده شده است.

تجزیه واریانس اثر افزایشی نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. در این مدل (امی)، بزرگی اثرات اصلی افزایشی برای ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ×محیط به ترتیب ۱/۴ درصد، ۸۶/۵ درصد و ۱۲/۱ درصد مجموع مربعات کل بود. بزرگی اثرات محیط بیانگر متفاوت بودن محیط‌ها بوده که باعث ایجاد تنوع

در عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها شده است. نتایج آزمون معنی‌داری مؤلفه‌های اثر متقابل نیز نشان داد که دو مؤلفه اول اثر متقابل مدل امی به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج تجزیه واریانس غیرافزایشی نشان داد که اولین مؤلفه اثر متقابل ۴۹/۶۴ درصد و دومین مؤلفه اثر متقابل ۲۰/۵۶ درصد از تغییرات ژنوتیپ و محیط را توجیه کردند. این دو مؤلفه از لحاظ آماری در توجیه اثر متقابل معنی‌دار بودند.

بنابراین، مدل دوم امی ($AMMI_2$) شامل دو مؤلفه اول اثر متقابل و اثر افزایشی ژنوتیپ×محیط، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. به عبارت دیگر، استفاده از مدل دوم امی به خوبی در تفسیر نتایج مفید می‌باشد.

به منظور بررسی روابط ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها از نمایش گرافیکی بای‌پلات استفاده شد. در بای‌پلات شکل ۱ محور افقی نمایانگر اثر اصلی جمع‌پذیر یا میانگین عملکرد دانه بر حسب تن درهکتار و محور عمودی اثر متقابل ضربی یا مقادیر اولین مؤلفه اصلی ($IPCA_1$) یعنی ضرایب عاملی، برای ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها به طور جداگانه می‌باشد. در بای‌پلات مذکور دو جفت از داده‌ها روی محورها نمایش داده شده‌اند. اولین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر رقم (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر ژنوتیپ (محور عمودی) و دومین جفت مربوط به میانگین عملکرد هر محیط (محور افقی) و مقادیر اولین مؤلفه اصلی هر محیط (محور عمودی) می‌باشد.

ژنوتیپ‌های شماره ۱۷ و ۱۸ و همچنین محیط‌های کرج ۹۴ و کرمانشاه ۹۴ و ۹۵ دارای اثر متقابل بزرگ بوده و بیشترین تأثیر را در ایجاد اثر متقابل داشتند. ژنوتیپ‌هایی که در مرکز بای‌پلات قرار گرفته‌اند، اثر متقابل نزدیک به صفر را دارند و دارای پایداری عمومی بیشتری هستند، ژنوتیپ‌های شماره ۹، ۱۵، ۱۶ و ۱۱ دارای اثر متقابل کم بودند، لذا می‌توانند به عنوان ژنوتیپ‌های با پایداری مطلوب مورد توجه قرار گیرند (شکل ۱). دو مؤلفه اول اثر متقابل (IPCA) به ترتیب ۴۹/۶۴ و ۲۰/۵۶ درصد مجموع اثر متقابل ژنوتیپ×محیط را توجیه نمودند.

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مرکب عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم در سه مکان و دو سال

Table 2- Combined analysis of variance for durum wheat genotypes in three locations and two years

منابع تغییر Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained Variance (%)
مکان Location	3	127.14ns	43.22
سال Year	1	17.48**	1.98
مکان×سال Location ×year	3	61.63**	20.95
بلوک (آزمایش) Block (expriment)	16	1.54	2.79
ژنوتیپ Genotype	19	0.78ns	1.68
ژنوتیپ ×مکان Genotype× location	57	0.67ns	4.33
ژنوتیپ × سال Genotype× year	19	1.27**	2.73
ژنوتیپ ×مکان ×سال Genotype× location ×year	57	1.04**	6.46
اشتباه آزمایشی Error	304	0.46	15.85
ضریب تغییرات CV (%)	–	9.6	-

ns: غیرمعنی‌دار و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

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

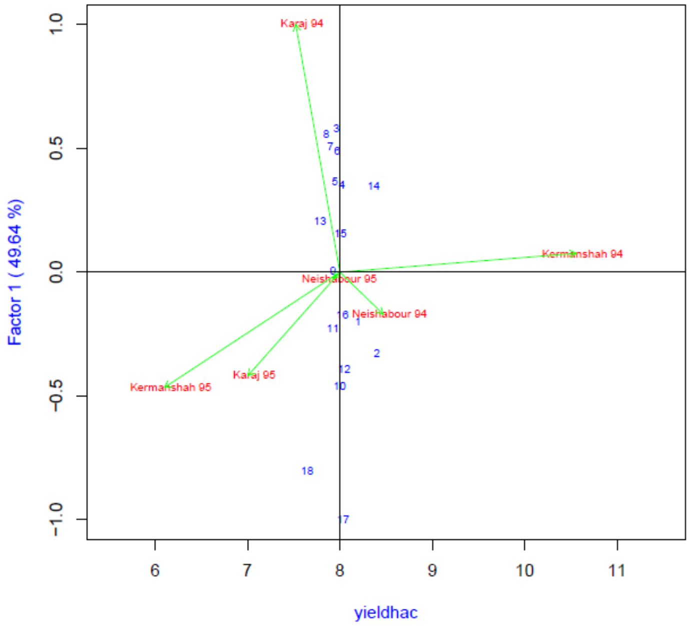
جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات اصلی افزایشی و ضریب‌پذیر برای عملکرد دانه لاین‌های گندم دوروم

Table 3- Variance analysis of additive main effects and multiplicative interaction for durum wheat lines yield

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	واریانس توجیه شده Explained variance (%)
کل Total	323	2.7	-
تیمار Treatment	107	6.75^{**}	-
ژنوتیپ Genotype	17	0.59^{ns}	1.4
محیط Environment	5	124.86^{**}	86.5
اثر متقابل(GE) Interaction (GE)	85	1.03^{**}	12.1
$IPCA_1$	21	2.07^{**}	49.64
$IPCA_2$	19	0.95^{*}	20.56
باقیمانده Residuals	45	0.85^{ns}	29.83
بلوک* Block	12	4.24^{**}	-
خطای ادغام شده Pooled error	204	0.49	-

ns: غیرمعنی‌دار و *و**: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد

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



شکل ۱- بای پلات میانگین ژنوتیپ‌ها و محیط‌ها و مقادیر اولین مؤلفه اصلی آن‌ها

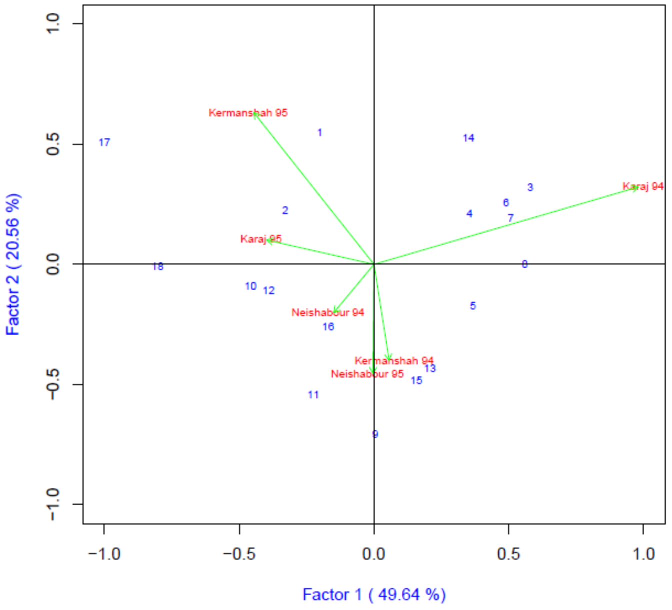
Fig. 1- Biplot of genotypes and environments mean and the values of their first IPCA

نتایج حاصل از بای‌پلات دو مؤلفه اول (شکل ۲) نشان داد که محیطهای نیشابور ۹۴ و ۹۵ و کرمانشاه ۹۴، محیطهای مشابه از لحاظ واکنش‌های اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بوده و محیطهای مؤثر جهت گزینش ژنوتیپ‌های ۹، ۱۵، ۱۶ و ۱۱ بودند. براساس این بای‌پلات، دو محیط کرج ۹۴ و کرمانشاه ۹۵ تأثیر زیادی در ایجاد اثر متقابل داشتند. همچنین ژنوتیپهای ۱۷ و ۱۸ نیز با نقش بالایی که در ایجاد اثر متقابل داشتند تحت تأثیر محیطهای کرمانشاه ۹۵ و کرج ۹۵ قابل تفکیک بودند و این ژنوتیپها قابلیت سازگاری خصوصی بالایی به این محیطها داشتند (شکل ۲).

تجزیه پایداری ژنوتیپها

مقادیر پارامترهای ژنوتیپی و رتبه‌بندی ژنوتیپها بر این اساس در جدول ۴ آورده شده است. ضرایب دو مؤلفه اول اثر متقابل به‌عنوان ساده‌ترین پارامترهای پایداری جهت انتخاب ژنوتیپها قبلاً مورد استفاده قرار گرفته است (Annicchiarico, 1997; Purchase et al., 2000). گراس گروبر و همکاران (Grausgruber et al., 2000) در گندم نان و محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2008) در گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)، باصفا و طاهریان (Basafa & Taherian, 2016) در ذرت و طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019) در جو از ضرایب مؤلفه‌های اصلی اثر متقابل (IPCA) جهت گزینش ژنوتیپهای پایدار استفاده نمودند. درپژوهش حاضر، کمترین مقدار $IPCA_1$ مربوط به ژنوتیپ‌های ۹، ۱۵، ۱۶، ۱۳، ۱۱ و ۱ و کمترین مقدار $IPCA_2$ مربوط به ژنوتیپهای ۱۸، ۱۲، ۸، ۵، ۷، ۱۶، ۶ و ۴ بود. بر اساس مقادیر $IPCA_1$ و $IPCA_2$ ژنوتیپ ۱۶ با میزان عملکرد بالاتر از میانگین کل جزء پایدارترین ژنوتیپها بود. بیشترین میزان $IPCA_1$ متعلق به ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ به ترتیب با میانگین عملکرد بیشتر و کمتر از میانگین کل بود. همچنین بیشترین ضرایب $IPCA_2$ مربوط به ژنوتیپ نه با میانگین عملکرد کمتر از میانگین کل بود.

آماره پایداری امی (ASV) نیز نشان داد که ژنوتیپهای ۱۰، ۱۶، ۱۵، ۱۳ و ۹ با کمترین مقدار ASV پایدارترین ژنوتیپ‌ها بودند. در حالی‌که ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ از نظر این شاخص، ناپایدارترین ژنوتیپها در مجموع محیطها بودند.



شکل ۲- بای‌پلات حاصل از مقادیر $IPCA_1$ و $IPCA_2$ ژنوتیپ‌ها و محیطها

Fig. 2- Bioplot resulting from $IPCA_1$ and $IPCA_2$ values of genotypes and environments

جدول ٤- میانگین عملکرد ژنوتیپ‌ها، ضرایب مؤلفه‌های اثر متقابل و آماره‌های AMMI و اکوالانس ریک و رتبه‌های ژنوتیپ‌ها

Table 4- Mean yield, coefficients of interaction components, AMMI and Wrick statistics and their ranks for genotypes

ژنوتیپ‌ها Genotypes	میانگین عملکرد Mean yield ($t.ha^{-1}$)	رتبه Rank	$IPCA_1$	رتبه Rank	$IPCA_2$	رتبه Rank	ASV_i	رتبه Rank	W^2_i	رتبه Rank	W^2_i%
1	8.193	3	-0.2	4	-0.55	17	0.73	5	1.8464	15	6.36
2	8.401	1	-0.33	7	-0.22	8	0.83	7	1.3923	9	4.79
3	7.961	11	0.58	16	-0.32	11	1.43	16	1.4055	11	4.84
4	8.022	7	0.35	8	-0.21	7	0.87	8	0.8589	2	2.96
5	7.947	12	0.37	10	0.17	5	0.91	9	1.0559	5	3.63
6	7.972	10	0.49	13	-0.25	9	1.21	13	1.4881	12	5.12
7	7.896	15	0.51	14	-0.19	6	1.24	14	1.3599	7	4.68
8	7.852	16	0.56	15	-0.002	1	1.35	15	1.0347	4	3.56
9	7.927	13	0.005	1	0.7	18	0.7	4	4.7616	18	16.39
10	7.995	10	-0.46	12	0.09	3	1.11	12	2.5062	17	8.63
11	7.925	14	-0.22	6	0.54	16	0.76	6	1.6412	13	5.65
12	8.047	4	-0.39	11	0.11	4	0.95	10	2.365	16	8.14
13	7.784	17	0.21	5	0.43	12	0.66	3	0.6304	1	2.17
14	8.366	2	0.35	9	-0.52	15	0.99	11	0.9115	3	3.14
15	8.006	8	0.16	2	0.48	13	0.62	2	1.3844	8	4.77
16	8.024	6	-0.17	3	0.26	10	0.49	1	1.2025	6	4.14
17	8.032	5	-0.99	18	-0.51	14	2.44	18	1.4048	10	4.84
18	7.647	18	-0.8	17	0.009	2	1.93	17	1.8023	14	6.2

$IPCA_1$ و $IPCA_2$: اولین و دومین مؤلفه اثرات ژنوتیپ‌ها، ASV_i: آماره پایداری امی برای ژنوتیپ‌ها، W^2i: اکوالانس ریک برای ژنوتیپ‌ها و W^2i%: درصد سهم هر ژنوتیپ در اثر متقابل

$IPCA_1$ and $IPCA_2$: The first and second components of genotypes effects, ASV_i: AMMI stability value for genotypes, W^2i: Wrick equivalence for genotypes, and %W^2i: Percentage share of each genotype in interaction

جدول ۵- میانگین عملکرد محیط‌ها، ضرایب مؤلفه‌های اثر متقابل و آماره‌های AMMI و اکووالانس ریک و رتبه‌های محیط‌ها

Table 5- Mean yield of environments, coefficients of interaction components, AMMI and Wrick statistics and their ranks for environments

سال Year	مکان Location	میانگین عملکرد Mean yield ($t.ha^{-1}$)	رتبه Rank	$IPCA_1$	رتبه Rank	$IPCA_2$	رتبه Rank	ASV_j	رتبه Rank	W^2_j	رتبه Rank	W^2_j%
2015-16	کرج Karaj	7.592	4	1.63	6	-0.53	3	15.73	5	10.87	6	37.29
2015-16	کرمانشاه Kermanshah	10.628	1	0.12	2	0.65	4	0.51	1	2.62	1	8.99
2015-16	نیشابور Neishabour	8.538	2	-0.28	3	0.33	2	0.56	2	3.37	3	11.54
2016-17	کرج Karaj	7.074	5	-0.68	4	-0.17	1	2.71	3	3.95	4	13.53
2016-17	کرمانشاه Kermanshah	6.172	6	-0.8	5	-1.03	6	4.42	4	5.55	5	19.02
2016-17	نیشابور Neishabour	7.995	3	-0.04	1	0.74	5	0.56	2	2.81	2	9.63

$IPCA_1$ و $IPCA_2$: اولین و دومین مؤلفه اثرات محیطی، ASV_j: آماره پایداری AMMI برای محیط‌ها، $W2_j$: اکوالانس ریک برای محیط‌ها، $W2_j$%: درصد سهم هر محیط در اثر متقابل

$IPCA_1$ and $IPCA_2$: The first and second components of environments effects, ASV_j: AMMI stability value for environments, $W2_j$: Wrick equivalence for environments, and $W2_j$%: Percentage share of each environment in interaction.

بر اساس پارامتر پایداری اکووالانس ریک، ژنوتیپ‌های ۴، ۱۲، ۵، ۱۶ و ۱۳ پایدارترین ژنوتیپ‌ها بوده و به ترتیب با ۲/۱۷، ۲/۹۶، ۳/۱۴، ۳/۵۶ و ۳/۶۳ درصد کمترین نقش را در اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند. در صورتی‌که ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ بـه ترتیـب بـا ۱۶/۳۹ و ۸/۶۳ درصد بیشترین نقش را در این اثر متقابل دارا بودند (جدول ۴).

تجزیه پایداری محیط

مقادیر این پارامترها و رتبه‌بندی محیط‌ها بر اساس این پارامترها در جدول ۵ آورده شده است.

محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2008) در گلرنگ و طاهریان و همکاران (Taherian et al., 2019) در جو به منظور تجزیه بهتر اثرات متقابل ژنوتیپ و محیط از پارامترهای پایداری برای محیط‌ها استفاده کردند. جهت گزینش محیط‌های مناسب با قدرت بالا در تفکیک ژنوتیپ‌ها، محیط‌ها بایستی دارای مقادیر $IPCA_1$ بالا و $IPCA_2$ پائین باشند. بر اساس این دو پارامتر، یان و همکاران (Yan et al., 2000) درگندم و یان و راجاکان (Yan & Rajcan, 2002) در سویا، ژنوتیپ‌های پایدار به محیط‌ها و نیز محیط‌های با قدرت تفکیک ژنوتیپی بالا از سایر محیط‌ها را شناسایی نمودند. در تحقیق حاضر بر اساس $IPCA_1$، محیط نیشابور ۹۵، کرمانشاه ۹۴ و نیشابور ۹۴ دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در اثر متقابل بودند که در این میان محیط کرمانشاه ۹۴ بیشترین پتانسیل عملکرد را دارا بود. محیط‌های کرج ۹۴، کرمانشاه ۹۵ و کرج ۹۵ به ترتیب با بیشترین $IPCA_1$ بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ و محیط داشتند. کمترین $IPCA_2$ محیطی به محیط کرج ۹۵ و بیشترین آن به محیط‌های نیشابور ۹۵ و کرمانشاه ۹۴ تعلق داشت. محیط‌های ایده‌آل براساس $IPCA_1$ بالاتر و $IPCA_2$ کمتر عبارت بود از محیط کرج ۹۴ (با مقادیر مثبت $IPCA_1$). بر اساس آماره پایداری محیطی امی (ASV_j)، محیط‌های کرمانشاه ۹۴، نیشابور ۹۴ و نیشابور ۹۵ دارای بیشترین پایداری و کمترین نقش در پدیده اثر متقابل بودند و از بیشترین پتانسیل عملکرد دانه نیز برخوردار بودند؛ در صورتی‌که محیط کرج ۹۴ با پتانسیل عملکرد پایین، بیشترین نقش در ناپایداری را داشت. بر اساس پارامتر اکووالانس ریک، محیط‌های کرمانشاه ۹۴ و نیشابور ۹۵ به ترتیب با ۸/۹۹ و ۹/۶۳ درصد کمترین نقش و محیط کرج ۹۵ با ۳۷/۲۹ درصد بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل داشتند (جدول ۵).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی تجزیه اثر متقابل ژنوتیپ×محیط بر عملکرد دانه ۱۸ لاین گندم دوروم با استفاده از تجزیه مدل اثر اصلی افزایشی و ضرب‌پذیر امی (AMMI) و نیز ارزیابی ژنوتیپ‌ها، محیط و اثر متقابل آنها با استفاده از آماره‌های پایداری و اکووالانس ریک نشان داد که تفاوت در رتبه ژنوتیپ‌ها در محیط‌ها نشان‌دهنده اثر متقابل ژنوتیپ و محیط می‌باشد، به طوری‌که این اثر متقابل با معنی‌دار شدن آن از لحاظ آماری در سطح احتمال یک درصد قابل توجه بود. نتایج نشان داد که محیط کرج طی هر دو سال زراعی بیشترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط دارا بود؛ در حالی‌که محیط نیشابور طی هر دو سال زراعی پایدارترین محیط بود و کمترین نقش را در ایجاد اثر متقابل ژنوتیپ×محیط داشت. همچنین محیط کرمانشاه طی سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ مشابه کرج و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ مشابه محیط نیشابور عمل کرد. بر اساس نتایج حاصل، ژنوتیپ‌های ۱۷ و ۱۸ ناپایدارترین ژنوتیپ‌ها تشخیص داده شدند. در مجموع، بر اساس نتایج این آزمایش در مجموع سال‌ها و سه منطقه، ژنوتیپ ۱۶ دارای قدرت پایداری بالا و عملکرد مطلوب در محیط‌های مورد مطالعه بود.

References

Albert, M.J.A., 2004. A comparison of statistical methods to describe genotype× environment interaction and yield stability in multi- location maize trials. MSc Thesis. Department of Plant Science. The University of the Free State, Bloemfontein.

Annicchiarico, P., 1997. Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. Euphytica 94: 53-62.

Basford, K.E., and Cooper, M., 1998. Genotype by environment interaction and some considerations of their implication for wheat breeding in Australia. Australian Journal of Agricultural Research 49: 154-175.

Cornelius, P.I., 1993. Statistical tests and retention of terms in the additive main effects and multiplicative interaction model for cultivar trials. Crop Science 33: 1186-1193.

Cornelius, P.L., Crossa, J., and Seyedsadr, M.S., 1996. Statistical tests and estimates of multiplicative models for GE interaction. In: kang, M.S. and H.G. Jr. Gauch (Eds.). Genotype-by- Environment Interaction. (pp.199-234). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Croosa, J., Gauch, G.H., and Zobell, R.W., 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. Crop Science 30: 493-500.

Ebdon, J.S., and Gauch, H.G., 2002. Additive main effect and multiplicative interaction analysis of national turf grass performance trials: I. Interpretation of genotype× environment interaction. Crop Science 42: 489-496.

Eberhart, S.A., and Russell, W.A., 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science 6: 36-40.

Finlay, K.W., and Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding program. Australian Journal of Agricultural Research 14: 742-754.

Gauch, H.G., and Zobel, R.W., 1996. AMMI analysis of yield trials. In: Kang, M.S., and H.G. Jr. Gauch (Eds.), Genotype- by- Environment Interaction. (pp. 85-122). CRC Press, Boca Raton, Florida.

Grausgruber, H., Oberforster, M., Werteker, M., Ruckenbauer, P., and Vollmann, J., 2000. Stability of quality traits in Australian grown winter wheat. Field crop Research 66: 257-267.

Hayward, M., Bosemard, D., and Romagosa, L., 1993. Plant breeding. Chapman and Hall, UK.

Huhn, M., 1996. Nonparametric analysis of genotype× environment interaction by ranks. In: Kang, M.S., and Gauch, H.G.Jr. (Eds.), Genotype- by- Environment Interaction. (pp. 235-271). CRC Press, Boca Raton. Florida.

Isik, K., and Kleinschmit, J., 2005 .Similarities and effectiveness of test environments in selecting and deploying desirable genotypes. Theoretical and Applied Genetics 110: 311-322.

Kang, M.S., 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance genotype × environment interaction 239 trials: consequences for growers. Agronomy Journal 85: 754-757.

Kang, M.S., 1998. Using genotype× environment interaction for crop cultivar development. Advances in Agronomy 62: 199-252.

Kang, M.S., and Magari, R., 1996. New Developments in Selecting for Phenotypic Stability in Crop Breeding. In: M.S. Kang, and H.G. Zobel (Eds.), Genotype- by- Environment interaction, 1-14. CRC Press, Boca Raton.

Moayedi, A.A., Najafi Mirak, T., Taherian, M., Sasani, S., and Azarm, A., 2020. Evaluation of grain yield stability of durum wheat promising lines in moderate regions of Iran. Journal of Agroecology 12(2): 365-378. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Armion, M., Sadeghzadeh, B., Golkari, S., Khalilzadeh, H., Ahmadi, G., Abedi-Asl, M., and Eskandari, M., 2016. Assessment of grain yield stability and adaptability of rainfed durum wheat breeding lines. Applied Field Crops Research 29(4): 25-42. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Pourdad S.S., and Amri, A., 2008. Grain yield stability of spring safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Australian Journal of Agricultural Research 59: 546-553.

Najafi Mirak, T., Dastfal, M., Andarzian, B., Farzadi, H., Bahari, M., and Zali, H., 2018. Evaluation of durum wheat cultivars and promising lines for yield and yield stability in warm and dry areas using AMMI model and GGE Biplot. Journal of Crop Breeding 10(28): 1-12. (In Persian with English Summary)

Najafi Mirak, T., Moayedi, A.A., Sasani, S., and Ghandi, A., 2019. Evaluation of adaptation and grain yield stability of durum wheat (*Triticum turgidum* L.) genotypes in temperate agro-climate zone of Iran. Iranian Journal of Crop Sciences 21(2): 127-138. (In Persian with English Summary)

Purchase, J., 1997. Parametric analysis to describe genotype× environment interaction and yield stability in winter wheat. Ph.D.University of the Free State, South Africa.

Purchase, J.L., Hatting, H., and Van Deventer, C.S., 2000. Genotype× environment interaction of winter wheat in South Africa: II. Stability analysis of yield performance. South Africa Journal of Plant and Soil 17(3): 101-107.

Schoeman, L.J., 2003. Genotype× environment interaction in sunflower (*Helianthus annuus*) in South Africa. MSc Thesis, Department of Agronomy, University of the Free State, Bloemfontein.

Shafi, B., Mahler, K.A., Price, W.J., and Auld, D.L., 1992. Genotype× environment interaction effects on winter rapeseed yield and oil content. Crop Science 32: 922-927.

Suadric, A., Simic, D., and Vratric, M., 2006. Characterization of genotype by environment interactions in soybean breeding program of Southeast Europe. Plant Breeding 125: 125-191.

Taherian, M., Bihamta, M.R., Peyghambari, S.A., Alizadeh, H., and Rasoulnia, A., 2019. Stability analysis and selection of salinity tolerant barley genotypes. Journal of Crop Breeding 11(29): 93-103.

Van Eeuwijk, F.F., 1992. Multiplicative models for genotype. Environment interaction in plant breeding. Statistical Applied Genetics 4: 393-406.

Wricke, G., 1962. Uber eine method zur refassung der okologischen streubretite in feldversuchen, Flazenzuecht 47: 92-

96.
Yan, W., 2001. GGE Biplot- a Windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two- way data. Agronomy Journal 93(5): 1111-1118.
Yan, W., and Rajcan, I., 2002. Biplot analysis of test sites and trait relations of soybean in Ontario. Crop Science 42: 11-20.
Yan, W., Hunt, L.A., Sheng Q., and Szlavnics, Z., 2000. Cultivar evaluation and mega- environment investigation based on the GGE Biplot. Crop Science 40: 597-605.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 359-371

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۷۱-۳۵۹

Stability Analysis of Seed Yield in Durum Wheat Genotypes (*Triticum turgidum* L. var durum) using AMMI Analysis

AA. Moayyedi[1*], T. Najafi Mirak[2], G.H. Ahmadi[3] and A. Ghandi[4]

Submitted: 03-05-2020
Accepted: 28-06-2020

Moayyedi, A.A., Najafi Mirak, T., Ahmadi, G.H., and Ghandi, A., 2020. Stability analysis of seed yield in durum wheat genotypes (*Triticum turgidum* L. var durum) using AMMI analysis. Journal of Agroecology. 12(3): 359-371.

Introduction

Durum wheat (*Triticum turgidum* L. var durum) consists of only 5% of the world's total cultivated wheat area and contributes about 10% to the total global wheat production. In recent years, the production level of durum wheat has risen to more than 30 million tons and EU, USA and Canada together representing 60% of the production. Durum wheat in Iran is grown on 300-400 thousand hectares with an average annual production of 500-600 thousand tons. Increase in yield is one of the primary aims pursued in plant breeding programs. Similar to other crops, insufficient yield stability in durum wheat is recognized as a one of the factors responsible for the gap between actual yield and potential yield. In breeding programs, the identification of superior genotypes is difficult due to environmental variability of target locations and the interaction of these variability with the investigated genotypes. Therefore, it is important to evaluate the advanced agronomic lines across various environments and over multiple years to ensure their yield stability and production. Many statistical models have been suggested to analyze G×E interaction. The additive main effects and multiplicative Interaction (AMMI) model is a multivariate statistical method that entirely justifies genotype and environment main effects as well as multiplicative G×E interaction effects. This method provides a clear interpretation of G×E interaction effect. The objectives of this study were to analyze genotype by environment (GE) interactions on the seed yield of some durum wheat lines by AMMI model and to evaluate genotype (G), environment (E) and genotype× environment (GE) interactions using statistics parameter i.e. AMMI stability value (ASV) and ecovalence ($W2_i$).

Materials and Methods

Sixteen promising durum wheat lines (G_1-G_{16}) along with two check cultivars (durum wheat cv. Hana and bread wheat cv. Parsi), were investigated for two cropping seasons (2015-2016 and 2016-2017) at three Agricultural Research Stations (such as Karaj, Kermanshah and Neishabour cities) The experimental design at all locations was a randomized complete block design with three replications. Some agronomic attributes such as the number of days until anthesis stages, plant height, number of days till physiological maturity, 1000-kernel weight and grain yield were determined for each genotype. However, only the grain yield data was used to analyze G×E interactions. Combined analysis of variance for grain yield was performed using ADEL-R software. The GGE Biplot methodology was employed to analyze G×E interaction. The AMMI M model was used for the following purposes; (i): Evaluation of yield stability, (ii): The simultaneous selection for yield and

1- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2- Associate Professor of Cereal Research Department, Seed and Plant Research Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran.
3- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Kermanshah Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Kermanshah, Iran.
4- Assistant Professor of Horticulture Crop Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Resaerch and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: moayediali@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.87607

stability, (iii): Identification of ideal durum wheat genotypes, and (iv): Assessment of the characteristics of and relationships among the testing environments.

Results and Discussion

The combined analysis of variance showed that the main effects of year and location were significant at 1% probability level, while the main effect of genotype had not significant. Genotype× year interaction and triple genotype × year × location interaction were significant at 1% probability level and also genotype × location interaction was significant at 5% probability level, indicating genotype × environment interaction. The results of AMMI ANOVA showed that about 86.5% of total variation was related to environment effect, 1.4% to genotype effect and 12.1% to genotype× environment interaction. Overall, the average grain yield of the evaluated lines ranged from 7.6 to 8.4 $t.ha^{-1}$ and the G_{18} and G_2 lines had the lowest and highest grain yield, respectively. Main effect due to environment and genotype × environment interaction as well as two first interaction principal components ($IPCA_{1-2}$) were found to be significant, indicating that the agroclimatic environmental conditions were different, and that there was a differential response of the genotypes to the environments. The first two IPCA components of the GE interaction explained about 70.2% of the GE interaction. According to $IPCA_1$, G_9, G_{15} and G_{16} had the lowest scores and were the most stable genotypes whereas G_{17} and G_{18} with the highest scores were found to be unstable. The lowest ASV was observed for G_{16} that was the most stable genotype whose mean yield was higher than the grand mean. However, the highest ASV scores were achieved by G_{17} and G_{18}. AMMI Biplot was used to visualize mean seed yield performance and stability of durum wheat genotypes. AMMI Biplot was able to distinguish stable genotypes with broad sense and narrow sense adaptation and environments with high and low genotype discrimination ability. The genotype G_{16} with higher seed yield than the total mean were the most stable genotypes, while the genotypes G_{17} and G_{18} with the highest contribution to GE interaction were the most unstable genotypes. Wricke's ecovalence stability parameter (W^2_i) showed that the genotypes G_{16}, G_{12}, G_5 and G_4 were the most stable genotypes.

Conclusion

The results indicated that AMMI model and their biplots was an appropriate method for simultaneous selection of performance and stability of cultivars and lines. Also, according to all of methods, genotype G_{16} was selected as a stable and high genotype across all environments. Finally, it can be considered as a favorite promising line compared to the check cultivar Hana and as a candidate in the temperate climate.

Keywords: Genotype × environment interaction, Stability, Superior genotype.

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۸۸-۳۷۳

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 373-388

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.)

محمدحسین امینی‌فرد[1]*، مژگان غلامی[2]، حسن بیات[3] و فرید مرادی‌نژاد[1]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۵

امینی‌فرد، م.ح.، غلامی، م.، بیات، ح. و مرادی‌نژاد، ف. ۱۳۹۹. تأثیر کاربرد کودهای اسید فولویک و اسید آمینه بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی، رشدی و عملکرد گشنیز (*Coriandrum sativum* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۳۸۸-۳۷۳.

چکیده

گیاه دارویی گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران است که در صورت شناخت صحیح می‌تواند نقش مهمی در اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشد. در نظام کشاورزی پایدار، مصرف نهاده‌های آلی و زیستی به‌منظور دستیابی به افزایش کیفیت محصول، حفظ محیط زیست و سلامت جامعه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. لذا به‌منظور بررسی اثرات اسید فولویک و اسید آمینه بر صفات رویشی و زایشی گشنیز، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. فاکتورها شامل اسید فولویک در سه سطح (صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) و محلول‌پاشی اسید آمینه در دو سطح (صفر و سه در هزار) با سه تکرار بودند. نتایج نشان داد که اسید فولویک اثر معنی‌داری بر صفات رویشی (ارتفاع، وزن تر و خشک بوته، تعداد شاخه فرعی، تعداد برگ و وزن خشک برگ) داشت، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و خشک بوته (به‌ترتیب، ۴۹/۹ و ۷/۳ گرم در بوته) در نتیجه اعمال تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک به‌دست آمد، همچنین نتایج، نشان‌دهنده تأثیر معنی‌دار اسید فولویک بر صفات زایشی (عملکرد دانه، عملکرد بوته، شاخص برداشت و تعداد بذر) بود، به‌طوری‌که بالاترین عملکرد دانه (۹۴۲/۵ کیلوگرم در هکتار) در سطح ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک تولید شد و کمترین مقدار (۷۱۰/۰ کیلوگرم در هکتار) در شاهد مشاهده شد. اسید آمینه نیز بر صفات رویشی (تعداد برگ و وزن تر و خشک برگ) و صفات زایشی (عملکرد دانه، تعداد بذر و وزن هزاردانه) تأثیرگذار بود، به‌طوری‌که بیشترین تعداد برگ (۲۷/۰ تعداد در بوته) و عملکرد دانه (۸۷۳/۳ کیلوگرم در هکتار) با کاربرد سه در هزار اسید آمینه حاصل شد. نتایج اثرات متقابل نیز نشان داد، که سطوح مختلف اسید فولویک و اسید آمینه تأثیر معنی‌داری بر صفات (عملکرد دانه، عملکرد بوته، تعداد بذر در بوته و وزن هزار دانه) داشتند، به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد دانه و تعداد بذر در بوته (به‌ترتیب با ۹۸۵/۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۰۴/۶ تعداد در بوته) از تیمار پنج کیلوگرم اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه به‌دست آمدند. بر اساس این نتایج، می‌توان تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه را در افزایش ویژگی‌های عملکردی و رشدی گشنیز در این آزمایش مؤثر دانست.

واژه‌های کلیدی: تعداد بذر، رشد، شاخص برداشت، عملکرد بیولوژیکی.

مقدمه

رویکرد روزافزون استفاده از گیاهان دارویی و فرآورده‌های به‌دست‌آمده از آن‌ها، نقش این گیاهان را در چرخه اقتصادی جهانی پررنگ‌تر کرده است، به‌طوری‌که مصرف رو به افزایش آن‌ها، تنها به کشورهای در حال توسعه محدود نبوده، بلکه در کشورهای پیشرفته نیز توسعه فراوانی یافته‌اند (Moradi et al., 2007). گشنیز با نام علمی *Coriandrum sativum* L. گیاهی دارویی، معطر، یک‌ساله و از خانواده چتریان می‌باشد. میوه و پیکره رویشی این گیاه حاوی اسانس است و از این اسانس در صنایع غذایی، آرایشی، بهداشتی،

۱- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه بیرجند بیرجند، ایران.
۳- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشگاه بیرجند بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i374672

شکلات و نوشابه‌سازی استفاده می‌شود. در منابع مختلف برای این گیاه، اثرات درمانی نظیر خاصیت ضدمیکروبی، کاهنده قند خون و چربی خون و پایین‌آورنده فشار خون بیان شده است (Omidbaigi, 2000).

امروزه نیاز به حفظ عملکرد کشاورزی و وجود نگرانی‌هایی چون فرسایش خاک، تولید مواد غذایی سالم و عاری از بقایای مواد شیمیایی، نگهداری از محیط زیست، پسماندهای شیمیایی به‌ویژه نیترات‌ها و آفت‌کش‌ها باعث افزایش علاقه به روش‌های مدیریتی برای دستیابی به کشاورزی پایدار از جمله کشاورزی ارگانیک شده است (Javanmardi, 2010). در سیستم‌های کشاورزی پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیری که حداکثر محاسن اکولوژیکی و حداقل مضرات زیست‌محیطی را دارا باشند، امری ضروری است (Kizilkaya, 2008). از جمله این منابع تجدیدپذیر می‌توان به استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار نظیر اسیدهای آلی اشاره کرد. امروزه، استفاده از انواع اسیدهای آلی برای بهبود کمّی و کیفی محصولات زراعی و باغی رواج فراوان یافته است. مقادیر بسیار کم از اسیدهای آلی، اثرات قابل ملاحظه‌ای در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، خصوصاً در خاک‌های مناطق خشک و کم‌آب که دارای درصد مواد آلی کمی هستند، می‌باشد و به‌دلیل وجود ترکیبات هورمونی اثرات مفیدی در افزایش تولید و بهبود کیفیت محصولات کشاورزی در این مناطق دارند. قسمت اعظم هوموس خاک‌های مناطق گرمسیری و معتدله را هیومین تشکیل می‌دهد. اسید هیومیک با وزن مولکولی ۳۰ تا۳۰۰ کیلودالتون و اسید فولویک با وزن مولکولی کمتر از ۳۰ کیلودالتون به‌ترتیب سبب تشکیل کمپلکس پایدار نامحلول و محلول با عناصر میکرو می‌گردند. اسید هیومیک دارای درصد کربن بیشتری نسبت به اسید فولویک بوده، ولی اسید فولویک، اکسیژن بیشتری نسبت به اسید هیومیک دارد (Samavat & Malakooti, 2005). اسید فولویک از منابع مختلف نظیر خاک، هوموس، پیت، لیگنیت اکسید شده، زغال سنگ و غیره استخراج می‌شود که در اندازه مولکولی و ساختار شیمیایی متفاوت هستند. اسید فولویک با کلات کردن عناصر ضروری، سبب افزایش جذب عناصر شده و باروری خاک و تولید در گیاهان را افزایش می‌دهند (Tahir et al., 2011). نتایج تحقیقات عزیزی و همکاران (Azizi et al., 2007) نشان داد که کاربرد مواد هیومیکی سبب افزایش ارتفاع گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) شد. در پژوهشی دیگر بیان شد که مصرف فولویک اسید سبب افزایش وزن‌تر و خشک برگ و ساقه در گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) می‌شود (Gulser et al., 2010). یکی دیگر از کودهای آلی، اسیدهای آمینه می‌باشند. اسید آمینه، ترکیب آلی دارای نیتروژن است و محصولات با پایه اسید آمینه در دهه گذشته به‌وسیله کشاورزان استفاده شده است و باعث بهبود عملکرد و رشد گیاهان مختلف شده است. مزایای استفاده از اسید آمینه با محتوای نیتروژن آلی در ارتباط با تعامل مثبت و سازنده با در دسترس بودن برخی مواد معدنی و مغذی است (Cerdna et al., 2009). ارزش استفاده از فرآورده‌های زیستی با مجموعه‌ای از اسیدهای آمینه آزاد در این است که به‌دلیل غنای اسید آمینه‌ای این فرآورده‌ها، سلول نیازی به بیوسنتز مجدد این ترکیبات نداشته و انرژی مورد نیاز جهت این بیوسنتز، در گیاه ذخیره می‌شود. این فرآورده‌ها با تأثیر بر روند پروتئین‌سازی در سطوح ژنی و همچنین اثرگذاری بر سوخت‌وساز گیاهی، رشد و تکوین گیاه را تنظیم نموده و در مراحل مختلف رشد، کارایی و کاربرد خاص خود را با محلول‌پاشی در اختیار گیاه قرار می‌دهند. در واقع تغذیه برگی اسیدهای آمینه آزاد می‌تواند یک منبع مهم برای سنتز پروتئین در گیاه باشد (Raeisi et al., 2014). کائو و همکاران (Cao et al., 2010) در بررسی خود مشاهده کردند که کاربرد خارجی اسید آمینه باعث افزایش عملکرد گل‌های کلم چینی (*Brassica oleracea* L.) می‌شود. همچنین در پژوهشی دیگر استفاده از اسیدهای آمینه منجر به افزایش ارتفاع، قطر بوته و وزن تر و خشک بوته نسبت به شاهد در گیاه دارویی زوفا (*Hyssopus officinalis* L.) گردید (Koocheki, 2008). نقش اسید فولویک در گیاه مشابه اسید هیومیک است. اسید فولویک فعال‌ترین ترکیب هیومیکی بوده و باعث حل شدن مواد معدنی در آب شده و به راحتی عناصر غذایی را از طریق یک کمپلکس به گیاه منتقل می نماید. قدرت کلات کنندگی اسید فولویک در خاک منحصربه‌فرد است. همچنین اسید فولویک می تواند ویتامین‌ها، ایزوآنزیم‌ها، هورمون‌ها و آنتی بیوتیک‌های طبیعی را در خود حل نموده و از این طریق باعث بهبود رشد و نمو گیاه گردد (Samavat & Malakooti, 2005). با توجه به این‌که تاکنون گزارشی در خصوص تأثیر اسید فولویک و اسید آمینه بر صفات کمّی و کیفی گیاه گشنیز نشده است، هدف از اجرای این طرح، مطالعه و ارزیابی تأثیر سطوح مختلف اسید آمینه و اسید فولویک به‌تنهایی و همچنین اثر متقابل آن‌ها بر رشد رویشی و زایشی گیاه دارویی گشنیز می‌باشد، تا ضمن مشخص شدن اثرات این

کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات رشدی و فیزیولوژیکی گشنیز، بتوان در صورت مثبت بودن این کودها بر ویژگی‌های رشدی گشنیز، ضمن کاهش اتکا به کودهای شیمیایی، بتوان در جهت تولید پایدار و افزایش کیفیت این گیاه دارویی مهم گام برداشت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۵ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند اجرا شد. قبل از کشت جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی انجام شد (جدول ۱). تیمارهای آزمایشی به‌صورت ترکیبی از سه سطح اسید فولویک (صفر، ۵ و ۱۰ کیلوگرم در هکتار) و دو سطح اسید آمینه (صفر و سه در هزار) تعیین شدند. به‌منظور انجام آزمایش، پس از عملیات شخم، دیسک و مسطح کردن خاک اقدام به کرت‌بندی زمین نموده و کرت‌هایی به‌ابعاد ۲ × ۲ متر ایجاد شد، فاصله بین کرت‌ها و بلوک‌ها از یکدیگر به‌ترتیب یک و دو متر (با احتساب جوی‌های آبیاری) در نظر گرفته شد. کشت به‌صورت خطی در پنجم اردیبهشت سال ۱۳۹۵ انجام گرفت. هر کرت دارای هشت ردیف کاشت که فاصله کاشت بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر و در عمق کاشت یک تا ۱/۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری اول هم‌زمان با کاشت (پنجم اردیبهشت سال ۱۳۹۵ به‌صورت سطحی) و آبیاری دوم، پنج روز بعد از آبیاری اول به‌منظور تسهیل در سبز شدن بذرها انجام شد. کود اسید فولویک (حاوی ۷۰ درصد اسید فولویک، ۱۵ درصد اسید هیومیک و ۷ درصد پتاسیم اکسید، ساخت شرکت Assist- آمریکا) همراه با آب آبیاری به خاک در مرحله شش‌برگی به گیاه داده شد. کود اسید آمینه مورد استفاده در این پژوهش با نام تجاری تکامین مکس، به‌صورت مایع (حاوی ۱۴درصد اسید آمینه، ۱۲درصد اسید آمینه ایزومر، ۶۰ درصد ماده آلی و هفت درصد نیتروژن) بود. محلول‌پاشی کود اسید آمینه بر اساس سطوح مختلف از مرحله شش‌برگی تا مرحله گل‌دهی طی سه نوبت به‌فاصله ۱۴ روز اعمال شد. در طی دوره رشد گیاه، آبیاری به‌طور مرتب هر پنج روز انجام شد. همچنین وجین علف‌های هرز و سله‌شکنی در چند مرحله انجام شد. صفات مورد نظر شامل ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، تعداد شاخه فرعی، وزن تر بوته، وزن خشک بوته، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و وزن هزار دانه بودند. بعد از اعمال تیمارها، هر کرت به دو قسمت تقسیم شد. یک بخش برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک و اجزای عملکرد آن در نظر گرفته شد و بخش دیگر برای تعیین عملکرد دانه آن اختصاص یافت. برداشت بخش سبزینه گیاه (عملکرد بیولوژیک) در مرحله پنج درصد گل‌دهی در دو چین از بخش اختصاص یافته به آن انجام گرفت. قبل از برداشت تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و ویژگی‌هایی از جمله ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های جانبی و وزن تر و خشک برگ، در هر بوته تعیین شد و عملکرد نهایی در هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای از سطح باقی مانده محاسبه شد. جهت تعیین عملکرد دانه، زمانیکه قسمت اعظم بوته‌ها زرد شدند، برداشت گیاهان از بخش اختصاص یافته به این منظور با حذف اثر حاشیه‌ای صورت گرفت. شاخص برداشت از تقسیم عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک، به‌صورت درصد محاسبه شد. همچنین قبل از برداشت نهایی پنج بوته انتخاب و تعداد چتر و چترک در بوته شمارش و ثبت شد. برای تعیین وزن هزار دانه، بوته‌های گشنیز از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و سپس پنج نمونه ۱۰۰۰ تایی بذر انتخاب و پس از خشک نمودن در هوای آزاد، وزن هزار دانه با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و ثبت شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش از نرم افزار SAS 9.1 استفاده شد. میانگین‌ها بر اساس آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد با یکدیگر مقایسه شدند.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل انجام آزمایش

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

بافت Texture	شاخص واکنش pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی Organic matter (%)	نیتروژن کل Total N (%)	پتاسیم K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر P ($mg.kg^{-1}$)
لومی Loam	7.7	2.3	0.68	0.06	220	40

نتایج و بحث

ارتفاع: نتایج آزمایش (جدول ۲)، بیانگر اثر معنی‌دار اسید فولویک و اسید آمینه و اثر متقابل این تیمارها بر صفت ارتفاع بود. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با کاربرد ترکیبی از پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه، ارتفاع گیاه به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که بیشترین میزان ارتفاع (۴۲/۵ سانتی‌متر) از تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه و کمترین میزان آن (۲۸/۵ سانتی‌متر) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۸)، به‌طوری‌که ارتفاع در تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه نسبت به شاهد ۴۹/۱ درصد افزایش یافت. های‌یانگ و همکاران (Hye Young et al., 2014) در مطالعات خود، بیشترین ارتفاع گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) را در نتیجه استفاده از اسید فولویک گزارش کرد. استفان و چالز (Stephen, 2005) نیز اعلام داشتند که افزایش طول ساقه در گیاه فلفل (*Capsicum annuum* L.) در اثر استفاده از مواد هیومیکی به اثبات رسیده است. آتیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) در این مورد بیان نمودند که استفاده از مواد هیومیکی (اسید هیومیک و اسید فولویک) غلظت هورمون‌های رشد نظیر اکسین را در اندام‌های هوایی گیاه افزایش داده و این امر می‌تواند موجب افزایش ارتفاع گردد. آیاز و گالسر (Ayas & Gulser, 2005) نیز عنوان نمودند که افزایش طول گیاه از طریق افزایش در محتوی نیتروژن گیاه نیز حاصل می‌شود. همسو با این تحقیق، صبوری و همکاران (Saburi et al., 2014) اظهار داشتند که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه نیز تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع ریحان سبز داشت. همچنین در پژوهشی که روی گیاه بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) انجام گرفت، نتایج نشان داد، محلول‌پاشی اسید آمینه می‌تواند سبب افزایش ارتفاع بوته بابونه شود (Haj Seyyed Hadi et al., 2010). اسیدهای آمینه روی جذب نیتروژن از خاک اثر گذاشته و باعث افزایش نیتروژن گیاه شده و به تبع آن رشد رویشی از جمله ارتفاع گیاه را افزایش داده است. همچنین مطالعات نشان داده‌اند که اسیدهای آمینه به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم بر فعالیت‌های فیزیولوژیک و رشد و نمو گیاه مؤثر واقع می‌شوند (Faten et al., 2010). به نظر می‌رسد که سطح معنی‌داری اثرات ساده کودهای استفاده شده نسبت به اثر ترکیبی آن‌ها بهتر بوده است. مشابه این آزمایش، نجفی (Najafi, 2016) گزارش کرد که اثر ساده تیمارهای کودی اسید آمینه، اسید فولویک و اسید هیومیک تأثیر معنی داری بر طول بوته خیار مزرعه‌ای (*Cucumis sativus* L.) داشتند. اثر متقابل تیمارها اگر چه اثر مثبتی بر طول بوته داشت، امّا نسبت به اثر ساده تیمارها اثر کمتری داشت. همچنین نتایج آزمایش سهرابی رنانی (Sohrabi Renani, 2013) نشان داد که اثر ساده فاکتورهای کودهای آلی و زیستی بر ارتفاع بوته سیاه‌دانه (*Nigella sativa* L.) معنی‌دار بوده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات صفات رویشی گشنیز تحت تاثیر تیمارهای اسید فولویک و اسید آمینه در مرحله رویشی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) characteristics of coriander vegetative traits under folwic acid and amino acid treatments in vegetative stage

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	وزن تر بوته Fresh weight of plant	وزن خشک بوته Dry weight of plant	تعداد شاخه فرعی Number of branches
بلوک Block	2	10.50^{ns}	20.81^{ns}	0.99^{ns}	0.88^{ns}
اسید فولویک (F) Fulvic acid (F)	2	118.50**	339.3*	4.89**	9.38**
اسید آمینه (A) Amino acid (A)	1	45.12**	27.75^{ns}	0.101^{ns}	4.50^{ns}
F×A	2	7.26*	102.3^{ns}	4.34**	1.50^{ns}
خطا Error	10	4.2	48.34	0.37	1.22
ضریب تغییرات C.V. (%)		5.81	16.54	9.63	11.50

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

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

امّا اثر متقابل این فاکتورها اگر چه معنی‌دار نبود، ولی موجب افزایش ارتفاع بوته‌ها شد. لذا به نظر می‌رسد در دسترس بودن آب و تأمین تدریجی عناصر غذایی ضروری گیاه در تیمار کودهای آلی و زیستی هرکدام به‌تنهایی از طریق افزایش تعداد گره و طول میان‌گره‌ها ارتفاع بوته را تحت تأثیر قرار دهد (Berti & Jacobs, 1996).

تعداد شاخه جانبی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲)، که اسید فولویک تأثیر معنی‌داری بر تعداد شاخه جانبی مورد نظر داشت، امّا اسید آمینه و اثر متقابل تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. مقایسه میانگین صفت مورد بررسی حاکی از آن است، که تمامی سطوح اسید فولویک دارای اثر مثبت بر تعداد شاخه فرعی بودند. به‌طوری‌که بیش‌ترین تعداد شاخه جانبی از تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک (۱۰/۳ تعداد در بوته) و کمترین میزان این صفت از شاهد (۸/۱ تعداد در بوته) به‌دست آمد، هر چند بین تیمارهای پنج و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک در تعداد شاخه فرعی تفاوت آماری وجود نداشت و تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک نسبت به شاهد ۲۷/۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۴). مشابه این تحقیق، مرادی و همکاران (Moradi et al., 2007) افزایش معنی‌داری را در تعداد شاخه جانبی در کاربرد کودهای آلی (از جمله اسید فولویک) در گیاه رازیانه (*Foeniculum vulgae* L.) گزارش کردند. فاطمی و همکاران (Fatemi et al., 2011) نیز در بررسی‌های خود نشان دادند که استفاده از مواد هیومیک (نظیر اسید فولویک و اسید هیومیک) سبب افزایش تعداد شاخه جانبی در گیاه ریحان شد. همچنین گزارش شده است، که مواد هیومیکی با رهاسازی عناصر معدنی در سطح برگ و ارتقاء جذب برگی، می‌توانند تأثیر مثبتی بر تعداد شاخه جانبی داشته باشد. جهان و همکاران (Jahan et al., 2015) نیز به این نتیجه دست یافتند که مواد هیومیکی احتمالاً از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی دخیل در جذب آب توسط ریشه، کارایی فراهمی آب قابل دسترس برای گیاه را افزایش می‌دهند و در نتیجه، سبب افزایش تعداد شاخه فرعی می‌گردند. نتایج حاصل از سایر بررسی‌ها نیز نتیجه این مطالعه را تأیید می‌کنند.

تعداد برگ: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده اسید فولویک و اثر متقابل اسید فولویک و اسید آمینه بر میزان تعداد برگ معنی‌دار بود، امّا اثر ساده اسید آمینه نتوانست این صفت را تحت تأثیر خود قرار دهد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین میزان تعداد برگ (۲۹/۱ تعداد در بوته) از تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و کمترین آن‌ها (۲۲/۶ تعداد در بوته) از شاهد به‌دست آمد، هر چند از لحاظ آماری در این صفت، بین تیمارهای پنج و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک تفاوت آماری مشاهده نشد (جدول ۵). همچنین در نتایج اثر متقابل تیمارها ملاحظه شد که بیشترین تعداد برگ (۳۱/۳ تعداد در بوته) از تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه و کمترین (۲۰/۶ تعداد در بوته) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۸). مشابه نتایج این تحقیق، نورزاد و همکاران (Noorzad et al., 2014) نشان دادند بیشترین تعداد برگ بوته در گشنیز، در اثر کاربرد مواد هیومیکی مشاهده شد. رضوانی‌مقدم و همکاران (Rezvani Moghaddam et al., 2013) نیز گزارش کردند، کاربرد مواد هیومیک (اسید فولویک و اسید هیومیک) سبب افزایش رشد و به‌دنبال آن سبب افزایش تعداد برگ گیاه مرزه (*Satureja hortensis* L.) شد. در گزارشی دیگر سخنگوی و همکاران (Sokhangoy et al., 2012) بیان نمودند، با مصرف مواد هیومیکی تعداد برگ گیاه شوید افزایش پیدا کرد. نجفی (Najafi, 2016) نیز در تحقیق خود به تأثیر مثبت مواد هیومیکی (اسید فولویک و اسید هیومیک) بر افزایش تعداد ساقه فرعی خیار اشاره کردند. همچنین، حسین و همکاران (Hussein et al., 2015) مشاهده نمودند که اسید فولویک اثر معنی‌داری بر تعداد برگ گیاه گوجه‌فرنگی داشت. اشنیتزر (Schnitzer, 1977) در نتایج مشابهی بیان کردند که اسید فولویک سبب افزایش تعداد برگ در گیاه خیار شد. بویری ده شیخ و همکاران (Boyerie de Sheikh et al., 2016) طی تحقیقی گزارش کردند که مواد هیومیکی با اصلاح ساختار خاک سبب افزایش گستردگی ریشه، جذب آب و عناصر غذایی و در نتیجه، افزایش تعداد برگ گیاه می‌گردد. این نتایج، با آنچه که توسط عثمان و سالیم (Osman & Salim, 2016)، یاسن و همکاران (Yassen et al., 2013) در مورد اثر اسید آمینه بر تعداد برگ لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) گزارش شده است، مطابقت دارد. لیویت (Levitt, 1980) به این نتیجه رسید که اسید آمینه می‌تواند با تولید سلول های جدید از طریق بازگرداندن آنزیم‌های خاص برای سنتز پروتئین سبب افزایش تعداد برگ گیاه شود. سایکیا و همکاران

(Saikia et al., 010) نیز اظهار داشتند، از آن‌جا که علت افزایش تعداد برگ می‌تواند به‌دلیل افزایش جذب نیتروژن باشد، لذا این عنصر با اثرگذاری بر فرآیندهای تقسیم سلولی و ساخت کلروفیل می‌تواند باعث افزایش رشد رویشی و در نهایت، افزایش تعداد برگ در گیاه شود.

وزن تر و خشک برگ: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۸) نشان داد که اثر ساده اسید آمینه اثر معنی‌داری بر میزان وزن تر و خشک برگ داشت، امّا اسید فولویک و اثر متقابل تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشت. مقایسه میانگین تیمارها نشان داد، کاربرد اسید آمینه سبب افزایش میزان وزن تر و خشک برگ در مقایسه با شاهد شد، به‌طوری‌که بیشترین وزن تر و خشک برگ (به‌ترتیب ۸/۵ و ۱/۳ گرم) از تیمار سه در هزار اسید آمینه و کمترین میزان این صفات (به‌ترتیب ۷/۷ و ۱/۰ گرم) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۷). ملاحظه شد در تیمار سه در هزار اسید آمینه، میزان وزن تر و خشک برگ نسبت به شاهد به‌ترتیب، ۱۰/۳ و ۳۰ درصد افزایش یافت. مشابه نتایج این تحقیق، فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2018) بیان نمودند که با مصرف اسید آمینه، وزن تر و خشک برگ گیاه ریحان نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری یافت. خطاب و همکاران (Khattab et al., 2016) نیز گزارش کردند که استفاده از اسید آمینه باعث افزایش فعالیت فتوسنتزی و افزایش رشد و به‌دنبال آن افزایش وزن تر و خشک برگ می‌گردد.

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات صفات رویشی گشنیز تحت تاثیر تیمارهای اسید فولویک و اسید آمینه در مرحله رویشی

Table 3- Analysis of variance (mean of squares) characteristics of coriander vegetative traits under folwic acid and amino acid treatments in vegetative stage

منابع تغییرات Source of variance	تعداد برگ در بوته Number of Leaves	وزن تر برگ Fresh leaf weight	وزن خشک برگ Leaf dry weight	تعداد چتر Number of umbel	تعداد چترک Number of umbelet
بلوک Block	2.88ns	0.44ns	0.065ns	0.66ns	0.055ns
اسید فولویک (F) Fulvic acid (F)	75.05**	1.18ns	0.141ns	4.66ns	1.72*
اسید آمینه (A) Amino acid (A)	1.38ns	3.38ns	0.387*	37.55**	2.00*
F×A	3.38*	5.36ns	0.013ns	10.88*	1.16ns
خطا Error	7.95	2.52	0.066	2.00	0.32
ضریب تغییرات C.V.	10.55	19.52	21.33	8.65	15.02

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

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

جدول ٤- اثرات غلظت‌های مختلف اسید فولویک بر صفات رویشی گشنیز

Table 4- Effects of fulvic acid concentrations on vegetative characteristics of coriander

اسید فولویک Fulvic acid ($kg.ha^{-1}$)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن تر بوته Fresh weight of plant ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک بوته Dry weight of plant ($g.plant^{-1}$)	قطرساقه Stem diameter (mm)	تعداد شاخه فرعی Number of branches (per plant)
0	30.25b*	35.02b	5.60b	1.90b	8.160b
5	38.7a	41.07ab	6.20b	2.37a	10.33a
10	36.7a	49.97a	7.37a	2.22a	10.33a

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level based on DMRT.

جدول ۵- اثرات غلظت‌های مختلف اسید فولویک بر صفات رویشی گشنیز
Table 5- Effects of fulvic acid concentrations on vegetative characteristics of coriander

اسید فولویک Fulvic acid ($kg.ha^{-1}$)	تعداد برگ در بوته Number of leaf (per plant)	وزن تر برگ Fresh leaf weight ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک برگ Dry leaf weight ($g.plant^{-1}$)	تعداد چتر Number of umbrellas (per plant)	تعداد چترک Number of umbrellas (per plant)
0	22.66b*	8.43a	1.37a	15.66a	3.16b
5	28.33a	8.36a	1.06a	16.00a	4.00a
10	29.16a	7.63a	1.20a	17.33a	4.16a

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.
* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level based on DMRT.

وزن تر و خشک بوته: نتایج آزمایش (جدول ۲)، بیانگر اثر معنی‌دار اسید فولویک بر میزان وزن تر و خشک بوته بود، امّا اسید آمینه و اثر متقابل تیمارها تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند. با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص می‌شود، بیشترین وزن تر و خشک بوته (به‌ترتیب، ۴۹/۹ و ۷/۳ گرم) از تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و کمترین وزن تر و خشک بوته (به‌ترتیب، ۳۵/۰ و ۵/۶ گرم) در شاهد به‌دست آمد، به‌طوری‌که در تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک، میزان وزن تر و خشک بوته را به‌ترتیب ۴۲/۵ و ۳۰/۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۴). مشابه نتایج این پژوهش، اقحوانی شجری و همکاران (Aghhavani Shajari et al., 2014) در پژوهشی نشان دادند کاربرد مواد هیومیکی (از جمله اسید فولویک) تأثیر مثبت و افزایشی بر وزن تر و خشک گیاه گشنیز داشت. به گزارش احمدیان و همکاران (Ahmadian et al., 1998) کاربرد کودهای آلی (اسید هیومیک و فولویک) سبب افزایش عملکرد بوته گیاه زیره سبز (*Cuminum cyminum* L.) شد. همچنین در تحقیقی یونسیان (Younesian, 2011) در آزمایش خود بر روی گیاه رازیانه گزارش کرد که تیمار مواد هیومیکی، اثر معنی‌داری بر عملکرد بوته و دانه داشتند. لی و همکاران (Li et al., 2007) در مطالعه‌ای بیان نمودند که کاربرد اسید فولویک سبب افزایش وزن خشک ساقه در گیاه سویا (*Glycine max* L.) شد. همچنین صالحی و همکاران (Salehi et al., 2010) اظهار داشتند که مواد هیومیکی (نظیر اسید فولویک و هیومیک) با بهبود ساختمان و بافت خاک و همچنین افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی خاک، عناصر غذایی بیشتری از جمله نیتروژن را در اختیار گیاه قرار می‌دهند، که در پی آن گیاه رشد بیشتری داشته و در نتیجه، وزن تر و خشک بوته افزایش می‌یابد.

تعداد چتر و چترک: نتایج این بررسی نشان داد (جدول ۳) که کاربرد اسید آمینه و برهم‌کنش این دو تیمار اثر معنی‌داری بر تعداد چتر در گیاه داشت. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد، اسید فولویک و اسید آمینه تأثیر معنی‌داری بر تعداد چترک داشتند. نتایج مقایسه میانگین نشان داد، اثر متقابل اسید فولویک و محلول‌پاشی اسید آمینه، بیشترین تعداد چتر (۱۸/۶ تعداد در گیاه) با کاربرد پنج کیلوگرم اسید فولویک و تیمار سه در هزار اسید آمینه و کمترین (۱۴/۰ تعداد در گیاه) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۸). همان‌طور که در صفت تعداد چترک مشاهده شد، بیشترین تعداد چترک (۴/۱ در گیاه) از تیمار ۱۰ کیلوگرم اسید فولویک و کمترین آن (۳/۱ تعداد در گیاه) مربوط به شاهد بود، امّا بین تیمار پنج و ۱۰کیلوگرم در هکتار اسید فولویک در تعداد چترک تفاوت آماری وجود نداشت (جدول ۷). همسو با این پژوهش، خالص‌رو و ملکیان (Khalesro & Malekian, 2016) در نتایج تحقیقات خود تأثیر مثبت مواد هیومیک را بر تعداد چتر و چترک زنیان (*Trachyspermum copticum* L.) گزارش کرده بودند. ناردی و همکاران (Nardi et al., 2002) نیز اظهار داشتند که کاربرد مواد هیومیک به‌دلیل وجود آهن و روی در ساختمان آن، می‌تواند با تأمین این عناصر از طریق برگ عملکرد اندام زایشی را تحت تأثیر قرار دهد و سبب افزایش تعداد و ابعاد گل شوند. روند مشابه این نتایج، حاج سید هادی و همکاران (Haj Seyyed Hadi et al., 2010) در بررسی‌های خود نشان دادند که محلول‌پاشی اسید آمینه در گل بابونه سبب بالاترین عملکرد گل تازه و خشک در این گیاه شد. همچنین خطاب و همکاران (Khattab et al., 2016) ضمن آن که استفاده از اسید آمینه منجر به افزایش قابل توجهی از تعداد گل‌های رز در مقایسه با شاهد شد، بیان نمودند که نقش اسیدهای آمینه در بهبود رشد رویشی گیاه می‌باشد. در نتیجه، تولید و تجمع بیوسنتز افزایش می‌یابد. بنابراین، به نظر می‌رسد که با مصرف اسید آمینه تعداد گل در گیاه افزایش می‌یابد.

جدول ٦- اثرات غلظت‌های مختلف اسید آمینه بر صفات رویشی گشنیز

Table 6- Effects of amino acid concentrations on vegetative characteristics of coriander

اسید آمینه Amino acid (Per thousand)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن تر بوته Fresh weight of plant ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک بوته Dry weight of plant ($g.plant^{-1}$)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد شاخه فرعی Number of branches (per plant)
0	33.66^{b*}	40.78^{a}	6.31^{a}	2.19^{a}	9.11^{a}
3	36.83^{a}	43.26^{a}	6.46^{a}	2.15^{a}	10.11^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level based on DMRT.

جدول ۷- اثرات غلظت‌های مختلف اسید آمینه بر صفات رویشی و زایشی گشنیز

Table 7- Effects of amino acid concentrations on vegetative and reproductive characteristics of coriander

اسید آمینه Amino acid (Per thousand)	تعداد برگ در بوته Number of leaf (per plant)	وزن تر برگ Fresh leaf weight ($g.plant^{-1}$)	وزن خشک برگ dry Leaf weight ($g.plant^{-1}$)	تعداد چتر Number of umbrellas (per plant)	تعداد چترک Number of umbrellas (per plant)
0	26.4^{a*}	7.71^{b}	1.06^{b}	14.8^{b}	3.44^{b}
3	27.00^{a}	8.57^{a}	1.36^{a}	17.7^{a}	4.11^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level level based on DMRT.

جدول ۸- برهم‌کنش سطوح مختلف اسید فولویک و اسید آمینه بر صفات رویشی گشنیز

Table 8- Interactive effects of fulvic acid and amino acid on vegetative characteristics of coriander

اسید فولویک Fulvic acid ($kg.ha^{-1}$)	اسید آمینه Amino acid (In thousand)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد برگ در بوته Number of leaf (per plant)	تعداد چتر Number of umbrellas (per plant)
0	0	28.50^{d*}	1.91^{c}	20.66^{c}	14.00^{b}
0	3	32.00^{cd}	1.89^{c}	21.66^{c}	17.33^{a}
5	0	35.00^{b}	2.55^{a}	25.33^{bc}	13.33^{b}
5	3	42.50^{a}	2.19^{bc}	31.33^{a}	18.66^{a}
10	0	37.50^{b}	2.10^{bc}	30.33^{a}	17.33^{a}
10	3	36.00^{b}	2.36^{ab}	28.00^{ab}	17.33^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level level based on DMRT.

تعداد بذر: نتایج نشان داد (جدول ۹) که تیمارهای اعمال شده (اسید آمینه، اسید فولویک و اثر متقابل اسید آمینه و اسید فولویک) تأثیر معنی‌داری بر تعداد بذر در بوته داشت. مقایسه میانگین تیمارها نیز گویای آن است که بیشترین تعداد بذر در بوته (۲۰۴/۶ تعداد در بوته)، با مصرف ترکیبی از پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه و کمترین (۱۷۳/۳ تعداد در بوته) از شاهد به‌دست آمد (جدول ۱۲)، به‌طوری‌که تعداد بذر در بوته در تیمار پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه نسبت به شاهد ۱۷/۸ درصد افزایش یافت. همسو با این پژوهش، جهان و همکاران (Jahan et al., 2016) در بررسی‌های خود، تعداد بذر در بوته ریحان را تحت تأثیر برهم‌کنش مواد هیومیکی (نظیر اسید فولویک و اسید هیومیک) گزارش کردند. آرمین و مصلحی (Armin & Moslehi, 2012) نیز گزارش کردند که مواد هیومیکی در زمان گل‌دهی بیشترین تأثیر را بر تعداد دانه در غلاف نخود (*Cicer arietinum* L.) داشت. همچنین جالوتا و همکاران (Jalota et al., 2007) بیان نمودند که مواد هیومیکی اثر مثبت و معنی‌داری در جذب عناصر مس، روی، منگنز، فسفر و سدیم دارند؛ بنابراین، با کاربرد مواد هیومیکی و افزایش جذب عناصر، رشد گیاه بیشتر شده و گیاه دارای کانوپی بزرگ‌تری می‌شود که قادر است مخازن زایشی بزرگ‌تری را تغذیه نماید و به‌میزان کافی ماده خشک به آن اختصاص دهد، در نتیجه تعداد دانه در بوته افزایش می‌یابد. مشابه نتایج این آزمایش، فاتن و همکاران (Faten et al., 2010) اظهار داشتند که مصرف اسید آمینه سبب افزایش تعداد بذر در

گیاه کدو (*Cucurbita pepo* L.) شد. همچنین کائو و همکاران (Cao et al., 2010) در بررسی‌های خود نشان دادند که افزودن اسید آمینه به خاک باعث بهبود وضعیت ریزجاندارانی در خاک می‌شود که فعالیت‌شان موجب تسهیل جذب برخی عناصر غذایی و همچنین، محلول‌پاشی برگی با این کودها، کارایی میزان جذب نیتروژن توسط ریشه‌های گیاه از خاک را افزایش داده و تا حدی مانع آبشویی نیتروژن از خاک می‌شود و در نهایت، عملکرد گیاه از جمله تعداد دانه در گیاه را افزایش می‌دهد.

جدول ۹- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات صفات بذر گشنیز تحت تیمارهای اسید فولویک و اسید آمینه

Table 9- Analysisof variance (mean of squares) for Seed characteristics of coriander under f ulvic acid and amino acid

منابع تغییرات Source of variance	درجه‌آزادی d.f	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بوته Plant yield	تعداد بذر Seed number	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-seed weight
بلوک Block	2	150.00^{ns}	838500.0^{ns}	40.66^{ns}	9173.01^{ns}	0.97^{ns}
اسید فولویک (F) Fulvic acid (F)	2	81337.5**	29478.5**	407.16**	433.72**	0.75^{ns}
اسید آمینه (A) Amino acid (A)	1	46512.5**	5512.5^{ns}	440.05*	40.50^{ns}	7.43*
F×A	2	64137.5**	501637.5**	249.38*	13.16^{ns}	5.40*
خطا Error	10	2865.00	45210.0	52	34.72	0.95
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.50	11.11	3.72	12.82	14.48

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

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

عملکرد بوته: نتایج آزمایش (جدول ۹) بیانگر اثر معنی‌دار اسید فولویک و همچنین برهم‌کنش اسید فولویک و اسید آمینه بر میزان عملکرد بوته بود، امّا اسید آمینه تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت، نتایج مقایسه میانگین نشان داد، بیشترین عملکرد بوته (۲۰۷۵ کیلوگرم در هکتار) از تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و کمترین میزان این صفت (۱۶۶۰ کیلوگرم در هکتار) از شاهد به‌دست آمد، هر چند بین تیمارهای پنج و ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک تفاوت آماری وجود ندارد (جدول ۱۰)، به‌طوری‌که تیمار ۱۰ کیلوگرم در هکتار اسید فولویک نسبت به شاهد میزان عملکرد را ۲۵ درصد افزایش داد. مشابه تحقیق حاضر، در پژوهشی روزبهانی و همکاران (Rozbahani et al., 2013) اثر مواد هیومیکی بر خصوصیات کمّی و کیفی گیاه سویا را مطالعه نموده و گزارش کردند که بیشترین عملکرد بوته در مقایسه با شاهد به‌دست آمد. ناردی و همکاران (Nardi et al., 2002) نیز اظهار داشتند که مصرف مواد هیومیکی به‌دلیل وجود آهن و روی در ساختمان آن می‌تواند با تأمین این عناصر عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین ترکیبات هیومیکی سبب تداوم بافت‌های فتوسنتز کننده می‌شود و عملکرد گیاهان را افزایش می‌دهد و نیز از طریق تأثیرات مثبت فیزیولوژیکی از جمله اثر بر متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ، افزایش عملکرد گیاهان را در پی دارد.

جدول ۱۰- اثرات غلظت‌های مختلف اسید فولویک بر صفات زایشی گشنیز

Table 10- Effects of fulvic acid concentrations on reproductive characteristics of coriander

اسید فولویک Fulvic acid (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بوته Plant yield (kg.ha^{-1})	تعداد بذر Seed number (per plant)	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
0	710.0^{c*}	1660.0^{b}	184.3^{b}	42.5^{a}	6.06^{a}
5	815.0^{b}	2002.5^{a}	199.0^{a}	44.2^{a}	6.82^{a}
10	942.5^{a}	2075.0^{a}	198.1^{a}	45.9^{a}	6.36^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level based on DMRT.

جدول ۱۱- اثرات غلظت‌های مختلف اسید آمینه بر صفات زایشی گشنیز

Table 11- Effects of amino acid concentrations on reproductive characteristics of coriander

اسید آمینه Amino acid (Per thousand)	عملکرد دانه Seed yield ($kg.ha^{-1}$)	عملکرد بوته Plant yield ($kg.ha^{-1}$)	تعداد بذر Seed number (per plant)	شاخص برداشت Harvest index (%)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
0	771.6^{b*}	1895.0^{a}	188.8^{b}	35.5^{b}	6.10^{b}
3	873.3^{a}	1930.0^{a}	198.7^{a}	52.9^{a}	7.39^{a}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% probability level based on DMRT.

عملکرد دانه: همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹) نشان داد، اثر اسید فولویک و اسید آمینه و نیز اثر متقابل آن‌ها بر میزان عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که بیشترین میزان عملکرد دانه با کاربرد توأم پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه (۹۸۵/۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین میزان این صفت مربوط به شاهد (۷۲۵/۰ کیلوگرم در هکتار) بود، به‌طوری‌که تیمار پنج کیلوگرم اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه عملکرد دانه را به‌میزان ۳۵/۸ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۱۲). مشابه نتایج این پژوهش، یلدریم و همکاران (Yildirim et al., 2011) طی یک تحقیق مزرعه ای، نشان دادند که کاربرد مواد هیومیکی برای بوته‌های گوجه‌فرنگی عملکرد دانه را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. گزارش ناتسان و همکاران (Natesan et al., 2007) نیز مبین آن بود که اسیدهای آلی مورد مطالعه از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک، شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب‌تر گیاه فراهم کردند، لذا افزایش دانه در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد. همچنین این افزایش عملکرد دانه می‌تواند حاصل افزایش فتوسنتز و رهاسازی عناصر معدنی در سطح برگ و ارتقاء جذب برگی و نیز زیاد شدن فعالیت‌های هورمونی و آنتی‌اکسیدانی گیاه باشد. مای نی ای (Minaee et al., 2013) نیز نتایج همسانی از تأثیر مثبت محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر عملکرد ماش (*Vigna radiata* L.) گزارش کردند. همچنین قاضی و همکاران (Ghazi Manas et al., 2013) اظهار داشتند که اسیدهای آمینه به‌عنوان منبع تأمین نیتروژن، در تولید پروتئین گیاهی و سبزینه (کلروفیل) و در نتیجه، افزایش سطح برگ گیاه مؤثرند، در نتیجه، افزایش رشد و عملکرد بوته و دانه از محلول‌پاشی اسیدهای آمینه قابل انتظار است، که این نتایج بیان شده با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

وزن هزار دانه: در این پژوهش نتایج تجزیه واریانس (جدول ۹)، بیانگر اثر معنی‌دار اسید آمینه و همچنین برهم‌کنش اسید فولویک و اسید آمینه بر وزن هزار دانه بود، امّا اسید فولویک تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد، بیشترین میزان وزن هزار دانه (۷/۳ گرم) از تیمار سه در هزار اسید آمینه و کمترین (۶/۱ گرم) در شاهد بود، به‌طوری‌که تیمار سه در هزار اسید آمینه وزن هزار دانه را به‌میزان ۲۱/۱ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (جدول ۱۱). مشابه این تحقیق، فلاحی و همکاران (Fallahi et al., 2018) در آزمایشی اعلام داشتند که کاربرد اسید آمینه باعث افزایش معنی‌دار افزایش وزن هزار دانه گیاه ریحان شده است. توماس و همکاران (Thomas et al., 2009) نیز در مطالعات خود نشان دادند که کاربرد محرک‌های زیستی از جمله اسید آمینه می‌تواند یکی از مهم‌ترین عوامل در کشت موفق یک گیاه دارویی مؤثر واقع می‌شوند که این تأثیر ناشی از اسیدهای آمینه است که با افزایش نسخه‌برداری mRNA تا میزان ۲/۵ برابر، فعال‌سازی هورمون‌های مؤثر در رشد زایشی، افزایش جذب و انتقال عناصر و افزایش میزان پروتئین در گیاهان، وزن هزار دانه را افزایش می‌دهد.

شاخص برداشت: نتایج ارائه شده (جدول ۹)، حاکی از تأثیر معنی‌دار اثر ساده اسید فولویک بر شاخص برداشت بود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین، بیش‌ترین میزان شاخص برداشت با ۵۴/۳ درصد با کاربرد پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و کمترین آن با ۳۷/۳ درصد مربوط به شاهد بود، که افزایش ۴۵/۵ درصدی را نسبت به شاهد نشان داد (جدول۱۰). نتایجی مشابه توسط خان و همکاران (Khan et al., 2012) گزارش شد، که مصرف خاکی اسید فولویک سبب افزایش شاخص برداشت نخود شد. ناردی و همکاران (Nardi et al., 2002) نیز ضمن این‌که نشان دادند که مصرف مواد هیومیک مانند اسید فولویک سبب افزایش قابل توجه در شاخص برداشت ذرت (*Zea mays* L.) شده است، بیان نمودند که افزایش شاخص برداشت با مصرف مواد هیومیک ممکن است به‌دلیل اثرات مثبت این ماده بر

متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل باشد. همچنین جونز و همکاران (Jones et al., 2004) اعلام داشتند که مواد هیومیکی، دسترسی گیاه به فسفر و سایر عناصر غذایی را افزایش می‌دهد که این امر سبب افزایش معنی‌دار شاخص برداشت گیاه شده است.

جدول ۱۲- برهم‌کنش سطوح مختلف اسید فولویک و اسید آمینه بر صفات زایشی گشنیز

Table 12- Effects of fulvic acid and amino acid on reproductive characteristics of coriander

اسید فولویک Fulvic acid (kg.ha^{-1})	اسید آمینه Amino acid (Per thousand)	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1})	عملکرد بوته Plant yield (kg.ha^{-1})	تعداد بذر Seed number (Number per plant)	وزن هزار دانه 1000-seed weight (g)
0	0	725.0^{b}*	1315.0^{b}	173.3^{b}	5.32^{b}
0	3	695.0^{b}	2005.0^{a}	195.3^{a}	8.80^{a}
5	0	645.0^{b}	2205.0^{a}	193.3^{a}	6.70^{b}
5	3	985.0^{a}	1800.0^{a}	204.6^{a}	6.93^{b}
10	0	945.0^{a}	2165.0^{a}	200.0^{a}	6.28^{b}
10	3	940.0^{a}	1985.0^{a}	196.3^{a}	6.44^{b}

* حروف مشابه در هر ستون اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن ندارند.

* Similar letters in each column vas not significant at 5% level based on DMRT.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این تحقیق حاکی از آن بود، که استفاده از اسید فولویک و اسید آمینه می‌تواند در بهبود ویژگی‌های عملکردی و رشدی گشنیز مؤثر باشد. به‌منظور صرفه‌جویی در کود مصرفی و کاهش هزینه‌ها، می‌توان پنج کیلوگرم در هکتار اسید فولویک و سه در هزار اسید آمینه را در افزایش ویژگی‌های عملکردی و رشدی گشنیز در این آزمایش مؤثر دانست. به‌منظور تکمیل نتایج این آزمایش پیشنهاد می‌شود، سایر سطوح اسید فولویک و اسید آمینه در طی پژوهش‌های چند ساله بر عملکرد کمّی و کیفی گشنیز بررسی شود.

References

Armin, M., and Moslehi, J., 2012. Response of yield and yield components of chickpea to time and amount of humic acid. Journal of Modern Sciences of Sustainable Agriculture 4:1-9. (In Persian with English Summary)

Ahmadian, A., Ghanbari, A., and Galavi, M., 1998. Consideration of the effect of cow manure on yield, yield components and quality of medicinal plant cumin. (*Cuminum cyminum* L.). 2nd Conference of Medicinal Plants, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)

Aghhavani Shajari, M., Rezvani Moghaddam, P., Ghorbani, R., and Nassiri Mahallati, M., 2014. Evaluation of the effects of organic, biological and chemical fertilizers on vegetative indices and essential oil content of coriander. Journal of Agricultural Ecology 6(3): 425-443. (In Persian with English Summary)

Atiyeh, R.M., Lee, S.S., Edwards, C.A., Arancon, N.Q., and Metzger, J., 2002. The influence of humic acid derived from earthworm processed organic waste on plant growth. Bioresource Technology 8: 7-14.

Ayas, H., and Gulser, F., 2005. The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrie contents of spinach. Journal of Biological Sciences 5(6): 801-804.

Azizi, M., Baghbani, M., Lakzyan, A., and Arooee, H., 2007. Effect of different doses of vermicompost and dilatory wash sprayed on morphological characteristics and the amount of active substance basil. Journal of Agricultural Science and Technology 2: 41-52. (In Persian with English Summary)

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.

Bhatia, I.S., and Bajaj, K.L., 1972. Tannins in black-plum (*Syzygium cumini* L.) seeds. Biochem Journal 128: 56-60.

Boyerie de Sheikh, A., Mahmoudi Surstani, M., Zolfaghari, M., and Ghiasi Zamir, N., 2016. Effect of growth stimulating bacteria, fertilizer and humic acid on basal morphophysiological traits. Knowlge Sustainable Production and Consumption 4: 129-142. (In Persian with English Summary)

Cao, J.X., Peng, Z.P., Huang, J.C., Yu, J.H., Li, W.N., Yang, L.X., and Lin, Z.J., 2010. Effect of foliar application of amino acid on yield and quality of flowering Chinese cabbage. Chinese Agricultural Science Bulletin 26: 162-165.

Cerdna, M., Snchez Snchez, A., Oliver, M., Juarez, M., and Snchez Andreu, J.J., 2009. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. Acta Horticulturae 830: 481-488.

Chen, Y., Clapp, C.E., and Magen, H., 2004. Mechanisms of plant growth stimulation by humic substances. The role of organo iron complexes. Soil Science and Plant Nutrition 50(7): 1089-1095.

Fallahi, H.R., Aminifard, M.H., and Jorkesh, A., 2018. Effects of thiamine spraying on biochemical and morphological traits of basil plants under greenhouse conditions. Journal of Horticulture and Postharvest Research 1(1): 27-36.

Fatemi, H., Ameri, A., Amini Fard, M.H., and Honey, H., 2011. Effect of humic acid on essences and vegetative properties of basil. The First National Conference on Modern Topics in Agriculture. Saveh, Islamic Republic of Iran Islamic Azad University, Iran. pp. 43-53. (In Persian)

Faten, S.A., Shaheen, A.M., Ahmed, A.A., and Mahmoud, A.R., 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. Research Journal of Agriculture and Biological 6(5): 583-588.

Ghazi Manas, M., Banj Shafiee, S., Haj Seyed Hadi, M.R., and Darzi, M.T., 2013. Effects of vermicompost and nitrogen on quantitative and qualitative yeild of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants 29(2): 269-280. (In Persian with English Summary)

Gulser, F., Sonmez, F., and Boysan, S., 2010. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. Journal of Environmental Biology 31(5): 873-879.

Haj Seyyed Hadi, M., and Dorzi Alaviyeh, Z., 2010. The effect of amino acid foliar application and application of different vermicompost means on morphological traits and chamomile flower performance. Journal of Medicinal Plants Research 5(23): 5611-5617. (In Persian with English Summary)

Hussein, M.E., Abou El Hassan, S., and Shahein, M.M., 2015. Effect of humic, fulvic acid and calcium foliar application on growth and yield of tomato plants. International Journal of Biological Sciences 7(1): 132-140.

Hye Young, S., Kil Sun, Y., and Sang Gon, S., 2014. Effect of foliar application of fulvic acid on plant growth and fruit quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences 55(6): 455-461.

Jahan, M., Ghalaa Nawi, S., Khamoushi, A., and Amiri, M., 2015. Investigation of agro-ecological characteristics of basil under the influence of superabsorbent application of moisture, acidification and irrigation periods. Journal of Horticultural Research 2: 242-254. (In Persian with English Summary)

Jalota, S., Sood, A., Vitale, J., and Srinivasan, R., 2007. Simulated crop yields response to irrigation water and economic analysis. Journal of Agrobiology 99(4): 1073-1084.

Javanmardi, J., 2010. Organic Cultivars of Vegetables. University of Mashhad Press, Iran. 349p. (In Persian)

Jones, C.A., Jacobsen, J.S., and Mugaas, A., 2004. Effect of humic acid phosphorus availability and spring wheat yield. Facts Fertilizer 32: 345-352

Khalesro, S., and Malekian, H., 2016. Evaluation of application of vermicompost and humic acid on morphological traits, yield, amount and composition of essential oils in organic culture of Zanjan (*Trachyspermum ammi* L.). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plant 32(6): 968-980. (In Persian with English Summary)

Khan, A., Guramni, A.R., Khan, M.Z., Hussain, F., Akhtar, M.E., and Khan, S., 2012. Effect of humic acid on growth, yield, nutrient composition, photosynthetic pigment and total sugar contents of peas (*Pisum sativum* L.). Journal of Chemical Society Pakistan 6: 56-63.

Khattab, M., Shehata, A., Abou El- Saadate, E., and Al-Hasni1, K., 2016. Effect of glycine, methionine and tryptophan on the vegetative growth, floweringand corms production of gladiolus plant. Journal Sience of Exchange 4: 37-48.

Kızılkaya, R., 2008. Yield response and nitrogen concentrations of springwheat (*Triticum aestivum*) inoculated with Azotobacter chroococcum strains. Ecolgy Journal 33: 150–156.

Koocheki, A., 2008. Book of New Farming. Mashhad University Press, Mashhad, Iran. (In Persian)

Levitt, J., 1980. Response of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, USA.

Li, K.R., Wang, H.H., Han, G., Wang, Q.J., and Fan, J., 2007. Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of robiniapseudoacacia seedlings under water- tress. New Forests 27: 158-161.

Liu, X.Q., Ko, K.Y., Kim, S.H., and Lee, K.S., 2008. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 39: 269-

281.

Minaee, P., Haj Seyed Hadi, M.R., Darzi, M.T., and Shahsavar, A.M., 2013. Effects of nitrogen fixing bacteria and amino acids spraying on yield and yield components of mungbean (*Vigna radiata*). Annual Research in Biology 4(8): 265-269.

Moradi, R., Rezvani Moghaddam, P., Nassiri Mahallati, M., and Lakzian, A., 2007. The effect of application of organic and biological fertilizers on yield, yield components and essential oil of *Foeniculum vulgare* (Fennel). Iranian Journal of Field Crops Research 7(2): 625-635. (In Persian with English Summary)

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. Soil Biology 34: 1527-1536.

Najafi, M., 2016. The effect of humic acid and fulvic acid and amino acid as irrigation on quantitative and qualitative characteristics of super damens cucumber under drought stress. Masters Degree School of Agriculture, Department of Horticulture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S., and Boopathy, P.M., 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. The Scientific World Journal 7: 1198-1206.

Noorzad, S., Ahmadian, A., and Danzfar, A., 2014. Effect of drought stress on yield, yield components and essential oil of coriander treated with organic and inorganic fertilizers. Journal of Crops Iimprovement 16(2): 289-302. (In Persian with English Summary)

Omidbaigi, R., 2000. Approaches to the Production and Processing of Medicinal Plants. Tehran Publications, Iran. Vol. II, pp. 80-82. (In Persian)

Osman, H.S., and Salim, B.B.M., 2016. Influence of exogenous application of some phytoprotectants on growth, yield and pod quality of snap bean under NaCl salinity. Advances in Applied Science Research 61(1): 1-13.

Raeisi, M., Farahani, L., and Palashi, M., 2014. Changes of qualitative and quantitative properties of radish (*Raphanus sativus* L.) under foliar spraying through amino acid. International Journal of Biological Macromolecules 4(1): 463-46.

Rezvani Moghaddam, P., Aminghafori, A., Bakhshaie, S., and Jafari, L., 2013. The effect of organic and biofertilizers on some quantitative characteristics and essential oil content of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(2): 105-112. (In Persian with English Summary)

Rozbahani, A., Ghorbani, P., Mirzaie, M., and Aroijnia, S., 2013. Study of the effect of humic acid and fluvic acid on yield and yield components of barley. Journal of Plant Molecular Breeding 9(2): 25-33. (In Persian with English Summary)

Saburi, M., Haj Seyed Hadi, M.R., and Darzi, M.T., 2014. Effects of amino acids and nitrogen fixing bacteria on quantitative yield and essential oil content of basil (*Ocimum basilicum*). Journal of Agriculture and Rural Development 3(8): 265-268. (In Persian with English Summary)

Samavat, S., and Malakooti, M., 2005. The necessity of using organic acids to increase the quality and quantity of agricultural products. Technical Journal 463: 1-15. (In Persian with English Summary)

Salehi, B., Bagherzadeh, A.S., and Ghasemi, M., 2010. Effect of humic acid on growth, yield and yield components of three tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum L.*). Journal of Global Agriculture and Ecology 2(4): 640-647. (In Persian with English Summary)

Saikia, P., Devdutt Chaturvedi, D., Goswami, A., and Rao, P., 2010. Artemisinin and its derivatives: a novel class of anti-malarial and anti-cancer agents. Chemical Society Reviews 26: 15-24.

Schnitzer, M., 1977. Recent undings of the characterization of humic substances extracted from soils from widely diuering climatic zones. Northeast Organic Farming Association 34: 117-131.

Sohrabi Renani, M., 2013. Effect of organic, biological and chemical fertilizer on yield, grain yield comonents and oil content of black currant (*Nigella sativa* L.). Masters Degree School of Agriculture, Department of Agronomy and Plant Breeding, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Sokhangoy, S.H., Ansari, K.H., and Eradatmand, D., 2012. Effect of biofertilizers on performance of dill (*Anethum graveolens* L.). Iranian Journal of Plant Physiology 4(2): 547-552. (In Persian with English Summary)

Stephen, O.D., 2005. Taking stock of herbicide-resistant crops ten years after introduction. Pest Management Science 61: 211–218.

Tahir, M.M., Khurshid, M., Khan, M.Z., Abbasi, M.K., and Kazmi, H.M., 2011. Lignitederived humic acid effect on growth of wheat plants in different soils. Pedosphere 21: 124-131.

Thamei Zarandi, M., Rezvani Moghaddam, P., and Jahan, M., 2010. Comparison of the effect of organic and chemical fertilizer on yield of assential oil of basil herb (*Ocimum basilicum* L.). Journal of Agroecology 2(1): 70-82. (In Persian with English Summary)

Thomas, J., Mandal, A.K.A., Kumar, R., and Chordia, A., 2009. Role of biologically active amino acid formulations on quality and crop productivity of Tea (*Camellia* sp.). International Journal of Agricultural Research 4: 228–236.

Yassen, A.A., Mazher, A.A.M., and Zaghloul, S.M., 2013. Response of anis plants to nitrogen fertilizers and foliar spray of tryptophan under agricultural drainage water. Science Journal 3(9): 120-127.

Younesian, A., 2011. Review of nutritional management in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) cultures. M.Sc. Thesis, Faculty of Agro-Agnostics, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)

Yildirim, E.M., and Unay, A., 2011. Effects of different fertilizations on Liriomyza trifolii in tomato. African Journal of Agricultural Research 6(17): 4104-4107.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 373-388

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۳۸۸-۳۷۳

The Effect of Fulvic Acid and Amino Acid Application on Physiological Characteristics, Growth and Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a Medicinal Plant

M.H. Aminifard[1*], M. Gholami[2], H. Bayat[3] and F. Moradi Nezhad[1]
Submitted: 09-08-2018
Accepted: 26-11-2018

Aminifard, M.H., Gholami, M., Bayat, H., and Moradi Nezhad, F. 2020. Effect of fulvic acid and amino acid application on physiological caracteristics, growth and yeild of coriander (*Coriandrum sativum* L.) as a medicinal plant. Journal of Agroecology 12(3):373-388.

Introduction

Medicinal plants are one of the main natural resources of Iran from ancient times. Coriander medicinal plant is one of the most valuable resources in the vast range of Iranian natural resources which, if properly managed, can play an important role in non-oil production and export. Management and environmental factors such as nutritional management has a significant impact on the quantity and quality of plants. Application of organic fertilizers in conventional farming systems is not common and most of the need for food plants supply through chemical fertilizers for short period. The use of bio-fertilizers and organic matter are taken into consideration to reduce the use of chemical fertilizers and increase the quality of most crops. The use of organic and biological fertilizers in the production of medicinal plants in a sustainable agricultural system is important in order to achieve product quality environmental protection and community health. Stability and soil fertility through the use of organic fertilizers are important due to having most of the elements required by plants and beneficial effects on physical, chemical, biological and soil fertility. Therefore, the purpose of this study was to evaluate the effects of different levels of amino acid and fulvic acid on vegetative, reproduction characteristics and yield of coriander.

Materials and Methods

In this study, the effects of applications of fulvic acid and amino acid on yield and growth characteristics of coriander were evaluated under field conditions. Treatments were two levels of amino acid (0 and 3 per thousand) and three levels of fulvic acid (0, 5 and 10 $kg.ha^{-1}$). The experiment was designed as factorial arrangement based on randomized complete block design with three replications at the Research station of Faculty of Agriculture University of Birjand during growing season of 2017. The measured indices including vegetative characteristics (height plant, branches number, plant weight, leaf weight, leaf number) and reproductive characteristics (grain yield, 1000- seed weight, seed number, yield biological and harvest index). Finally, the experimental data were statistically analyzed using SAS ver. 9.2 and means were separated Duncan's multiple test at 5% probability level of probability.

Results and Discussion

The results showed that fulvic acid had a significant effect on vegetative characteristics (height plant, fresh and dry weight of plant, branches number, leaf number and leaf dry weight), so that the highest fresh and dry weight (49.9 and 7.3 g, respectively) were obtained with application of 10 $kg.ha^{-1}$ of fulvic acid. Also, the results showed a significant effect of fulvic acid on reproductive characteristics (seed yield, biological yield, harvest index and seed number), so that the highest seed yield (942.5 $kg.ha^{-1}$) was obtained at 10 $kg.ha^{-1}$ fulvic acid, and the lowest of seed yield was observed (710.0 $kg.ha^{-1}$) in the control treatment. Amino acid also affected

1- Associate Professor, Department of Horticultural Science and Special Plants Regional Research Centre, College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
2- Masters student Horticultural Science (Medicnal Plants), College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Horticultural Science and Special Plants Regional Research Center, College of Agriculture, University of Birjand, Iran.
(*- Corresponding Author Email: mh.aminifard@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74672

vegetative characteristics (leaf number and leaf weight), and reproductive characteristics (grain yield, seed number and 1000- seed weight), so that the highest number of leaf (27.0 per plant) and grain yield (873.3 $kg.ha^{-1}$) were obtained with the application of 3 per thousand amino acids. Interaction effects showed that different levels of fulvic acid and amino acids had a significant effect on reproductive performance (grain yield, biological yield, seed number and 1000-seed weight). The highest grain yield and seed number (985.0 $kg.ha^{-1}$ and 204.6. per plant, respectively) were obtained at 5 $kg.ha^{-1}$ fulvic acid and 3 per thousand amino acid.

Conclusion

The results of this study showed that fulvic acid and amino acid had significant effect on yield and growth characteristics of coriander. Thus, results showed that fulvic acid (5 $kg.ha^{-1}$) and amino acids (3 per thousand) had strong impact on yield and growth characteristics of coriander under field conditions.

Keywords: Biological yield, Growth, Harvest index, Seed number.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 389-411

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۱۱-۳۸۹

مقاله علمی - پژوهشی

اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰٤ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق

مهدی حیاتی[۱]، عباس ملکی[۲*]، افشین مظفری[۲] و فرزاد بابایی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۰۹

حیاتی، م.، ملکی، ع.، مظفری، ا.، و بابایی، ف.، ۱۳۹۹. اثر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) سینگل کراس ۷۰۴ تحت تأثیرکاربرد کاهنده‌های تعرق. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۱۱-۳۸۹.

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر مصرف جیبرلین و مواد کاهنده تعرق بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت (*Zea mays* L.) تحت تنش رطوبتی، به‌صورت اسپلیت- فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سال ۱۳۹۶ در شهرستان مهران استان ایلام انجام شد. فاکتور اصلی شامل سه سطح کم‌آبیاری (آبیاری نرمال (معادل ۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) به‌عنوان شاهد و ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) و فاکتور فرعی شامل هشت حالت مصرف جیبرلین (با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام)، و عدم مصرف جیبرلین در چهار سطح مصرف کاهنده‌های تعرق شامل اسید سالسیلیک (با غلظت ۰/۵ میلی‌مولار)، اسید آسکوربیک (۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر) و پاکلوبوترازول (۵۰ پی‌پی‌ام) و شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در مرحله شش تا هشت‌برگی بود. نتایج نشان داد که بین سطوح مختلف کم‌آبیاری از نظرصفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. خشکی سبب کاهش عملکرد، اجزای عملکرد، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ شد و مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق باعث بهبود صفات مورد نظر گردید. همچنین مصرف کاهنده‌های تعرق روی عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال و شاخص سطح برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و بر محتوی نسبی آب برگ اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشت. بیشترین میزان عملکرد دانه (۱۱۱۱۱/۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط آبیاری نرمال تحت محلول‌پاشی جیبرلین و اسید سالیسیلیک و کمترین میزان عملکرد دانه (۶۴۲۰/۶ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش ۸۰ میلی‌متر و بدون استفاده از جیبرلین و کاهنده‌های تعرق به‌دست آمد. به‌طور کلی، کاربرد خارجی این ترکیبات می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش‌های غیرزنده افزایش دهد. بنابراین، کاربرد تلفیقی این ترکیبات راهکاری جهت رسیدن به ثبات عملکرد در تنش خشکی و کاهش مصرف آب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ثبات عملکرد، شاخص سطح برگ، محتوای آب نسبی برگ

مقدمه

ذرت (*Zea mays* L.) به‌عنوان منبع اصلی تأمین‌کننده انرژی در تغذیه طیور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل افزایش سطح زیر کشت و بهبود عملکرد این محصول از اولویت خاصی برخوردار می‌باشد (Tardieu, 2012). گیاه ذرت به‌دلیل تولید بالا و سازگاری در اکثر مناطق می‌تواند نقش مهمی در تأمین خوراک دام در فصل زمستان ایفا نماید (Chougan, 1996). علاوه‌براین، سیلو کردن آن به‌آسانی انجام می‌شود و یک علوفه خوش‌خوراک با کیفیت پایدار برای دام می‌باشد و انرژی بالاتری نسبت به سایر علوفه‌ها دارا است (Curran & Posch, 2000).

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده رشد گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران به شمار می‌آید و این نوع

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران.
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74753

تنش یک پدیده مهم و مؤثر بر عملکرد غلات از جمله ذرت است (Altenbach et al., 2003). تنش خشکی سبب ایجاد واکنش‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی متفاوتی در گیاهان می‌شود (Pattangual & Madore, 1999). بررسی‌ها نشان می‌دهند که تنش خشکی ملایم و شدید به‌ترتیب موجب کاهش عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۶۳ و ۸۵ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری نرمال می‌شود (Hugh & Davis, 2003). همچنین مشاهده شده است که تنش خشکی در دو مرحله قبل و بعد از گل‌دهی عملکرد دانه ذرت را به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش می‌دهد (Osborne et al., 2002).

در رشد گیاهان، عوامل محیطی (بیرونی) و گیاهی (درونی) زیادی تأثیر گذار هستند. از جمله مهم‌ترین عوامل درونی، می‌توان به هورمون‌ها اشاره نمود. نقش هورمون‌ها تنظیم فرآیندها و مراحل مختلف رشدی گیاهان می‌باشند که رشد و نمو طبیعی توسط اثر متقابل هورمون‌های تحریک‌کننده و بازدارنده تنظیم می‌شود. استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد و مواد زیستی شامل ترکیباتی آلی است که ماده غذایی نیستند، ولی هنگامی‌که در غلظت کم مورد استفاده قرار می‌گیرند بر فرآیندهای فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهی تأثیر می‌گذارند، استفاده از مواد تنظیم‌کننده رشد می‌تواند بسیاری از فرآیندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان را تحت تأثیر قرار دهد و تحمل گیاهان نسبت به تنش‌های محیطی را بهبود دهد (El-Tayeb, 2005). برخی از هورمون‌های گیاهی محرک رشد هستند، در حالی‌که انواع دیگری از هورمون‌ها این فرآیندها را کند نموده و یا به تأخیر می‌اندازند (Hopkins & Hüner, 2008). یکی از ترکیبات محرک رشد، جیبرلین‌ها هستند که رشد طولی و تقسیم سلولی را افزایش می‌دهند.

جیبرلین‌ها شامل گروهی از هورمون‌ها هستند که بیشترین دخالت مستقیم را در کنترل و تسهیل جوانه‌زنی بذر دارند. افزایش سنتز و آزادسازی هورمون جیبرلیک اسید در بذر موجب تجزیه نشاسته بذر و تبدیل آن به مواد قابل استفاده جنین می‌شود و جوانه‌زنی شروع می‌شود. استفاده از اسید جیبرلیک معمولاً باعث افزایش سبز شدن، بهبود رشد و گستردگی سیستم ریشه‌ای می‌شود (Kaure et al., 2003; Toker et al., 2004). کشاورزی و همکاران (Keshavarzi et al., 2014) نشان دادند که کاربرد جیبرلین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن تک بوته و عملکرد کمّی و کیفی علوفه در هکتار داشت. در آزمایش ونگ و همکاران (Wang et al., 2008) در گیاهچه‌های ذرت تیمار شده با هورمون‌های سیتوکینین و جیبرلین در روز دوم اعمال تنش خشکی، علائم پژمردگی تا روز پنجم اعمال تنش خشکی مشاهده نشد. افزایش پتانسیل آب گیاه در نتیجه استفاده از مواد ضدتعرق در گیاهان مختلف توسط سایر محققان گزارش شده است (Navarro et al., 2007; Win et al., 1991).

اسید سالیسیلیک یک تنظیم‌کننده رشد درونی از گروه ترکیبات فنلی طبیعی می‌باشد که امروزه به‌عنوان ماده شبه‌هورمونی محسوب می‌گردد که در تنظیم فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه نقش دارد. القاء گل‌دهی، رشد و نمو، سنتز اتیلن، تأثیر در باز و بسته شدن روزنه‌ها و تنفس از نقش‌های مهم اسید سالیسیلیک محسوب می‌شود (Raskin, 1992). اسید سالیسیلیک می‌تواند نقش محوری در مقاومت نسبت به بیماری در گیاهان به‌ویژه طی مقاومت سیستمیک کسب شده داشته باشد (Amborabe & Fleurat-Lessard, 2002). کاربرد اسید سالیسیلیک در گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) سبب افزایش مقاومت به درجه حرارت‌های پایین و بالا شده است (Senaratna et al., 2000).

اسید سالیسیلیک و مشتقات آن از جمله ترکیباتی هستند که به‌عنوان تنظیم‌کننده رشد گیاهی عمل نموده و در شرایط تنش به‌دلیل کاهش تلفات آب، بسته شدن روزنه‌ها و در نتیجه، بهبود مقاومت گیاه نسبت به خشکی می‌تواند گیاه را محافظت نماید (Borsani et al., 2001). گزارش‌هایی از اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد سایر گیاهان مانند گندم (*Triticum aestivum* L.) (Shakirova et al., 2003) و آفتابگردان (*Helianthus annuus* L.) (Hussain et al., 2009) منتشر شده است. سپهری و بیات (Sepehri & Bayat, 2013) گزارش کردند که تیمار کاربرد اسید سالیسیلیک در دوره‌های مختلف آبیاری باعث افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ذرت نسبت به شاهد شد. بر این اساس، آن‌ها نتیجه گرفتند که کاربرد این ماده با توجه به قیمت نازل و غلظت پایین مصرف، در شرایط نرمال رطوبتی و تنش خشکی می‌تواند سبب بهبود عملکرد شود.

اسید آسکوربیک از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی درون سلولی است که مقاومت سطح سوبستراهای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بالا برده و در کاهش تنش خشکی نقش مهمی دارد (Hossain et al., 2016). اسید آسکوربیک به‌دلیل تأثیر به‌عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز بسیاری از هورمون‌های گیاهی از طریق احیای این هورمون‌ها سبب کاهش اثرات تنش، افزایش تقسیم و توسعه سلولی و افزایش ارتفاع، تعداد دانه و عملکرد دانه می‌شود (Taqi et al., 2011). ترزیو همکاران (Terzi et al., 2015) با کاربرد ۰/۱ میلی‌مولار اسید آسکوربیک در کشت هیدروپونیک گیاهچه‌های ذرت نشان دادند که کاربرد اسید آسکوربیک در شرایط تنش میزان حذف پراکسید هیدروژن، وضعیت آب برگ و هدایت روزنه‌ای را افزایش و پراکسیداسیون لیپیدها را کاهش می‌دهد.

پاکلوبوترازول نیز یکی دیگر از ترکیبات خانواده تریازول‌ها است که سبب ایجاد مقاومت به تنش‌های خشکی، شوری، سرما و گرما می‌شود (Rademacher, 1995). پژوهشگران به اثر ضدتعرقی پاکلوبوترازول اشاره کرده‌اند که تأثیر آن بر روابط آبی و تغییرات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه ثابت شده است (Navarro et al., 2007). پاکلوبوترازول با دخالت در مسیر بیوسنتز اسید جیبرلیک از تولید این هورمون گیاهی ممانعت می‌نماید. همچنین همان‌طور که خشکی باعث افزایش مقدار اسید آبسیزیک می‌شود (Bano et al., 1993)، پاکلوبوترازول نیز باعث تحریک تجمع اسید آبسیزیک در برگ‌ها می‌گردد (Zhu et al., 2004). سپهری و بیات (Sepehri & Bayat, 2013) وکوتروباسو و همکاران (Koutroubas et al., 2004) گزارش کردند که در گیاه ذرت با دور آبیاری هفت روز، مصرف پاکلوبوترازول عملکرد دانه به‌میزان ۸/۶۱ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف پاکلوبوترازول کاهش یافت. بر این اساس، از آن‌جا که بخش زیادی از دوره رشدی گیاه ذرت در طی فصل تابستان است و دوره گرده‌افشانی و پر شدن دانه آن هم‌زمان با اوج کمبود منابع آب است، استفاده صحیح از ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد در شرایط تنش خشکی می‌تواند عملکرد ذرت را افزایش دهد. بر این اساس، هدف از اجرای این تحقیق کاربرد تلفیقی ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد جهت بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی در تنش خشکی روی ذرت در شرایط آب و هوایی ایلام بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۶ در شهرستان مهران از شهرهای جنوب غربی استان ایلام دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک و واقع در عرض جغرافیایی ۳۳ ساعت، پنج دقیقه و ۵۰ ثانیه و طول جغرافیایی ۴۶ ساعت، ۱۶ دقیقه و ۳۴ ثانیه اجرا گردید. فاکتور اصلی شامل سه سطح (آبیاری نرمال (معادل ۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A به‌عنوان شاهد)، ۶۰ و ۸۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A) (مظفری و همکاران، ۱۳۹۰) و فاکتور فرعی شامل هشت حالت مصرف جیبرلین (با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام) و عدم مصرف جیبرلین در چهار سطح مصرف کاهنده‌های تعرق شامل اسید سالسیلیک (با غلظت ۰/۵میلی‌-مولار)، اسید آسکوربیک (۱۲۰میلی‌گرم در لیتر) و پاکلوبوترازول (۵۰ پی‌پی‌ام) و شاهد (محلول‌پاشی با آب مقطر) در مرحله شش تا هشت‌برگی بود. به‌منظور جذب بیشتر، محلول‌پاشی در ساعات صبح یا عصر و با افزودن سورفاکتانت (توئین۲۰ با کد ۹۰۰۵-۶۴-۵- ساخت شرکت مرک آلمان با غلظت ۰/۰۱ درصد) انجام شد. رقم ذرت مورد استفاده هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بود. این هیبرید رقمی دیررس با طول دوره رشد تا مرحله شیری خمیری ۱۳۵-۱۲۰ روز و تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک ۱۵۰ روز است.

هر کرت شامل شش ردیف کاشت به‌طول چهار متر، فواصل بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین بلوک‌ها سه متر و عمق کاشت بذر سه تا پنج سانتی‌متر بود. مقدار کود مورد نیاز بر اساس آزمایش خاک تعیین شد. بر این اساس،۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل و یک سوم کود نیتروژن از منبع اوره (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت کود پایه و دو سوم باقی‌مانده نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) در دو مرحله رشدی ۱۰ برگی و مرحله پیش از ظهور گل‌های نر مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج آنالیز خصوصیات شیمیایی عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک قبل از شروع آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. بافت خاک نیز لومی-رسی بود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physical and chemical criteria of soil

پتاسیم Available K ($mg.kg^{-1}$)	فسفر Available P ($mg.kg^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	نیتروژن کل Total N (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	pH
332	8.1	0.3	2.23	0.9	7.0

بلافاصله بعد از کاشت عملیات آبیاری انجام شد، با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه و شرایط خاک مزرعه آبیاری دوم به‌فاصله حدوداً پنج روز از آبیاری اول انجام شد تا مرحله جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار گیاهچه به‌خوبی انجام شود. آبیاری سوم نیز با فاصله هفت روز از آبیاری دوم انجام شد و پس از آن از مرحله هشت‌برگی تا پایان فصل رشد آبیاری تیمارهای مختلف تنش خشکی، بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر صورت گرفت.

به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل

رشد و در تیمارهای مختلف، در ابتدای شروع تیمار در هر فصل، از هر سه تکرار مربوط به یک تیمار، یک گیاه کف‌بر شده و مساحت تمام برگ‌های هر گیاه به‌صورت جداگانه اندازه‌گیری شد و در نهایت، مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج مدل دلتا تی به‌دست آمد. با در دست داشتن سطح زمین اختصاص یافته به هر گیاه (۲۰cm× ۷۵ cm)، مقدار شاخص سطح برگ با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید.

$$LAI = \frac{A_{allleaves}}{A_{plant}}$$ معادله (۱)

که در آن، LAI: شاخص سطح برگ (بدون بعد)، $A_{all\ leaves}$: مجموع مساحت برگ‌های هر گیاه (سانتی‌مترمربع) و A_{plant}: سطح زمین اختصاص یافته برای هر گیاه (سانتی‌مترمربع) می‌باشد.

محاسبه محتوی رطوبت نسبی برگ (RWC)، از طریق ۱۵ دیسک برگی که توسط پانچ از برگ‌های گیاه در ساعت ۱۰ صبح انتخاب شده‌اند، انجام شد. به‌طوری‌که بعد از توزین وزن تر، دیسک‌های برگی در پتری آب مقطر به‌مدت ۱۲ ساعت، اشباع و سپس توزین شدند. نمونه‌های توزین شده بعداً در آون ۸۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲۴ ساعت قرار گرفته و وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. محتوی رطوبت نسبی برگ با استفاده از معادله ۲ به‌دست آمد:

$$RWC = \frac{(F_W - D_W)}{(T_W - D_W)} \times ۱۰۰$$ معادله (۲)

که در آن، F_W: وزن تر، D_W: وزن خشک و T_W: وزن تر اشباع می‌باشد.

نمونه‌گیری از برگ پرچم در مرحله ساقه‌دهی انجام شد. برای انجام آزمایشات بیوشیمیایی، در هر نوبت، ۱۰ گرم برگ برداشت شد. نمونه‌ها سریعاً با ازت مایع فریز شده و در دمای ۸۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. برای تعیین غلظت پروتئین کل از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. همچنین برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین از روش بیتز و همکاران (Bates et al., 1973) استفاده شد.

برای تعیین میزان کلروفیل، بر اساس روش پیشنهادی پورا و همکاران (Porra et al., 1989) در هر کرت، به‌طور تصادفی تعداد پنج برگ از پنج بوته برداشت و از هر برگ تعداد سه حلقه (در هر کرت ۱۵ حلقه) به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنک برگ تهیه شد. سپس نمونه‌های برگ به لوله‌های آزمایشی استریل حاوی پلی‌اتیلن گلایکول و آب خالص، منتقل شدند. بعد از نگهداری به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق، نمونه‌های برگ از لوله‌های آزمایشی خارج و در کاغذ صافی خشک شدند. سپس نمونه‌های برگی خشک شده را در لوله آزمایشی محتوی پنج میلی‌لیتر دی‌اتیل اتر ۹۰ درصد قرار داده و درشرایط دمای اطاق به‌مدت پنج روز تا زمانی‌که همه کلروفیل‌ها از نمونه‌های برگ جدا شدند، نگهداری گردیدند. پس از آن لوله‌های حاوی کلروفیل نمونه برگ در داخل دستگاه اسپکتروفتومتر گذاشته و غلظت محلول در طول موج‌های ۶۶۳E برای کلروفیل a و ۶۴۵E نانومتر برای کلروفیل b قرائت شد و نهایتاً میزان کلروفیل (a+b) با استفاده از معادله‌های ۳ و ۴ محاسبه شد:

$$\text{Chlorophyll a} = (19.3\times A_{663}-0.86\times A_{645})\ V/1000W$$ معادله (۳)

$$\text{Chlorophyll b} = (19.3\times A_{645}-3.6\times A_{663})\ V/1000W$$ معادله (۴)

که در این معادله‌ها، V: حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)، A: جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر و W: وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

برای اندازه‌گیری میزان کربوهیدرات محلول در برگ، ابتدا ۰/۵ گرم از بافت سبز برگ فریز شده در داخل پنج میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون کاملاً له و به لوله‌های آزمایش دربدار منتقل گردید و به‌مدت۳۰ ثانیه به‌آرامی به هم زده شد. بعد مایع رویی جدا و به لوله دربدار به حجم ۲۰ سی‌سی منتقل شد. سپس دو بار و هر بار پنج میلی‌لیتر اتانول۷۰ درصد به بخش جامد باقی‌مانده اضافه و کاملاً شستشو گردید. کلیه مراحل فوق در نور کم انجام گرفت. سپس بخش مایع رویی به لوله آزمایش منتقل شد. در نهایت، ۱۵ میلی‌لیتر از عصاره به‌دست آمده به‌مدت ۱۵ دقیقه با ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. قسمت محلول زلال به‌دست آمده جدا و به ۰/۱ میلی لیتر از آن، مقدار سه میلی‌لیتر محلول آنترون همراه با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک اضافه گردید. لوله‌های حاوی محلول‌های فوق به‌مدت ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده و سپس میزان جذب آن ها با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت شد (Schlegel, 1956).

برای محاسبه عملکرد نهایی دانه از ردیف‌های سوم و چهارم پس از حذف نیم متر از هر دو سوی خطوط کاشت به‌عنوان اثر حاشیه به‌طول سه متر استفاده شد که جمعاً مساحتی حدود ۴/۵ مترمربع را تشکیل می‌داد. در نهایت، گیاهان برداشت شده از هر کرت آزمایشی در کیسه‌های جداگانه قرار گرفته و از هر کرت به‌طور تصادفی شش بوته ذرت انتخاب و تعداد دانه در بلال، اندازه-

گیری شد. سپس دانه‌ها را از چوب بلال جدا کرده و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون به‌مدت ۷۲ ساعت قرار داده تا رطوبت دانه به صفر درصد برسد و پس از آن بر مبنای ۱۴ درصد رطوبت عملکرد دانه محاسبه شد. دانه‌های هر کرت جهت تعمیم به عملکرد نهایی، جداگانه وزن گردید و چوب خشک بلال نیز توزین شد. تعداد هزار دانه به‌وسیله دستگاه شمارشگر بذر شمارش و توزین گردید. شاخص برداشت از نسبت عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک محاسبه گردید.

داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS تجزیه و مقایسه میانگین شد. جهت مقایسه میانگین‌ها از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و جهت رسم شکل‌ها از Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثر کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ذرت در جدول ۲ نشان داده شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بین سطوح مختلف آبیاری از نظر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت. طبق جدول تجزیه واریانس تیمار جیبرلین تنها بر روی صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال پنج درصد دارای اثر معنی‌دار بود. همچنین مصرف کاهنده‌های تعرق بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت، وزن هزار دانه، تعداد دانه در بلال و شاخص سطح برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و برای محتوی نسبی برگ دارای اثر معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند. اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف جیبرلین و همچنین اثرات متقابل جیبرلین و کاهنده‌های تعرق بر صفت عملکرد بیولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند. همچنین اثرات متقابل تنش خشکی و مصرف کاهنده‌های تعرق بر صفات عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. اثرات متقابل سه‌گانه بر صفات عملکرد دانه و شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

عملکرد دانه: بالاترین میزان عملکرد دانه در شرایط آبیاری نرمال با مصرف هم‌زمان دو هورمون جیبرلین و اسید سالیسیلیک (۱۱/۱۱ تن در هکتار) به‌دست آمد. همچنین پایین‌ترین میزان عملکرد دانه در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق (۶/۴۲ تن در هکتار) به‌دست آمد. تنش خشکی سبب کاهش عملکرد دانه نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید (جدول ۳). بررسی‌های هاگ و دیویس (Hugh & Davis, 2003) نشان داد که اعمال شدت‌های ملایم و شدید تنش خشکی به‌ترتیب موجب کاهش عملکرد دانه ذرت به‌میزان ۶۳ و ۸۵ درصد در مقایسه با شرایط بهینه شد. همچنین گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله قبل و بعد از گل‌دهی، عملکرد دانه در ذرت را به‌ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد کاهش داد (Osborne et al., 2002). همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق و جیبرلین توانست در بهبود افت عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی مؤثر واقع شود. کشاورزی و همکاران (Keshavarzi et al., 2014) در ارزیابی تأثیر هورمون جیبرلین بر عملکرد ذرت علوفه‌ای گزارش کردند که کاربرد غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام جیبرلین تأثیر مثبت و معنی‌داری بر وزن تک بوته و عملکرد کمّی و کیفی علوفه داشت. همچنین از بین ترکیبات کاهنده تعرق به‌ترتیب اسید سالسیلیک، اسید آسکوربیک و پاکلوبوترازول باعث بهبود عملکرد دانه شدند. هنگامی‌ که گیاه در معرض تنش قرار می‌گیرد اسید سالیسیلیک موجب فعال‌سازی سیستم آنتی‌اکسیدانی می‌شود (Borsani et al., 2001; Senaratna et al., 2000). آنتی‌اکسیدان‌ها به‌طور مؤثری آسیب‌های حاصل از اکسیداسیون ایجاد شده توسط رادیکال‌های آزاد را کاهش و یا متوقف می‌کنند و از این طریق به سلامت سلول‌ها کمک می‌کنند. گزارش‌هایی از اثر اسید سالیسیلیک بر افزایش عملکرد برخی گیاهان مانند گندم حاصل شده است (Shakirova et al., 2003).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و صفات فیزیولوژیکی ذرت

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effects of deficit irrigation, gibberellin and antitranspirants on growth, yield, yield components and physiological traits of corn

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	وزن هزار دانه 1000-seed weight	تعداد دانه در بلال Number of seeds per ear	شاخص سطح برگ Leaf area index	محتوای آب نسبی برگ Relative water content of leaf	میزان پرولین Proline content	پروتئین کل Total protein	قندهای محلول Soluble sugars	کلروفیل کل (a+b) Total chlorophyll (a+b)
تکرار Replication	2	63268.43^{ns}	235573.20^{ns}	0.24^{ns}	2980.50**	19663.54*	0.01^{ns}	0.80^{ns}	0.095^{ns}	0.0002^{ns}	770.029^{ns}	0.06^{ns}
کم‌آبیاری (A) Deficit irrigation (A)	2	18993501.68**	39375870.30**	101.07**	30093.87**	56068.62**	1.69**	684.46**	11.03**	0.001**	90450.50**	1.15**
خطای اصلی Main error	4	38644.85	203170.90	0.16	424.62	7267.91	0.32	14.03	0.08	0.00004	108.47	0.105
جیبرلین(B) Gibberellin (B)	1	642600.06	820267.00*	3.85^{ns}	1334.72^{ns}	3389.38^{ns}	0.03^{ns}	21.85^{ns}	0.17^{ns}	0.00007^{ns}	9180.12^{ns}	0.011^{ns}
ترکیبات کاهنده تعرق(C) Antitranspirants (C)	3	15322379.22**	149870888.10**	126.59**	31665.12**	31608.48**	3.58**	64.84*	1.18^{ns}	0.00004^{ns}	1509.71^{ns}	0.03^{ns}
A×B	2	465498.93^{ns}	992969.00**	2.17^{ns}	35.68^{ns}	8202.68^{ns}	0.01^{ns}	0.88^{ns}	0.003*	0.00008^{ns}	340.66^{ns}	0.007^{ns}
A×C	6	371005.85**	2460385.30**	13.81**	185.39^{ns}	4528.99^{ns}	0.16^{ns}	1.12^{ns}	0.20^{ns}	0.00003^{ns}	77.42^{ns}	0.024^{ns}
B×C	3	15766083	502065.80*	1.65^{ns}	14.24^{ns}	3399.42^{ns}	0.01^{ns}	1.30^{ns}	0.06^{ns}	0.000006^{ns}	15.71*	0.011^{ns}
A×B×C	6	387162.87**	82567.80^{ns}	11.56**	7.53^{ns}	2493.27^{ns}	0.01^{ns}	0.68^{ns}	0.017^{ns}	0.000005^{ns}	92.52^{ns}	0.006^{ns}
خطای فرعی Sub error	42	197954.98	144797.1	1.96	435.82	4540.00	6.00	19.78	0.236	0.0001	601.21	0.108
ضریب تغییرات (٪) CV(%)		3.76	1.78	3.41	6.28	11.18	11.35	5.79	18.32	10.20	5.27	12.32

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال یک و پنج درصد و عدم معنی‌دار می‌باشند.

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

کاربرد این هورمون‌های گیاهی با افزایش سرعت فتوسنتز (Khodary, 2004) و انتقال بیشتر مواد آسیمیلات به دانه باعث افزایش وزن دانه و در نتیجه، عملکرد دانه شده است (Gunes et al., 2005). بر این اساس، به نظر می‌رسد کاربرد ترکیبات هورمونی شامل اسید سالیسیلیک و جیبرلین تقسیم سلولی را درون مریستم‌های گیاهچه‌های ذرت افزایش داده و به این طریق موجب بهبود رشد گیاه شده است. مصرف این ترکیبات همچنین از طریق آماس مناسب سلول‌ها، افزایش تقسیم، طویل شدن و تمایز سلولی، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت رشد و طولانی‌تر شدن دوره رشد گیاه، می‌توانند باعث توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه، بهبود رشد و افزایش عملکرد دانه شده است.

عملکرد بیولوژیک: طبق نتایج مقایسات میانگین مشاهده شد که بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک تحت شرایط آبیاری نرمال با مصرف هورمون جیبرلین (شکل ۱) و همچنین آبیاری نرمال با مصرف کاهنده تعرق اسید سالیسیلیک (شکل ۲) به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل کاربرد جیبرلین و کاهنده‌های تعرق نیز بالاترین میزان عملکرد بیولوژیک را در حالت‌های مصرف هم‌زمان جیبرلین با اسید سالیسیلیک و اسید آسکوربیک نشان داد (شکل ۳). همچنین پایین‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری با مصرف جیبرلین (شکل ۱) و تحت شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف کاهنده‌های تعرق (شکل ۲) به‌دست آمد. بررسی اثر متقابل کاربرد جیبرلین و کاهنده‌های تعرق نیز پایین‌ترین میزان عملکرد بیولوژیک را در حالت‌های مصرف هم‌زمان جیبرلین با پاکلوبوترازول نشان داد (شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، تنش خشکی سبب کاهش عملکرد بیولوژیک نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید، و استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق و جیبرلین توانست در بهبود افت عملکرد بیولوژیک تحت شرایط تنش خشکی مؤثر واقع شود.

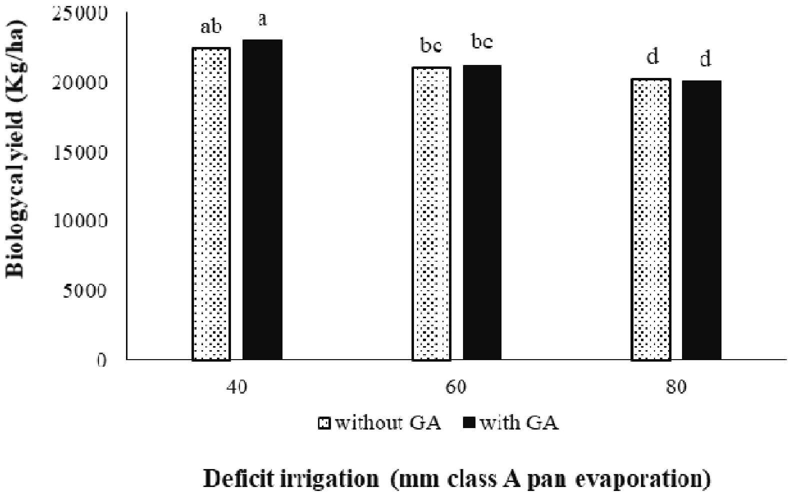
جدول ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و کاربرد جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد دانه و شاخص برداشت ذرت

Table 3- Mean comparisons for the effects of deficit irrigation, gibberellin and antitranspirants on yield and harvest index of corn

کاربرد جیبرلین Gibberellin application	نام ترکیب Compound name	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha^{-1}) کم‌آبیاری Deficit irrigation (mm class A pan evaporation) 40	60	80	شاخص برداشت Harvest index (%) کم‌آبیاری Deficit irrigation (mm class A pan evaporation) 40	60	80
بدون Without	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	9742.67^{bc*}	9110.33^{de}	8366.00^{fghi}	39.66^{gh}	38.37^{hjk}	36.5^{1jk}
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	10647.00^{a}	9498.67^{bcd}	8513.67^{fgh}	43.18^{df}	40.87^{fg}	37.97^{hk}
	پاکلوبوترازول Paclobutrazol	8506.33^{fghi}	8530.00^{fgh}	7969.00^{i}	44.69^{bcd}	45.52^{bc}	44.26^{bcde}
	شاهد Control	8280.33^{fghi}	8025.00^{hi}	6420.67^{j}	38.78^{ghij}	43.39^{cde}	36.21^{k}
با With	اسید آسکوربیک Ascorbic acid	10036.33^{b}	9368.00^{cd}	8563.33^{fgh}	39.58^{gh}	39.18^{ghi}	37.13^{ik}
	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	11111.67^{a}	9949.00^{b}	8744.33^{ef}	43.19^{de}	42.11^{ef}	38.38^{hk}
	پاکلوبوترازول Paclobutrazol	9389.00^{cd}	8608.33^{efg}	6814.67^{j}	48.58^{a}	45.78^{b}	39.17^{ghi}
	شاهد Control	8442.33^{fghi}	8118.00^{ghi}	6732.00^{j}	39.01^{ghi}	43.31^{ce}	39.56^{gh}

* میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

* Means with same letter(s) for each column have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

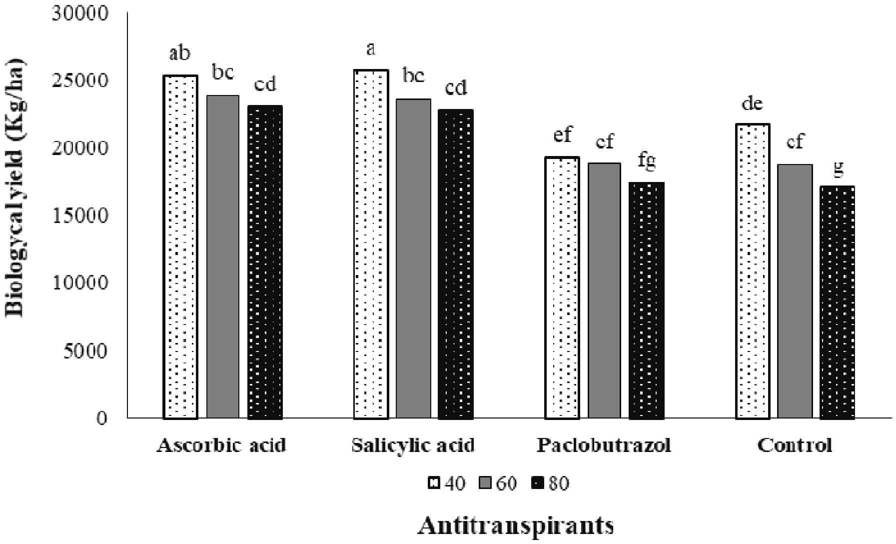


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و جیبرلین بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 1- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and gibberlin on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

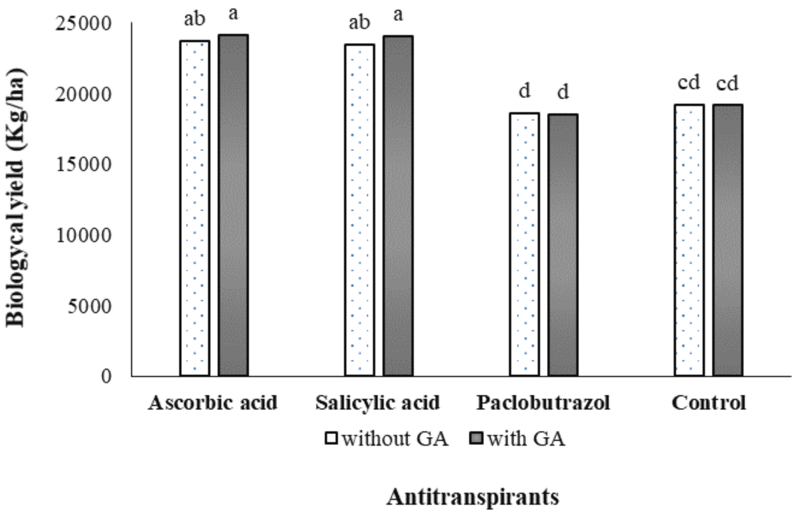


شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 2- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and antitranspirants on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل جیبرلین و ترکیبات کاهنده تعرق بر عملکرد بیولوژیک ذرت

Fig. 3- Mean comparisons for the intraction effects of gibberlin and antitranspirants on biological yield of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

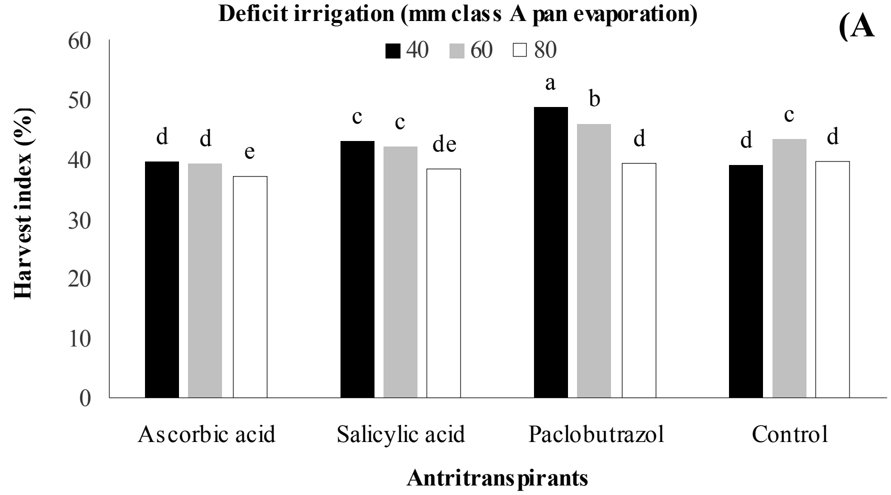
همچنین مشاهده گردید از بین ترکیبات کاهنده تعرق اسید سالسیلیک و اسید آسکوربیک بیشترین تأثیر را در بهبود عملکرد بیولوژیک داشتند. اسید آسکوربیک از جمله مواد آنتی‌اکسیدانی درون سلولی است که مقاومت سطح سوبستراهای آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را بالا می‌برد و در کاهش تنش خشکی نقش به‌سزایی دارد (Hossain et al., 2016).

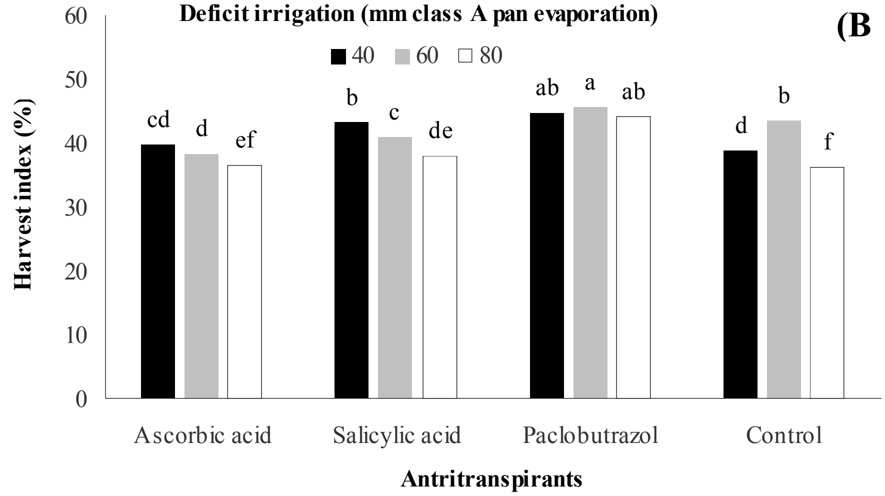
کوسکئولولا و فکت (Cosculleola & Fact, 1992) نیز بر این موضوع تأکید کردند که کاهش عملکرد در اثر تنش کمبود آب، ناشی از کاهش فتوسنتز گیاه تحت تأثیر کاهش پتانسیل آب برگ و سطوح فعال فتوسنتزی بوده است. یانگ و همکاران (Yang et al., 1993) نیز محدودیت کربوهیدراتی، کاهش آهنگ فتوسنتز خالص و تجمع ماده خشک در برگ‌ها، ساقه و بلال را از جمله دلایل کاهش عملکرد ماده خشک بیان کردند. این محققان همچنین نتیجه گرفتند که سه عامل مهم در محاسبه تولید ذرت در شرایط کمبود آب، سطح برگ، وزن برگ و وزن اندام‌های هوایی است. نیسانی و همکاران (Neisani et al., 2012) نیز تأیید کردند که وزن تر ساقه و بلال به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش خشکی قرار گرفت. رضایی استخروئیه و همکاران (Rezaei Estakhroee et al., 2012) اظهار داشتند تنش خشکی بر وزن تر اندام‌های هوایی ذرت معنی‌دار بود. معمولاً در شرایط تنش خشکی به‌دلیل کاهش توسعه برگ‌ها و ساقه و کاهش میزان تجمع مواد ذخیره‌ای در این اندام‌ها از وزن تر کاسته می‌شود (Lamm, 2004). اعمال تنش خشکی در مرحله گرده‌افشانی موجب محدودیت کربوهیدراتی و عدم تکامل، کاهش میزان فتوسنتز خالص، تجمع ماده خشک در برگ، ساقه و بلال و همچنین عملکرد دانه شد (Schussler & Westgate, 1991).

شاخص برداشت: بالاترین میزان شاخص برداشت تحت شرایط آبیاری نرمال با مصرف هم‌زمان دو هورمون جیبرلین و پاکلوبوترازول ۴۸/۵۸ و پایین‌ترین میزان شاخص برداشت در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری بدون مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق ۳۶/۲۱ به‌دست آمد. با توجه به شکل ۴ مشاهده گردید که برای این صفت، از بین ترکیبات کاهنده تعرق تحت دو شرایط مصرف و عدم مصرف جیبرلین پاکلوبوترازول بیشترین تأثیر و اسید آسکوربیک کمترین تأثیر را در بهبود شاخص برداشت داشتند.

نتایج مطالعه‌ای نشان داد که تیمار بذر نخود با اسید سالیسیلیک سبب افزایش شاخص برداشت شد (Kumar et al., 1999). بنابر گزارش مراه (Merah, 2001) ذخایر ساقه برای پر شدن کامل دانه لازم است و پتانسیل لازم برای ذخیره مواد در ساقه به طول آن بستگی دارد. ذخایر تجمع یافته در ساقه قبل از گرده‌افشانی نیز می-

تواند در برخی از گیاهان برای پر شدن دانه، علاوه‌بر آسیمیلات‌های حاضر مورد استفاده قرار گیرد، در نتیجه در بالا رفتن شاخص برداشت نقش داشته باشد (Chaves et al., 2003).





شکل ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و ترکیبات کاهنده تعرق با (A) و بدون (B) جیبرلین بر شاخص برداشت ذرت

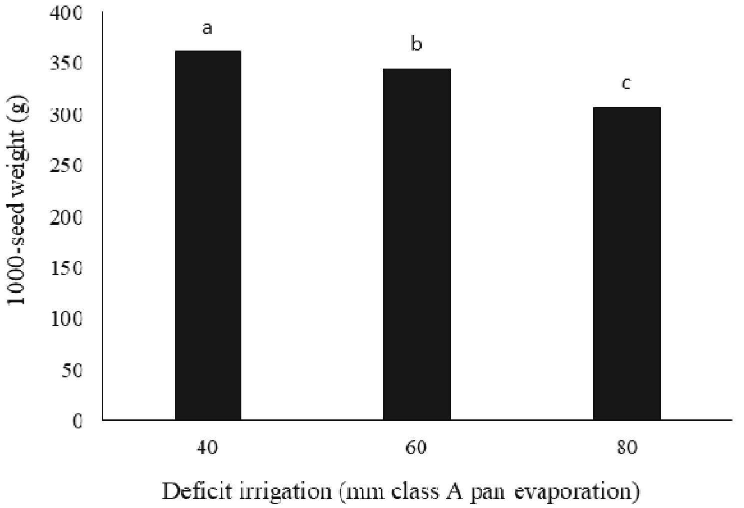
Fig. 4- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and antitranspirants (A) with and (B) without gibberellin onharvest index of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بالاترین میزان وزن هزار دانه (۳۶۶ گرم) را در شرایط آبیاری نرمال نشان داد و کمترین میزان وزن هزار دانه در شرایط تنش آبیاری ۸۰ میلی‌متری (۲۹۵ گرم) به‌دست آمد (شکل ۵). با توجه به نتایج به‌دست آمده، تنش خشکی سبب کاهش وزن هزار دانه نسبت به تیمار آبیاری نرمال گردید. همچنین استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق توانست اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد. از بین ترکیبات کاهنده تعرق به‌ترتیب اسید آسکوربیک، اسید سالسیلیک و پاکلوبوترازول باعث بهبود وزن هزار دانه شدند (شکل ۶). اسید آسکوربیک به‌دلیل نقش آن به‌عنوان کوفاکتور مهم در بیوسنتز بسیاری از هورمون‌های

گیاهی از طریق احیای این هورمون‌ها سبب تعدیل آثار تنش، افزایش تقسیم و گسترش سلولی و افزایش ارتفاع بوته، تعداد دانه، وزن دانه و عملکرد دانه می‌شود (Taqi et al., 2011). از آن‌جا که دانه‌بندی بلال در انتهای مراحل رشدی گیاه رخ می‌دهد، به نظر می‌رسد که کاربرد مواد کاهش‌دهنده تعرق با حفظ سطح بالایی از پرولین و رطوبت نسبی موجب تداوم انجام فتوسنتز جاری برگ و در نتیجه، کاهش اثر تنش خشکی بر وزن هزار دانه شده است. اثرات مفید اسید سالیسیلیک و جیبرلین روی عملکرد دانه احتمالاً در رابطه با انتقال بیشتر مواد آسیمیلات فتوسنتزی به دانه‌ها در طول دوره پر شدن دانه بوده که در نتیجه، باعث افزایش وزن دانه شده است (Gunes et al., 2005).

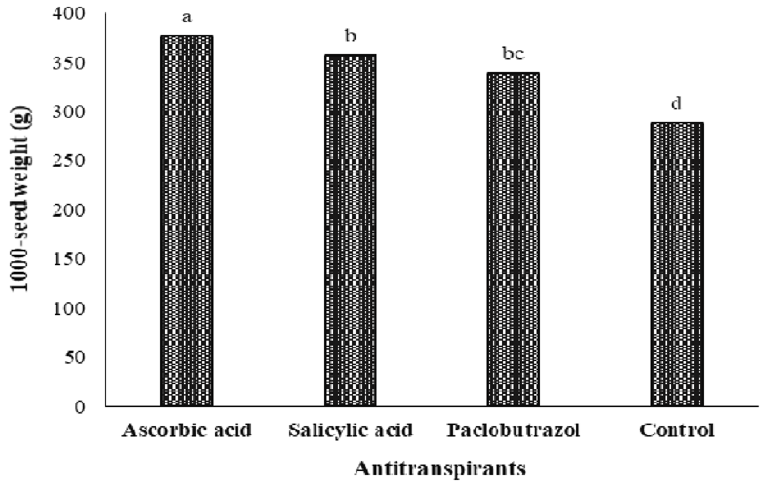


شکل ۵- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر وزن هزار دانه ذرت

Fig. 5- Mean comparisons for effect of deficit irrigation on 1000-seed weight of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.



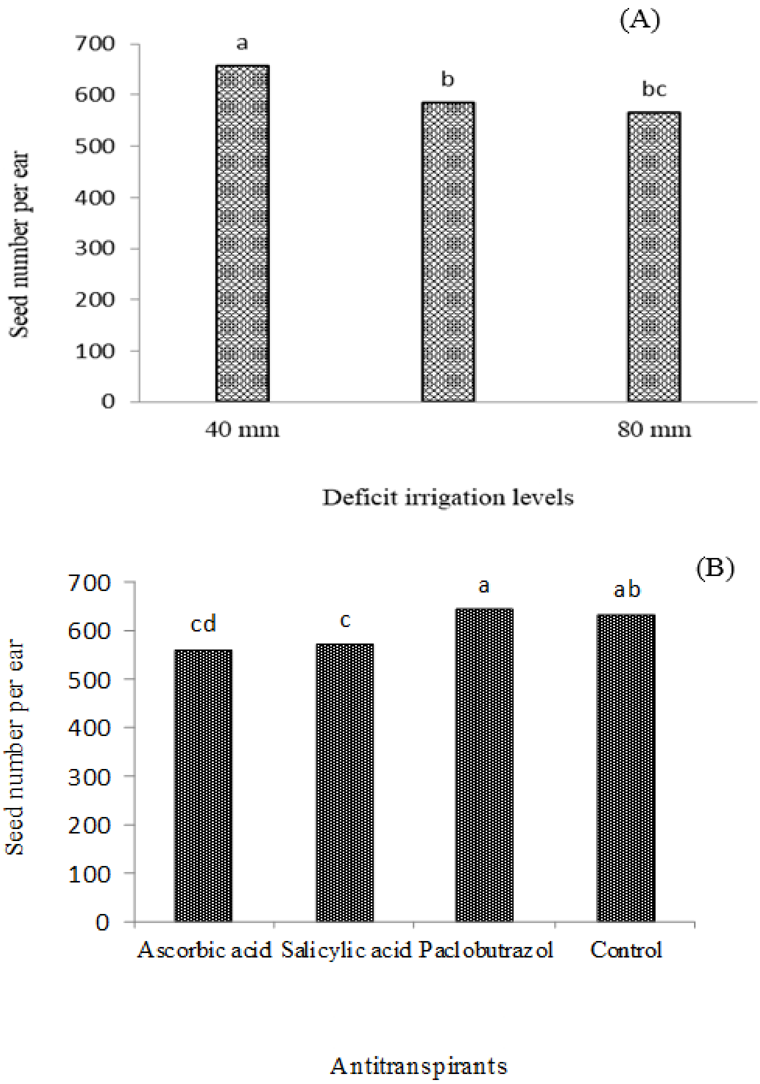
شکل ٦- مقایسه میانگین اثر کاهنده‌های تعرق بر وزن هزار دانه ذرت

Fig. 6- Mean comparisons for effect of antitranspirants on 1000-seed weight of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

تعداد دانه در بلال: طبق شکل ۷ (الف) بالاترین میزان تعداد دانه در بلال در شرایط آبیاری نرمال (۴۰ میلی‌متری) و پـایین‌تـرین میزان در شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری حاصل گردید. با توجه به شکل ۷ (ب) از بین کاهنده‌های تعرق تنها استفاده از تیمـار پـاکلوبوترازول منجـر بـه افـزایش تعـداد دانـه در بـلال شـد. در تـنش خشـکی، پاکلوبوترازول در تغییرات سـیتوکینین‌هـا مـؤثر اسـت (Zhu et al., 2004). از آن‌جا که سیتوکینین‌ها مسئول تقسیم سلولی و تعیین تعداد دانــه هســتند، بنــابراین، تغییــرات احتمــالی ســیتوکینین از طریــق پاکلوبوترازول منجر به افزایش تعداد دانه در بلال شده است.



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر تعداد دانه در بلال ذرت

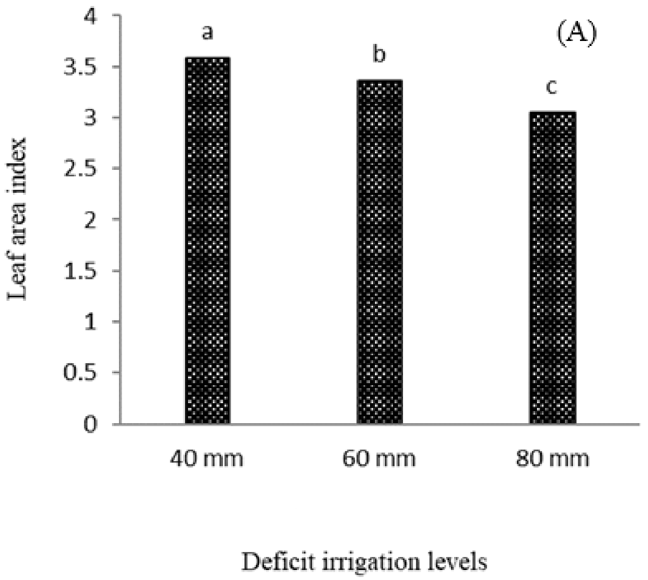
Fig. 7- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants on seeds number per ear of corn

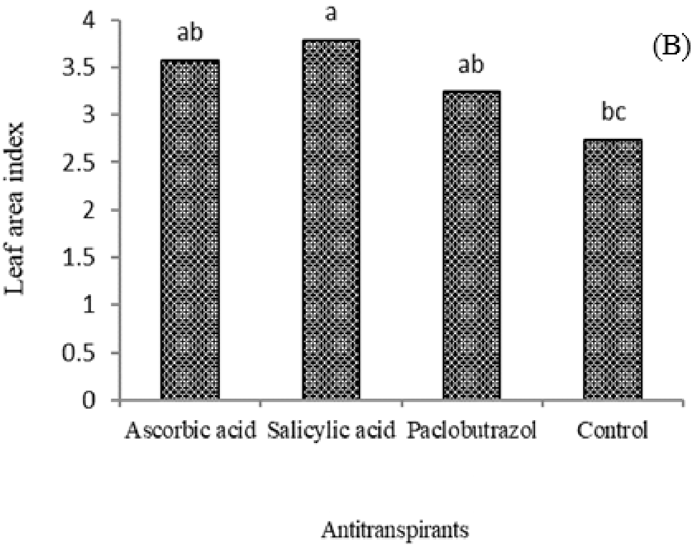
میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

شاخص سطح برگ: شاخص سطح برگ در شرایط آبیـاری نرمال بالاترین (۳/۶) و در تیمار تنش خشکی ۸۰ میلی‌متری پایین‌ترین مقدار (۳/۰۵) را به خود اختصاص دادند (شکل ۸- الف).

استفاده از کاهنده‌های تعرق شاخص سطح برگ را افزایش دادند که بیشترین افزایش مربـوط بـه اسـتفاده از اسـید سالسـیلیک بـود. بررسی‌ها نشان داده است که کاربرد اسید سالسیلیک تقسیم سلولی و رشد سلول‌ها را در برگ‌های گیاهان افزایش می‌دهد.





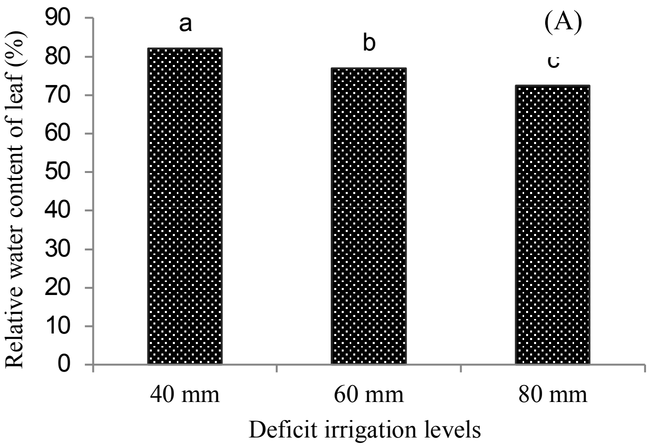
شکل ۸- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر شاخص سطح برگ ذرت

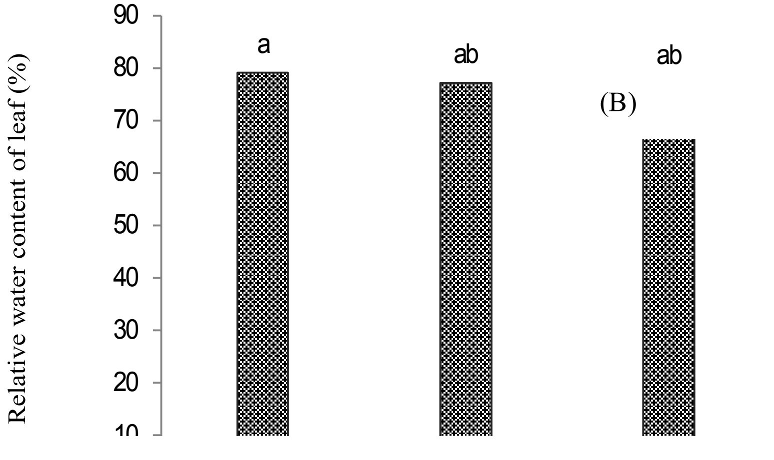
Fig. 8- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants leaf area index of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

همچنین با تأثیر بر تعادل هورمونی گیاه نظیر اکسین، سیتوکینین و اسید آبسیزیک سبب افزایش رشد اندام‌های گیاه می‌شود (Shakirova et al., 2003). همچنین اسید سالسیلیک به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، در تنظیم ژن‌های مرتبط با پیری برگ نقش دارد (Shakirova et al., 2003). بنابراین کاربرد آن احتمالاً با تأخیر انداختن پیری برگ سبب بهبود شاخص سطح برگ می‌گردد. اثر تنش خشکی در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها گردیده، کلروفیل‌سازی در کمبودهای شدید متوقف شده و شاخص سطح برگ را در دوره رسیدگی محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد (Gardner et al., 2010). بر این اساس، به نظر می‌رسد اثر تنش در طول دوره رشد رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها شده است. تحقیقات کاکر (Cakir, 2004) نیز نشان داد که میان گسترش و توسعه سطح برگ و محتوی آب موجود در گیاه همبستگی مثبت وجود دارد، به‌طوری‌که در گیاه تحت تنش کمبود آب، شاخص سطح برگ کاهش یافت. بررسی‌های سایر محققان نیز بر کاهش سطح برگ به‌واسطه اختلال در فتوسنتز و کاهش کلروپلاست و در نتیجه، زرد و نکروزه شدن سریع برگ‌ها در شرایط کمبود رطوبت خاک دلالت می‌کنند که به‌عنوان مکانیسمی برای سازگاری به خشکی به شمار می‌آید (Flagella et al., 2002; Gavloski et al., 1992).





شکل ۹- مقایسه میانگین اثر A) کم‌آبیاری و B) ترکیبات کاهنده تعرق بر محتوای نسبی آب برگ ذرت

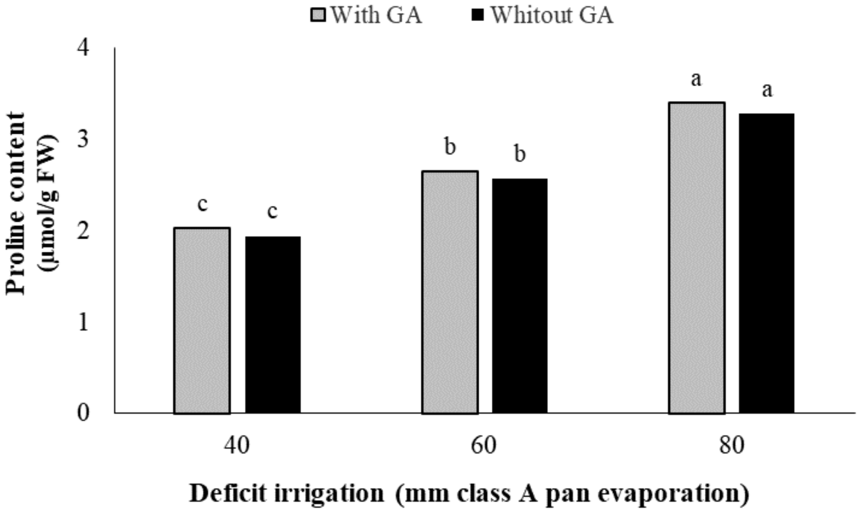
Fig. 9- Mean comparisons for the A) deficit irrigation and B) antitranspirants relative water content of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر شکل بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) in each figure have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

محتوای آب نسبی برگ (RWC): در صفت محتوای نسبی آب برگ بالاترین و پایین‌ترین میزان به‌ترتیب در شرایط آبیاری نرمال (۸۲ درصد) و تنش ۸۰ میلی‌متری (۷۲/۴ درصد) به‌دست آمد (شکل ۹- الف). از بین ترکیبات کاهنده تعرق تنها اسید آسکوربیک سبب بهبود محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی گردید (شکل ۹- ب). ترزی و همکاران (Terzi et al., 2015) با کاربرد ۰/۱ میلی-مولار اسید آسکوربیک در کشت هیدروپونیک گیاهچه‌های ذرت نشان دادند که کاربرد اسید آسکوربیک میزان حذف هیدروژن پراکسید را افزایش و پراکسیداسیون لیپیدها در تنش را کاهش و وضعیت آب برگ و هدایت روزنه‌ای را بهبود می‌دهد. بنابراین، بهبود سیستم آنتی-اکسیدانی گیاه با کاربرد کاهنده‌های تعرق توانست تا حدودی محتوای نسبی آب برگ را افزایش دهد.

میزان پرولین: طبق نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و جیبرلین بر محتوای پرولین معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج نشان داده است که پس از اعمال تنش خشکی، میزان پرولین در گیاه افزایش معنی‌داری پیدا کرد (شکل ۱۰) که با نتایج هو و همکاران (Hua et al., 2010) مطابقت دارد، البته این افزایش مشابه گیاهانی مانند گندم نبود، به‌طوری‌که در گندم افزایش ۱۰ تا ۱۰۰ برابری پرولین تحت شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Rao & Ryan, 2004).



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل کم‌آبیاری و جیبرلین بر محتوی پرولین ذرت

Fig. 10- Mean comparisons for the intraction effects of deficit irrigation and gibberellin on proline content of corn

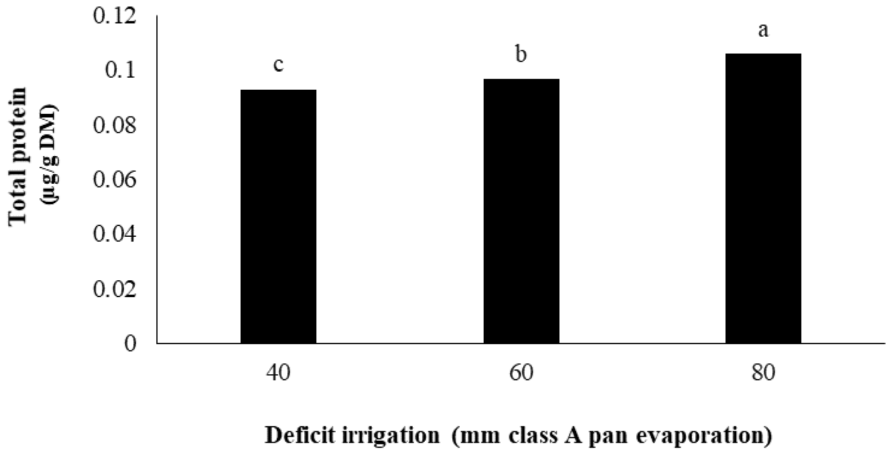
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

پرولین یک اسید آمینه است که در تشکیل پروتئین‌ها دخالت دارد و همچنین یک اسمولیت است که با تنظیم فشار اسمزی گیاه یکی از مکانیسم‌های سلولی برای بهبود عملکرد گیاه هنگام تنش می‌باشد. به عبارت دیگر، می‌توان آن را یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی دانست که باعث حذف رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شود (Chougan, 1996). افزایش تجمع پرولین تحت شرایط تنش بستگی به گونه گیاهی و شدت تنش دارد. تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی باعث تغییر ماهیت و معمولاً تغییر ساختار پروتئین‌ها می‌شود. حفظ ساختار پروتئین و جلوگیری از تجمع پروتئین‌های غیرمؤثر در شرایط تنش، برای بقای سلول لازم است (Altenbach et al., 2003). طبق یک قاعده کلی هم‌گام با کاهش پتانسیل آب، غلظت هورمون‌های گیاهی نیز تغییر می‌کند. در شرایط تنش خشکی ملایم یا شدید، غلظت اسید آمینه پرولین نسبت به سایر اسیدهای آمینه افزایش یافته و این هورمون به‌عنوان مخزن ذخیره‌ای نیتروژن و یا ماده محلول کاهش-

دهنده پتانسیل اسمزی سیتوپلاسم، عمل نمی‌نماید، بلکه تحمل گیاه را نسبت به تنش افزایش می‌دهد (Stewart, 1982). افزایش میزان پرولین در این رقم مقاوم، می‌تواند تأییدکننده نقش مؤثر پرولین در مقاومت به خشکی باشد. استفاده از تیمارهای کاهنده تعرق تأثیری بر صفت میزان پرولین نداشته است (جدول ۲). پایین‌ترین میزان پرولین تحت شرایط آبیاری نرمال (۱/۹۹) و بالاترین میزان تحت شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری (۳/۳۴) بود. بر اساس نتایج تحقیقات پیشین در طی بروز تنش خشکی بر مقدار پرولین افزوده می‌شود. احتمالاً دلیل افزایش پرولین طی تنش خشکی این است که پرولین اسید آمینه ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده که احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد (Heuer, 1994). تجمع پرولین تحت شرایط تنش می‌تواند تا حدی شرایط لازم برای ادامه جذب آب از محیط ریشه را برای گیاه را فراهم کند، ولی اتکای گیاهان به این ترکیب‌های آلی برای تنظیم اسمزی هزینه‌بر بوده و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد (Good & Zaplachiniski, 1994).

محتوای پروتئین کل: اثر تنش خشکی بر صفت محتوای پروتئین کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و اثرات استفاده از ترکیبات کاهنده‌های تعرق و جیبرلین بر این صفت معنی‌دار نبود. پایین‌ترین میزان پروتئین تحت شرایط آبیاری نرمال (۰/۰۹۲) و بالاترین میزان تحت شرایط تنش ۸۰ میلی‌متری (۰/۱) بود (شکل ۱۱). با توجه به افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانی آنزیمی در شرایط تنش خشکی، محتوای پروتئین کل نسبت به شرایط نرمال افزایش یافت. میزان پروتئین کل که بسیاری از آنزیم‌های دفاعی را شامل می‌شود در هنگام وقوع تنش افزایش می‌یابد که نشانگر فعال شدن مکانیسم‌های تحمل است (Kim et al., 2005)، این در حالی است که در شرایط نرمال گیاه کمتر انرژی خود را صرف سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی نموده و بیشتر انرژی صرف افزایش فتوسنتز و تولید ماده خشک می‌شود. تأثیر تنش خشکی در مرحله ساقه‌دهی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پروتئین کل شد (Basra, 1997). این نتایج با نتایج محمدخانی و حیدری (Mohammadkhani & Headari, 2008) نیز مطابقت دارد. همان‌طور که از نتایج این پژوهش به‌دست آمد، پروتئین کل نسبت به سایر معیارهای بیوشیمیایی برای شناسایی ارقام مقاوم از دقت کمتری برخوردار است (Basra, 1997).



شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی پروتئین ذرت

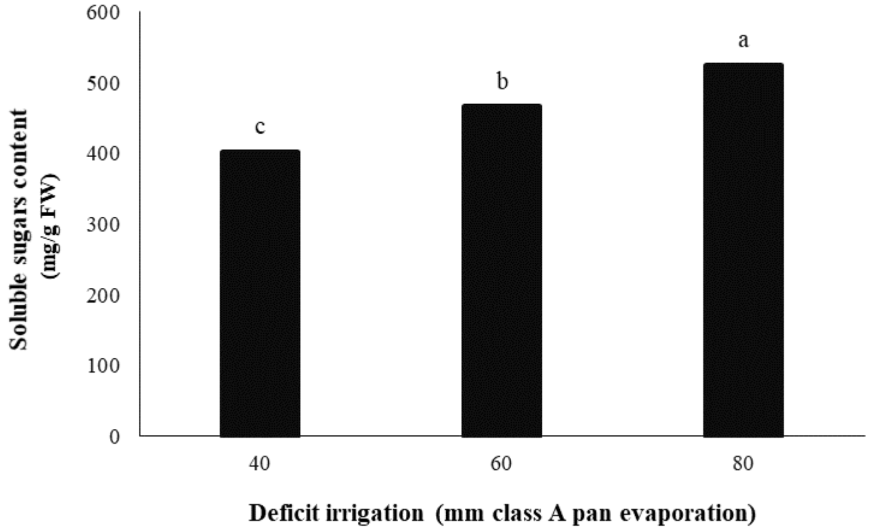
Fig. 11- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on protein content of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

قندهای محلول: اثر سطوح مختلف آبیاری در سطح احتمال یک درصد و همچنین اثر متقابل مصرف جیبرلین و کاهنده‌های تعرق

در سطح احتمال پنج درصد برای قندهای محلول معنی‌دار بودند (جدول ۲). بیشترین میزان تجمع قندهای محلول در تنش خشکی ۸۰ میلی‌متری (۵۲۵ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین میزان تجمع در شرایط آبیاری نرمال و (۴۰۲ میلی‌گرم بر گرم) بود (شکل ۱۲). نتایج مطالعه نشان می‌دهد که تحت شرایط تنش خشکی، با افزایش مقدار قندهای محلول در هیبرید مورد مطالعه میزان عملکرد دانه آن‌ها کاهش یافته است. این احتمال وجود دارد که افزایش مقدار قندهای محلول در شرایط تنش خشکی، ناشی از تجزیه نشاسته باشد. بنابراین، کاهش کربوهیدرات‌های ذخیره (نشاسته) در نهایت، منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. قندهای محلول از جمله آسیمیلات‌های سازگار هستند که در شرایط تنش بر مقدار آن‌ها افزوده می‌شود و تجمع آن‌ها سبب تنظیم اسمزی و تورژسانس سلول‌ها شده و از طرف دیگر، سبب حفاظت و پایداری غشا و پروتئین در شرایط تنش می‌گردد، زیرا که افزایش قندهای محلول یکی از سازوکارهای افزایش فشار اسمزی داخل سلول است که گیاه سعی دارد در شرایط کم‌آبی فشار اسمزی محیط را خنثی نموده و آب بیشتری را از خاک جذب نماید، تجمع قندهای محلول داخل سلول‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهم ایفا نموده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش یافته و آب بیشتری برای حفظ تورژسانس تحت تنش کم‌آبی داخل سلول باقی بماند. این مکانیسم موجب پایداری غشای زیستی، پروتئین‌ها، افزایش فتوسنتز و مقاومت به خشکی می‌شود. افزایش تجمع قندهای محلول در سلول در شرایط تنش خشکی به‌منظور تنظیم فشار اسمزی در ذرت توسط جوهری (Johari, 2010) گزارش شده است.



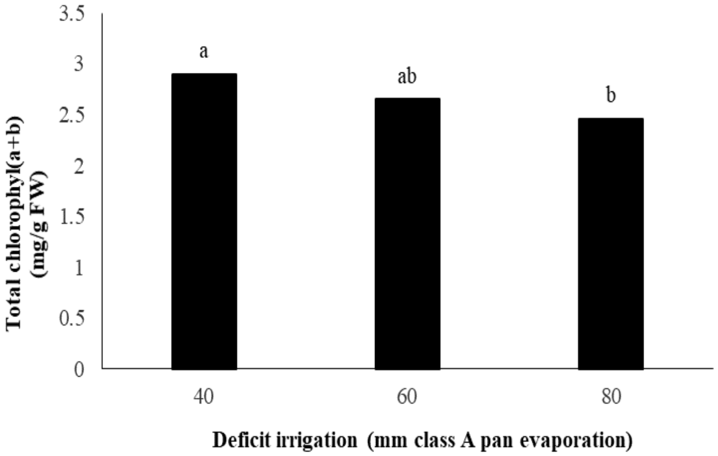
شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی قندهای محلول ذرت
Fig. 12- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on soluble sugars content of corn
میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.
Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

کلروفیل (a+b): اثر تنش خشکی بر صفت میزان کلروفیل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و اثرات استفاده از ترکیبات کاهنده‌های تعرق و جیبرلین بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). در اثر تنش خشکی میزان کلروفیل کاهش یافت. بالاترین میزان کلروفیل (۲/۹) در تیمار آبیاری نرمال و پایین‌ترین میزان آن در تیمار تنش خشکی ۸۰ میلی‌متر (۲/۴۶) مشاهده شد (شکل ۱۳).

یکی از روش‌های ارزیابی و پیش‌بینی تحمل گیاهان زراعی به تنش خشکی، مطالعه میزان تغییراتی است که در سنتز کلروفیل (a+b) برگ در اثر کمبود آب اتفاق می‌افتد. کاهش سنتز کلروفیل a از واکنش‌های عمومی گیاهان نسبت به کمبود آب می‌باشد (Gardneret al., 2010). میزان کلروفیل در گیاه زنده یکی از عوامل مهم برای فتوسنتز به شمار می‌آید. در این بین بسته به شدت، مدت و

مرحله تأثیر خشکی بر هرکدام از مقادیر کلروفیل در گیاهان متفـاوت است. در واقع، کاهش کلروفیل a بر اثـر تـنش خشـکی مربـوط بـه افزایش تولید رادیکال‌هـای اکسیژن در سـلول مـی‌شـود، زیـرا ایـن رادیکال‌ها سبب پراکسیداسیون و در نتیجه، تجزیه این رنگیزه می‌شود (Sheteawi & Tawfik, 2007).

در زمان تنش خشکی روزنه برگ‌ها به‌طور کامل یا جزئی بسـته می‌شود و این فرآیند طبیعی فتوسنتز را مختل می‌کند. تنش خشـکی تأثیر مستقیم بر کاهش شاخص کلروفیل برگ گیاه دارد. به‌طوری‌که، ساقه‌ها مهم‌ترین منبع کربوهیدرات‌ها در زمان پر شدن دانه‌ها هستند.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثر کم‌آبیاری بر محتوی کلروفیل کل (a+b) ذرت

Fig. 13- Mean comparisons for the effect of deficit irrigation on total chlorophyll content (a+b) of corn

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

Means with same letter(s) have not significantly different based on Duncan test at 5% probability level.

با کاهش فتوسنتز در شرایط تنش خشکی میزان این ذخـایر کـم شده و ضمن اثر بر قطر ساقه، بر پرشدن دانه و در نتیجه، وزن دانه‌ها و در نهایت، بر عملکرد دانه اثر منفـی مـی‌گـذارد. کـاهش تولیـدات فتوسنتزی در مرحله زایشی برای کاهش طول و قطر بلال ذکر شـده اسـت (Adebayo et al., 2014). محـرم‌نـژاد و همکـاران (Moharramnejad et al., 2015) با بررسی اثـر تـنش اسـمزی در لاین‌های ذرت اظهار کردند که تنش خشکی باعث کاهش معنـی‌دار میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل (a+b) می‌شود. به‌طوری‌که این میزان کاهش را نسبت به شاهد حدود ۴۰ درصد گزارش کردنـد. بررسی‌ها نشان داده است که تخلیه رطوبتی خاک بر شاخص کلروفیل و کلروفیـل a و b در ذرت سـینگل کـراس ۲۶۰ تأثیرگـذار بـود (Haghjoo & Bohrani, 2014). علاوه‌بـراین، تحـت تـأثیر تـنش خشکی کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی می‌تواند ناشی از کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تخریب نوری کمـپلکس پـروتئین رنگدانه b که محافظـت‌کننـده دسـتگاه فتوسـنتزی هسـتند، صـدمه اکسیداتیو لیپیدهای کلروپلاست رنگدانه‌ها و پروتئین‌ها و یا افـزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد (Tambussi et al., 2000).

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این تحقیق نشـان داد کـه اسـتفاده صـحیح از ترکیبات ضدتعرق و محرک رشد در شـرایط تـنش خشـکی عملکـرد ذرت را افزایش مـی‌دهـد. ایـن افـزایش در نتیجـه افـزایش فعالیـت آنتی‌اکسیدانی و بهبود شرایط رشد می‌باشد. به بیان دیگر، اثرات مثبت کاربرد ترکیبات کاهنده تعرق، کاهش صدمه تنش بـر تولیـد دانـه و عملکرد بیولوژیک بیان‌کننده آن است که کاربرد این مواد می‌تواند در افزایش تولید کمّی و کیفی ذرت مفید باشد. البته جیبرلین اثر تنظیمی

مختلفی در فرآیندهای گیاهی دارد. استفاده از اسید جیبرلیک معمولاً باعث افزایش سبز شدن، افزایش رشد و توسعه سیستم ریشه‌ای، تسریع در مراحل رشدی همچون گل‌دهی و رسیدگی، افزایش عملکرد و همچنین افزایش تحمل گیاه نسبت به تنش‌های غیرزیستی می‌شود. کاربرد اسید سالیسیلیک نیز بر بسیاری از فرآیندهای گیاهی مانند جوانه‌زنی، بسته شدن روزنه، تبادل انتقال، نفوذپذیری غشا، فتوسنتز و سرعت رشد اثر دارد.

به نظر می‌رسد کاربرد اسید سالیسیلیک و جیبرلین تقسیم سلولی را درون مریستم‌های گیاهچه‌های ذرت افزایش داده و به این طریق موجب بهبود رشد شده است. کاربرد این مواد در شرایط تنش خشکی همچنین از طریق آماس مناسب سلول‌ها، افزایش تقسیم سلولی، طویل شدن و تمایز سلولی، تخصیص بیشتر مواد سنتز شده جهت رشد و طولانی‌تر شدن دوره رشد گیاه می‌توانند باعث توسعه عادی سلول‌ها و در نتیجه، افزایش رشد شوند. به نظر می‌رسد اثرات مفید کاربرد این مواد بر عملکرد دانه در رابطه با انتقال بیشتر آسیمیلات‌ها به دانه در طی پر شدن دانه باشد که در نتیجه، باعث افزایش وزن هزار دانه شده است. به‌طور کلی، کاربرد خارجی این ترکیبات می‌تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش‌های غیرزنده افزایش دهد. بنابراین، کاربرد تلفیقی این ترکیبات راهکاری جهت رسیدن به ثبات عملکرد در تنش خشکی می‌باشد.

References

Adebayo, M.A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., and Hearne, S., 2014. Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. Euphytica 196: 261-270.

Altenbach, S.B., Du Pont, F.M., Kothari, K.M., Chan, R., Johnson, E.L., and Lieu, D., 2003. Temperature, water and fertilizer influence the timing of key events during grain development in US Spring wheat. Journal of Cereal Science 37(1): 9-20.

Amborabe, B.E., and Fleurat-Lessard, P., 2002. Antifungal effects of salicylic acid and other benzoic acid derivatives towards *Eutypa lata*: structure-activity relationship. Plant Physiology and Biochemistry 40(12): 1051-1060.

Bano, A., Dorffling, K., Bettin, D., and Hahn, H., 1993. Abscisic acid and cytokines as possible root- to-shoot signals in xylem sap of rice plants in drying soil. Australia. Journal Plant Physiology 20: 109-115.

Basra, A., 1997. Mechanisms of Environmental Stress Resistance in Plants. CRC Press, Science 407 pp.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-207.

Borsani, O., Valpuestan, V., and Botella, M., 2001. Evidence for a role of salicylic acid in the oxidative damage generated by NaCl and osmotic stress in Arabidopsis seedlings. Plant Physiology 126: 1024-1030.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantites of protein utilizing the principles of protein dyebinding. Analytical Biochemistry 72: 248-254.

Cakir, R., 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crops Research 89: 1-16.

Chougan, R., 1996. Review and compare the performance and yield components of hybrid varieties of maize silage. Seed and Plant Journal 12: 36-40. (In Persian with English Summary)

Cosculleola, F., and Fact, J.M., 1992. Determination of the maize (*Zea mays* L.) yield function in respect to water using a line source sprinkler. Field Crops Abstract 93: 5611-5612.

Curran, B., and Posch, J., 2000. Agronomic management of silage for yield and quality: Silage cutting height. Crop Insights 10(2). Pioneer Hi-bred International. Inc.

El-Tayeb, M.A., 2005. Response of barley grain to the interactive effect of salinity and salicylic acid. Plant Growth Regulation 45: 215-225.

Flagella, Z., Rotunno, T., Tarantino, E., Di Caterina, R., and De Caro, A., 2002. Changes in seed yield and oil fatty acid composition of high oleic sunflower (*Helianthus annus* L.) hybrids in relation to the sowing date and the water regime. European Journal of Agronomy 17: 221-230.

Gardner, F.P., Pearce, R.B., and Mitchell, R.L., 2010. Physiology of Crop Plants. Scientific Publishers (India), Crops 327 pp.

Gavloski, J.E., Whitfield, G.H., and Ellis, C.R., 1992. Effect of restricted watering on sap flow and growth in corn (*Zea mays* L.). Canadian Journal of Plant Science 72(2): 361-368.

Good, A.G., and Zaplachiniski, S.T., 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. Physiological Plantarum 90: 9-14.

Haghjoo, M., and Bohrani, A., 2014. Effect of irrigation and nitrogen fertilizer on grain yield, yield components and dry

matter remobilization of maize cv. SC 260. Iranian Journal of Crop Sciences 4(16): 278-292. (In Persian with English Summary)

Heuer, B., 1994. Osmoregulatory role of prolin in water stress and salt-stressed plants. pp. 363-481. In: M. Pessarkli (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker Pub, New York.

Hopkins, W.G., and Hüner, N.P.A., 2008. Introduction to Plant Physiology. Wiley Publisher 528 pp.

Hossain, M.A., Wani, S.H., Bhattacharjee, S., Burritt, D.J., and Tran, L.S.P., 2016. Drought Stress Tolerance in Plants: Physiology and Biochemistry Vol 1. Publisher of Springer International Publishing. 513 pp.

Hua, Y., Lina, Y., and Jinfeng, W., 2010. Antioxidation responses of maize roots and leaves to partial root-zone irrigation. Agricultural Water Management 97: 972-980.

Hugh, J., and Davis, F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation efficiency and yield of maize. Agronomy Journal 95: 688-696.

Hussain, M., Malik, M.A., Farooq, M., Khan, M.B., Akram, M., and Saleem, M.F., 2009. Exogenous glycine betaine and salicylic acid application improves water relations, allometry and quality of hybrid sunflower under water deficit conditions. Journal of Agronomy and Crop Science 195: 98-109.

Johari, M., 2010. Effect of soil water stress on yield and proline content of four wheat lines. African Journal of Biotechnology 9: 36-40.

Kaur, S., Grupta, A.K., and Kaur, N., 2005. Seed priming increases crop yield possibly by modulating enzymes of sucrose metabolism in chickpea. Journal of Agronomy and Crop Science 191: 81-87.

Keshavarzi, M., Jafari, B., and Bagheri, A., 2014. The evaluation of auxin and gibberellin hormone on quantitative and qualitative characteristicsof forage corn. Journal of Plant Ecophysiology 5(15): 26-35. (In Persian with English Summary)

Kim, S.Y., Lim, J.H., Park, M.R., Kim, Y.J., Park, T.I., Seo, Y.W., Choi, K.G., and Yun, S.J., 2005. Enhanced antioxidant enzymes are associated with reduced hydrogen peroxide in barley roots under saline stress. BMB Reports 38(2): 218-224.

Koutroubas, S.D., Vassiliou, G., Fotiades, S., and Alexoudis, C., 2004. Response of sunflower to plant growth regulators. 4th International Crop Science Congress, p. 851-856.

Lamm, F., 2004. Corn production as related to sprinkler irrigation capacity. 16th Annual Central Plains Irrigation Conference, 17-18 Feb. 2004. Soc., Kearney, Nebraska.

Mohammadkhani, N., and Headari, R., 2008. Effects of drought stress on soluble proteins in two maize varieties. Turkish Journal of Biology 32: 23-30.

Moharramnejad, S., Sofalian, O., Valizadeh, M., Asgari, A., and Shiri, M.R., 2015. Proline, glycine betaine, total phenolics and pigment contents in response to osmotic stress in maize seedlings. Journal of Bioscience and Biotechnology 4: 313-319.

Mozaffari, V., Pakniat, H., and Dehshiri, A., 2011. Evaluation of prolin and protein changes of maize hybrids (*Zea maize* L.) under drought stress. (In Persian with English Summary)

Navarro, A., Sanchez-Blanco, J., and Banon, S., 2007. Influence of paclobutrazol on water consumption and plant performation of Arbutus under seedlings. Science Horticulture 111: 133-139.

Neisani, S., Fallah, S., and Raiesi, F., 2012. The Effect of poultry manure and urea on agronomic characters of forage maize under drought stress conditions. Journal of Agricultural Sciences 21(4): 63-74. (In Persian with English Summary)

Osborne, S.L., Schepers, J.S., Francis, D.D., and Schlemmer, M.R., 2002. Use of spectral radiance to in season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed corn. Crop Science 42: 165-171.

Pattangual, W., and Madore, M., 1999. Water deficit effects on raffinose family oligosaccharide metabolism in *Coleus*. Plant Physiology 121: 993-998.

Porra, R.J., Thompson, W.A., and Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophyll a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. Acta Biochemistry and Biophysics 975: 384-394.

Rademacher, W. 1995. Growth retardants: biochemical features and applications inhorticulture. Acta Horticulture 394: 57-73.

Rao, S.C., and Ryan, J., 2004. Challenges and Strategies of Dryland Agriculture. CSSA Spec. Publication 32. CSSA and ASA, Madison, WI.

Raskin, I., 1992. Role of salicylic acid in plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology 43: 439-463.

Rezaei Estakhroee, A., Boroomandnasab, S., Hooshmand, A., and Khangani, M., 2012. Effects of deficit irrigation and partial root zone drying on morphological and physiological characteristics of corn. Iranian of Irrigation and Water

Engineering 2(6): 67-76. (In Persian with English Summary)

Schlegel, H.G., 1956. Die verwertung organischer sauren durch chlorella in lincht. Planta 47: 510-520.

Schussler, J.R., and Westgate, M.E., 1991. Maize kernel set at low water potential: II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. Crop Science 31(5): 1196-1203.

Senaratna, T., Touchell, D., Bunn, E., and Dixon, K., 2000. Acetylaslicylic (aspirin) and salicylic acid induce multiple stress tolerance in bean and tomato plants. Plant Growth Regulation 30: 157-161.

Sepehri, A., and Bayat, S., 2013. The effect of Salicylic acid and paclobutrazol on yield and yield components of maize (*Zea mays* L.) under water stress. Journal of Plant Productions 35(4): 55-68. (In Persian with English Summary)

Shakirova, F.M., Sakhabutdinova, A.R., Bezrukova, M.V., Fatkhutdinova, R.A., and Fatkhutdinova, D.R., 2003. Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. Plant Science 164: 317-322.

Sheteawi, S.A., and Tawfik, K.M., 2007. Interaction effect of some biofertilizers and irrigation water regime on mungbeen (*Vigna radiata*) growth and yield. Journal of Applied Sciences Research 3(3): 251-262.

Stewart, C.R., 1982. The Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants. In: L.G. Paleg and D. Aspinall (Eds.), Academic Press, New York.

Tambussi, E.A., Bartoli, C.G., Beltrano, J., Guiamet, J.J., and Araus, J.L., 2000. Oxidative damage to thylakoids proteins in water stressed leaves of wheat (*Triticum aestivum* L.). Physiologia Plantarum 108: 398-404.

Taqi, A.K., Mazid, M., and Firoz, M., 2011. A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. Journal of Agrobiology 28(2): 97-111.

Tardieu, F., 2012. Any trait or trait-related allele can confer drought tolerance: just design the right drought scenario. Journal of Experimental Botany 63(1): 25-31.

Terzi, R., Kalaycoglu, E., Demialay, M., Saglam, A., and Kadioglu, A., 2015. Exogenous ascorbic acid mitigates accumulation of abscisic acid, proline and polyamine under osmotic stress in maize leaves. Acta Physiologiae Plantarum 37: 43-52.

Toker, C., Ulger, S., Karhan, M., Canci, H., Akdesir, O., Ertoy, N., and Cagirgan, M.I., 2004. Comparison of some endogenous hormone levels in different parts of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Genetic Resources and Crop Evolution 52(3): 233-237.

Wang, S.Y., Sun, T., Jil, Z.L., and Faust, M., 2008. Effect of paclobutrazol on water stress-induced abscisic acid in apple seedling leaves. Plant Physiology 84: 1051-1054.

Win, K., Berkowitz, G.A., and Henninger, M., 1991. Antitranspirant– induced increases in leaf water potential increase tuber calcium and decreases tuber necrosis in water stressed potato plants. Plant Physiology 96(1): 116-120.

Yang, C.M., Fan, M.J., and Hsiang, W.M., 1993. Growth and yield response of maize (*Zea mays* L.) to soil water deficits. II. Effects of water deficit timing and strength. Journal of Agricultural Research of China 42(2): 173-186.

Zhu, L.H., Peppel, A.V., Li, X.Y., and Welander, M., 2004. Changes of leaf water potential and endogenous cytokines in young apple trees treated with or without paclobutrazol under drought condition. Science Horticulture 99: 133-141.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 389-411-10

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص۴۱۱-۳۸۹

Simultaneous Effects of Deficit Irrigation and Transpiration Reducer on Yield and Yield Components of Corn (*Zea mays* L.) Single Cross 704

M. Hayati[1], A. Maleki[2*], A. Mozaffari[2] and F. Babaei[2]

Submitted: 13-08-2018
Accepted: 31-10-2018

Hayati, M., Maleki, A., Mozaffari, A., and Babaei, F., 2020. Simultaneous effects of deficit irrigation and transpiration reducer on yield and yield components of corn (*Zea mays* L.) single cross 704. Journal of Agroecology 12(3):389-411.

Introduction

Corn plant (*Zea mays* L.) is the main source of energy and has a vital role for birds feeding. Thus, increasing cultivation area and yield improvement are very important. Corn may be highly productive even in winter season in many locations due to its adaptability. Silage of maize is a good source of energy and food for animals and can produce more energy compare to other forages. Drought stress is one of the important factors that limits crop growth in arid and semi-arid environments and imposes a detrimental effect on maize yield. Drought stress imposes many different biochemical and physiological responses in plants. Studies have shown that water stress would directly and indirectly affect the maize yield.

Materials and Methods

This experiment was conducted as split plot based on complete block design with three replications, in 2017 (1396) in Mehran town in southwest of Ilam, which characters an arid and semi-arid climate. Main factor included of three levels of irrigation (equivalent of 40 mm (Normal), 60 mm and 80 mm of accumulated evapotranspiration of class A pan evaporation). Sub-plots included: 8 different levels of gibberellin application (100 ppm), no application of gibberellin but 4 levels of transpiration reducer including Salicyclic acid (0.5 molar concentration) ascorbic acid (120 mg.l^{-1}), paclobutrazol (50 ppm) and control which was pure water. All treatments imposed at 6-8 leaf stage of plant growth. Each plot consisted of 6 cultivation rows with 4 m length and 0.75 m between rows and 0.20 m within rows distances. Distance between blocks was 3 m and sowing depth was 3-5 cm. Fertilizer requirement was calculated based on soil analysis. Therefore 160 kg.ha^{-1} of Super phosphate triple, and 100kg.ha^{-1} urea were applied at sowing and when crops were at 10 leaf stage, before tasseling, 200 kg.ha^{-1} urea was applied again.

Results and discussion

Irrigation levels showed a significant difference ($P<=0.01$) effect on grain yield, biological yield, harvest index, 1000 grain weight, grain number per ear, leaf area index, and relative leaf water content. ANOVA results showed that gibberellin had significant ($P <= 0.05$) effect on biological yield. Transpiration reducer also showed significant ($P <= 0.05$) effects on grain yield, biological yield, harvest index, 1000 grain weight, grain number per ear, leaf area index, and leaf water content. Interactive effects of drought stress and transpiration reducer was also significant ($P<=0.01$) on grain yield, biological yield, and harvest index. Triple interaction significantly ($P<=0.01$) affect grain yield and harvest index. The highest seed yield under normal irrigation conditions was obtained by simultaneous application of gibberellin and salicylic acid (11.11 t.ha^{-1}). Also, the lowest seed yield was obtained under 80 mm irrigation stress without gibberellin and transpiration reducers (6.42 t.ha^{-1}). Drought stress reduced grain yield compared to normal irrigation treatment. The lowest protein content was under normal irrigation conditions (0.092) and the highest amount was under 80 mm stress conditions (0.1). The highest

1- Ph.D. Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University of Ilam Branch, Ilam, Iran.
2- Assistant Professor of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Islamic Azad University of Ilam Branch, Ilam, Iran.
(*- Corresponding Author Email: maleki97@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74753

accumulation of soluble sugars was in 80 mm dry stress (525 $mg.g^{-1}$) and the lowest accumulation was in normal irrigation conditions (402 $mg.g^{-1}$). The highest amount of chlorophyll (2.9) was observed in normal irrigation treatment and the lowest level was observed in drought stress treatment of 80 mm (2.46).

Conclusion

This study results showed that a right combination of transpiration reducer and growth stimulants under drought stress can help corn plant to increase its production. This enhancement is because of higher antioxidant activity and also growth conditions. In other words, positive effects of transpiration reducer, result in deduction of stress effects on grain production and biological yield so can increase corn quantity and quality grain yield.

Keywords: Drought stress, Leaf area index, Leaf water relative content, Water use efficiency, Yield stability.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 413-431

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۳۱-۴۱۳

مقاله علمی - پژوهشی

عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران

سید مجید عالیمقام[۱]، افشین سلطانی[۲*]، وینست وادز[۳]، ابراهیم زینلی[۴] و اسکندر زند[۵]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

عالیمقام، س.م.، سلطانی، ا.، وادز، و.، زینلی، ا.، و زند، ا.، ۱۳۹۹. عملکرد پتانسیل گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) و تأثیر صفات گیاهی بر آن در شرایط اقلیم کنونی و آینده در سراسر ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۳۱-۴۱۳.

چکیده

اصلاح ارقام جدید در جهت افزایش عملکرد در واحد سطح همواره یکی از راهکارهای افزایش تولید محصولات کشاورزی بوده است. شناسایی صفات گیاهی تأثیرگذار بر عملکرد می‌تواند روند اصلاح ارقام جدید را تسریع بخشد. هدف از این مطالعه، شناسایی صفات گیاهی کلیدی در جهت افزایش عملکرد گندم آبی (*Triticum aestivum* L.) در مناطق تولید گندم در سراسر ایران بود. این مطالعه به‌کمک شبیه‌سازی تأثیر صفات مختلف گیاهی بر عملکرد پتانسیل گندم آبی، توسط مدل SSM-Wheat برای شرایط اقلیم کنونی و آینده انجام شد. برای این منظور از پروتکل پروژه اطلس خلأ عملکرد، موسوم به پروتکل گیگا، در جهت شناسایی پهنه‌های اقلیمی و همچنین شناسایی ایستگاه‌های هواشناسی مهم واقع در مناطق تولید گندم آبی در کشور استفاده شد. برای پیش‌بینی شرایط اقلیم آینده از روش دلتا و سناریوی انتشار RCP4.5 برای سال ۲۰۵۵ استفاده شد. در این مطالعه اثر کاهش و افزایش طول دوره شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و توسعه سطح برگ بر عملکرد پتانسیل گندم آبی بررسی شد. میزان تأثیر افزایش طول دوره پر شدن دانه به‌عنوان صفت کلیدی بر عملکرد پتانسیل برای اقلیم کنونی ۱۵/۳ درصد و برای اقلیم آینده ۱۶/۸ درصد بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع در سطح کشور باعث افزایش ۱۴/۷ درصدی عملکرد برای اقلیم کنونی و ۱۳/۷ درصد برای اقلیم آینده شد. اثر افزایش کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد پتانسیل، در مناطق گرم (GDD>6000) بیشتر از مناطق خنک بود. افزایش طول دوره شروع پنجه‌زنی تا شروع ساقه رفتن، صفتی بود که فقط در مناطق گرم منجر به افزایش عملکرد شد و اثر آن در مناطق خنک یا ناچیز بود و یا کاهش عملکرد پتانسیل را در پی داشت. نتایج این مطالعه می‌تواند در انتخاب صفات کلیدی برای افزایش عملکرد و تسریع تولید ارقام پرمحصول در مناطق مختلف گندم آبی به کار گرفته شوند.

واژه‌های کلیدی: پروتکل گیگا، دیررسی، ژنوتیپ، کارایی استفاده از تشعشع، محیط، مدل SSM-Wheat.

مقدمه

گندم با نام علمی *Triticum aestivum* L. به‌عنوان مهم‌ترین محصول زراعی در ایران شناخته می‌شود. این محصول به‌ترتیب ۳۷ درصد از انرژی و ۴۰ درصد از پروتئین مورد نیاز مردم در این کشور را تأمین می‌کند (Salehi, 2012). بنابراین، امنیت غذایی مردم در ایران تا حدود زیادی وابسته به این محصول می‌باشد. افزایش جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی مانند گندم (FAOSTAT, 2018; Weigand & Analyst, 2011;Willenbockel, 2011)، در آینده می‌تواند کشور را در تأمین گندم با مشکلاتی مواجه کند. با توجه به واقع شدن ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک و محدودیت دسترسی به آب، امکان

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- محقق ارشد مؤسسه ICRISAT در هند و مؤسسه IRD در فرانسه.
۴- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۵- استاد، مؤسسه تحقیقات گیاهپزشکی کشور، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Afshin.Soltani@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.75590

افزایش سطح زیرکشت این محصول وجود ندارد. افزایش عملکرد پتاز سیل گندم از طریق ا صلاح با توجه به شرایط محیطی موجود در ایران و تولید ارقام جدید گندم، می تواند یکی از راهکارهای مناسب افزایش تولید گندم در ایران باشد.

اصلاح ارقام جدید برای عملکرد بیشتر، فقط بر مبنای انتخاب ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالاتر، کار بسیار د شواری ا ست. ا صلاح‌گران (Reynolds et al., 2011) و فیزیولوژیست‌ها (Hammer et al., 2010; Sinclair, 2011) بر این باور هستند که در این شرایط، با شناسایی صفات مؤثر بر عملکرد و استفاده از این صفات در برنامه‌های اصلاحی، می‌توان کارایی اصلاح و تولید ارقام جدید را بالاتر برد. درک مکانیسمی تأثیر صفات مطلوب بر عملکرد، کلید شناسایی صفات تأثیرگذار در افزایش عملکرد است (Fioran & Schurr, 2013). برای آزمون نحوه و میزان تأثیر صفات مختلف بر عملکرد دو رویکرد کلی وجود دارد: (i) آزمایشات تجربی (ii) استفاده از مدل‌های شبیه سازی. استفاده از ایزولاین ها و مقایسه عملکرد آن‌ها در شرایط مزرعه، نمونه‌ای از به‌کارگیری آزمایشات تجربی در جهت بررسی صفات به‌منظور تولید ارقام جدید است. به‌عنوان مثال، استفاده از ایزولاین‌های گندم دیم جهت برر سی تأثیر زودر سی بر عملکرد در شرایط ا سترالیا (Flohr et al., 2018) و ا ستفاده از ایزولاین‌های گندم جهت برر سی تعداد پنجه بر عملکرد در شرایط دیم استرالیا (Moeller & Rebetzke, 2017) از نمونه‌های استفاده از آزمایشات مزرعه‌ای جهت بررسی تأثیر صفات بر عملکرد می‌باشند.

به‌دلیل وجود اثرات متقابل بین ژنتیک، محیط و مدیریت (G×E×M)، استفاده از روش تجربی برای ارزیابی اهمیت صفات گیاهی در چند مکان و یا در چند فصل ممکن است گران، غیرعملی و در برخی مواقع غیرممکن باشد (Anderson, 2010; Ghanem et al., 2015). از طرفی، وقوع پدیده تغییر اقلیم بر کسی پوشیده نیست. تغییر اقلیم خود می‌تواند باعث پیچیده‌تر شدن اثر G×E×M شود. به عبارتی دیگر، به‌دلیل اثر تغییر اقلیم ممکن ا ست صفات گیاهی که در حال حاضر منجر به افزایش عملکرد می‌شوند، در شرایط اقلیم آینده اثر چندانی بر عملکرد نداشته و حتی باعث کاهش عملکرد شوند. در این شرایط ا ستفاده از مدل‌های شبیه سازی می‌تواند راهکار منا سبی برای ارزیابی میزان تأثیر صفات گیاهی باشد (Martre et al., 2015; Sinclair, 2011). ا ستفاده از مدل‌های شبیه سازی تولید گیاهان با هر هدفی، نیازمند داده های قابل اعتماد منطقه ای از قبیل اطلاعات مدیریتی (تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته)، اطلاعات خاک و اطلاعات هواشناسی می باشد (Ramirez-Villegas & Challinor, 2012). در مطالعات گذشته مربوط به ارزیابی صفات، برای مناطق کوچک از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی واقعی ا ستفاده شده ا ست (Soltani & Scinclair, 2012 a,b)، ولی برای مقیاس کشوری و جهانی، به‌طور عمده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی فرضی شبکه‌بندی شده استفاده شده است (Scinclair et al., 2010). داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های فرضی دارای خطا می‌باشند. همچنین در این روش، درون هر شبکه از نظر اقلیم، خاک و مدیریت تولید یکنواخت در نظر گرفته می شود که ممکن است در واقعیت چنین نبا شد (Van Bussel et al., 2015). بنابراین، ا ستفاده از این داده‌ها در شبیه سازی مدل های گیاهی می تواند باعث افزایش خطا در شبیه‌سازی تولید شود. در سال‌های اخیر برای حل این مشکل در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد[1] رو شی پیشنهاد شده ا ست که به‌کمک آن می‌توان در سطح وسیع مانند کل کشور و حتی در سطح جهان، از اطلاعات داده های هواشناسی ایستگاه های واقعی در شبیه سازی تولید توسط مدل‌های گیاهی بهره برد (www.yieldgap.org). این روش برای شبیه‌سازی تولید به‌منظور برآورد خلأ عملکرد در مناطق مختلف دنیا ا ستفاده شده ا ست (Espe et al., 2016; Liu et al., 2017; Van Bussel et al., 2015)، ولی تاکنون در ارزیابی صفات گیاهی از این روش استفاده نشده است. هدف از این مطالعه، ۱) استفاده از روش گیگا برای بررسی توزیع مکانی تولید گندم آبی در ایران، ۲) بررسی اثر صفات گیاهی بر عملکرد گندم آبی در شرایط اقلیم کنونی و آینده و ۳) توزیع مکانی میزان تأثیر صفات گیاهی کلیدی بر عملکرد گندم آبی می‌باشند.

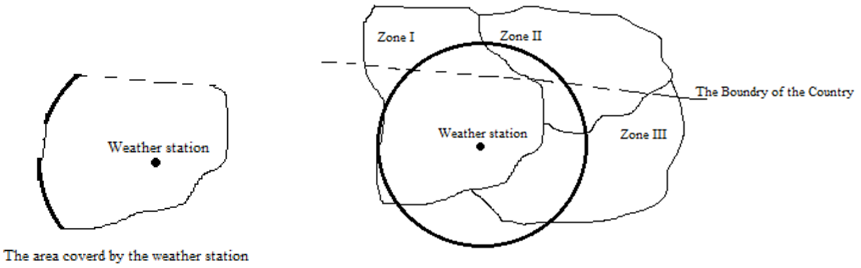
مواد و روش‌ها

برای تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی از روش ارائه شده در پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد استفاده شد (van Bussel et al., 2015). روش کار این چنین بود که ابتدا نقشه پهنه‌بندی اقلیمی ایران از سایت اطلس جهانی خلأ عملکرد ا ستخراج شد (www.yieldgap.org). در این نقشه پهنه های اقلیمی بر اساس سه فاکتور درجه روز رشد تجمعی در سال[2]، شاخص خشکی[3] و شاخص نوسانات دمایی فصلی[4] مشخص شده‌اند (www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted). سپس نقاط ایستگاه‌های هواشناسی موجود در ایران بر اساس عرض و طول جغرافیای روی نقشه پهنه بندی اقلیمی ایران قرار داده شد. در سطح

1- Global yield gap analysis
2- Growing degree days (GDD)
3- Annual aridity index (AI)
4- Temperature seasonality

کشور از ۲۲۷ ایستگاه هواشناسی برای این کار استفاده شد. دور هر ایستگاه دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر کشیده شد. سپس دایره‌ها بر اساس مرزهای اقلیمی و مرزهای سیاسی کشور برش خوردند تا محدوده تحت پوشش هر اقلیم مشخص شود. به‌عنوان مثال، تعیین محدوده برای یک ایستگاه فرضی در شکل ۱ نشان داده شده است.

در صورتی که دایره‌های انداخته شده دور ایستگاه‌ها در داخل یک اقلیم هم‌پوشانی داشتند، دایره‌ها به‌صورت مساوی برای دو یا چند ایستگاه برش خوردند (شکل ۲). برای جزئیات بیشتر به وان بوسل و همکاران (Van Bussel et al., 2015) مراجعه شود.



شکل ۱- شکل شماتیک تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه هواشناسی با استفاده از کشیدن دایره ۱۰۰ کیلومتری دور ایستگاه هواشناسی و برش آن بر اساس محدوده اقلیمی

Fig. 1- Illustration of determination of area surrounded by a weather station according to GYGA protocol

شکل چپ: قبل از برش بافر بر اساس محدوده اقلیم و مرزهای سیاسی، شکل راست: محدوده نهایی برش خورده بر اساس محدوده اقلیمی و مرز سیاسی برای ایستگاه مورد نظر

The left: before clipping the buffer based on boundary of the country and climate zone border. The right: the final area covered by the given station after clipping by boundary of the country and climate zone border.

پس از تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه‌های هواشناسی، نقشه پراکنش اراضی گندم آبی کشور بر روی نقشه تهیه شده در مرحله قبل انداخته شد تا سطح پوشش اراضی گندم آبی واقع در محدوده هر ایستگاه هواشناسی تعیین شود. ایستگاه‌های هواشناسی که بیش از یک درصد از اراضی گندم آبی کشور را در محدوده خود داشتند، به‌عنوان ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS[1]) در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در محدوده ۲۰۰ ایستگاه هواشناسی اراضی گندم آبی وجود داشت که در ۳۰ ایستگاه، درصد اراضی بیش از یک درصد بود که این ۳۰ ایستگاه در مجموع ۵۸ درصد از اراضی گندم آبی کشور را تحت پوشش قرار دادند. در این مطالعه از داده‌های هواشناسی این ۳۰ ایستگاه جهت شبیه سازی تولید گندم استفاده شد. اطلاعات این ایستگاه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

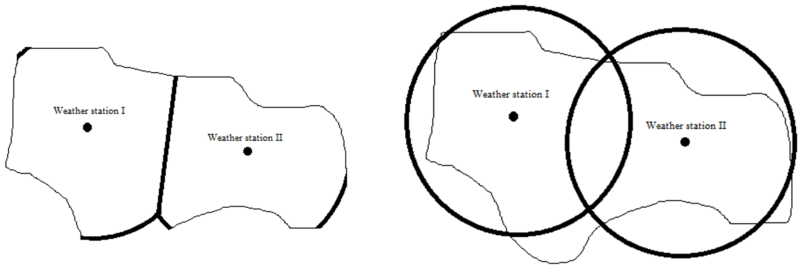
پس از شناسایی ایستگاه‌های مرجع، داده‌های هواشناسی این ایستگاه‌ها تهیه شد. برای اقلیم کنونی شبیه سازی برای دوره زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ میلادی انجام شد. در صورتی که داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های مرجع برای این دوره زمانی ناقص بودند یا داده گم‌شده وجود داشت، از نرم افزار Weatherman (به‌عنوان یک افزونه بر روی مدل DSSAT) استفاده شد (www.dssat.net) تا این نواقص برطرف شوند. همچنین برای محاسبه مقدار تشعشع رسیده روزانه از روی اطلاعات ساعت آفتابی و تهیه فرمت نهایی داده‌های هواشناسی جهت استفاده در مدل SSM-Wheat[2] (مدل شبیه ساز گیاهی که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت) از نرم‌افزار Weatherman استفاده شد. نرم‌افزار Weatherman به‌عنوان یک افزونه بر روی مدل DSSAT است که قابلیت تولید فرمت‌های مختلف برای داده‌های هواشناسی از روی داده‌های خام، رفع نواقص مربوط به عدم ثبت داده‌های هواشناسی در برخی از روزها، محاسبه تشعشع رسیده روزانه از روی داده‌های ساعت آفتابی با ضرایب آنگستروم و همچنین محاسبه تشعشع روزانه از روی دمای روزانه را دارد. برای شبیه‌سازی در شرایط اقلیم آینده از روش دلتا استفاده شد. روش کار این چنین بود که مقدار تغییرات دما و بارندگی پیش‌بینی شده برای ایران در سال

1- Reference weather station (RWS)

2- Simple simulation models-wheat

۲۰۵۶ بر ا ساس متو سط نتایج حا صل از ۴۲ مدل جهانی و بر ا ساس سناریوی انتشار RCP4.5 از فصل چهاردهم گزارش IPCC استخراج شـــد (Christensen et al., 2013). بر اســـاس این گزارش مقدار بارندگی در ایران در سال ۲۰۵۵ ن سبت به سال ۱۹۹۶ تغییر نخواهد کرد، ولی دما به‌مقدار ۱/۹ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت. مقدار تغیرات دما در سال ۲۰۵۵ ن سبت به سال ۲۰۰۷ میلادی (این سال به‌عنوان میانه دوره زمانی است که شبیه‌سازی برای اقلیم کنونی انجام شد) محا سبه و مقادیر دمای حداکثر و حداقل به همین میزان بر روی داده‌های هواشـــناسـی واقعی برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵، افزایش داده شدند تا داده‌های هواشناسی برای اقلیم آینده حاصل شوند. مقادیر بارندگی تغییری داده نشد.

همچنین، برای شرایط اقلیم کنونی، غلظت دی‌اکسید کربن ۳۸۵ پی‌پی‌ام (www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends) و برای اقلیم آینده در سال ۲۰۵۵ میلادی بر اساس سناریوی انتشار RCP4.5 برابر ۵۰۰ پی‌پی‌ام (Van Vuuren et al., 2011) در نظر گرفته شد.



شکل ۲- شکل شماتیک تعیین محدوده تحت پوشش ایستگاه هواشناسی با استفاده از کشیدن دایره ۱۰۰ کیلومتری دور ایستگاه هواشناسی در زمانی‌که محدوده دایره‌ای ایستگاه‌ها داخل پهنه اقلیمی یکسان با هم هم‌پوشانی داشتند

Fig. 2- Illustration of the clipping applied to the buffers overlapped into a given zone

The left: two overlapped buffers into a given climate zone. The right: the final area covered after clipping.

برای شبیه سازی عملکرد گندم، علاوه‌بر اطلاعات هوا شنا سی به اطلاعات خاک شنا سی واقع در ای ستگاه‌های مرجع نیاز بود. برای این کار نقشـــه خاک کشـــور از پروژه HC27[1] اســـتخراج شـــد (Koo & Dimes, 2010). در این نقشـــه اطلاعات خاک قابل اســـتفاده در مدل SSM-Wheat وجود دارد. برای این کار، نقشـــه خاک روی نقشـــه محدوده تحت پوشش RWSها انداخته و نوع خاک موجود در محدوده هر RWS م شخص شد. در محدوده تحت پو شش هر RWS خاکی که بیش از ۵۰ در صد از سطح خاک در آن محدوده را پو شش می‌داد، به‌عنوان خاک کل محدوده تحت پوشش RWS در نظر گرفته شد. در صـــورتی که هیچ یک از خاک‌ها بیش از ۵۰ درصـــد از ســـطح تحت پو شش RWS را به خود اخت صاص ندادند، تمامی خاک‌هایی که بیش از ۱۰ در صد از سطح ارا ضی تحت پو شش RWS را شامل می‌شدند، به‌عنوان خاک‌های غالب در محدوده پو شش آن RWS در نظر گرفته شدند (Van Bussel et al., 2015).

در این مطالعه شبیه سازی عملکرد، در شرایط ت شع شع محدود و عدم محدودیت نیتروژن انجام شد. تاریخ کا شت و تراکم بوته در واحد ســـطح مهم‌ترین اطلا عات مدیریتی بود ند که با ید در مدل وارد می شدند. تراکم، ۳۳۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. برای تعیین تاریخ‌های کاشـــت در شـــبیه‌ســـازی تولید گندم در هر منطقه، ابتدا تاریخ‌های کاشـــت تیپیک در هر RWS جمع‌آوری شـــد. در مطالعات قبلی تاریخ های کاشـــت تیپیک گندم برای مناطق مختلف ایران جمع‌آوری شـــده بود (Farshi, 1998). برای اطمینان از اطلا عات تیپیک، اطلاعات تاریخ کا شت گندم در هر ا ستان با همکاری سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشـــاورزی جمع‌آوری شـــد و با اطلاعات موجود در فر شی (Farshi, 1998) مقایسه و در صورت نیاز اطلاعات بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده، به‌روزرسانی شدند. سپس بر اساس اطلاعات واقعی تاریخ کاشـــت، الگوریتمی تهیه شـــد تا بر اســـاس آن بتوان تاریخ کاشـــت گندم در محدوده تحت پوشـــش هر RWS در هر

1- HarvestChoice generic/prototypical soil profiles

سال را تعیین کرد.

جدول ۱- اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های مرجع شامل میانگین سالیانه تشعشع رسیده ($SRAD, Mj\ m^{-2}\ d^{-1}$)، دمای حداکثر (TMAX, °C)، دمای حداقل (TMN, °C)، متوسط دما (TEMP, °C) و بارندگی (PR, mm) و اراضی گندم آبی در محدوده تحت پوشش هر ایستگاه بر حسب هکتار

Table 1- Climatic characteristic of reference weather stations including mean annual solar radiation ($SRAD, Mj\ m^{-2}\ d^{-1}$), maximum temperature (TMAX, °C), minimum temperature (TMN, °C), mean temperature (TEMP, °C) and total precipitation (PR, mm) and irrigated wheat lands within the covered area by the stations (ha)

شماره No.	ایستگاه Station	تشعشع SRAD	دمای حداکثر TMX	دمای حداقل TMN	متوسط دما TEMP	بارندگی PR	مساحت اراضی گندم Wheat lands area*
1	اسلام آباد غرب Eslamabadgharb	20.5	22.7	5.3	14	426	46852 (2.1%)
2	سقز Saghez	18.4	19.3	3.1	11.2	414	44624 (2%)
3	نهاوند Nahavand	19	21.2	6.4	13.8	379	34998 (1.6%)
4	ارومیه Oromiyeh	17.4	18.5	5.3	11.9	295	56518 (2.5%)
5	یاسوج Yasouj	19.5	23.1	7.5	15.3	804	22691 (1%)
6	تخت جمشید Takhtejamsheid	19.2	25.5	9.5	17.5	298	23794 (1.1%)
7	زرقان Zarghan	19.5	25.6	8.2	16.9	287	36583 (1.6%)
8	همدان Hamadan	19.9	19.7	3.3	11.5	294	19479 (1.0%)
9	شیراز Shiraz	20.2	26.5	10.5	18.5	298	23481 (1.1%)
10	درودزن Dorodzan	19.8	24.6	10.8	17.7	442	28192 (1.3%)
11	مشکین شهر Meshkinshahr	14.8	15.5	6.3	10.9	379	46422 (2.1%)
12	الیگودرز Aligoodarz	18.9	19.7	6	12.8	400	44219 (2%)
13	قوچان Ghoochan	17.9	19.9	5.8	12.8	319	26491 (1.2%)
14	کمیجان Komijan	18.5	20.4	5.4	12.9	251	47415 (2.1%)
15	حاجی آباد Hajiabad	20.9	31.6	14.7	23.2	170	27669 (1.2%)
16	تبریز Tabriz	16.6	19.4	7.9	13.7	243	20235 (0.9%)
17	کرمانشاه Kermanshah	17.4	18.5	5.3	11.9	295	33182 (1.5%)
18	جهرم Jahrom	20.1	30.8	13.8	22.3	196	34699 (1.6%)
19	کرج Karaj	17.7	21.9	9.4	15.6	271	47945 (2.1%)

20	تربت جام Torbate Jam	19	22.8	9.1	16	148	26499 (1.2%)
21	گنبد Gonbad	16.3	24.8	12.9	18.8	452	27078 (1.2%)
22	بیلسوار Bilesowar	15.3	20.6	10.8	15.7	382	32508 (1.5%)
23	دزفول (صفی آباد) Dezful (Safiabad)	19.9	32.6	16.5	24.6	291	115119 (5.1%)
24	هاشم آباد Hashmabad	15	23.5	13.2	18.4	529	95397 (4.3%)
25	سبزوار Sabzevar	18.2	25.1	11.7	18.4	176	29414 (1.3%)
26	گرمسار Garmsar	18.5	26.2	12.8	19.5	115	34404 (1.5%)
27	زابل Zabol	19.2	30.8	15.5	23.1	38	49020 (2.2%)
28	اهواز Ahwaz	19.1	33.7	19.5	26.6	192	147983 (6.6%)
29	امیدیه (پایگاه) Omidiyeh (Paygah)	17.8	34.2	18	26.1	218	51077 (2.3%)
30	آبادان) Abadan	19.0	34.1	19.2	26.6	134	30124 (1.3%)

* اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده سهم هر ایستگاه از اراضی گندم آبی از کل گندم آبی موجود در کشور است که ایستگاه‌های منتخب در این جدول ۵۸ درصد از اراضی گندم آبی را تحت پوشش قرار دادند.

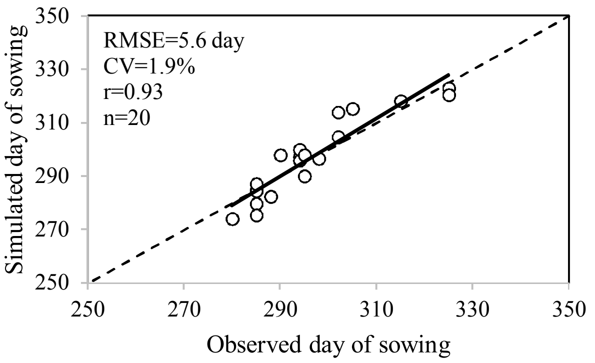
* The values in the parentheses show the percent of the existing land within each RWS where the sum of the area covered by the RWSs was around 58% from national irrigated wheat lands.

با توجه به اطلاعات تاریخ‌های کاشت تیپیک جمع‌آوری شده برای مناطق مختلف تولید گندم آبی در کشور، این الگوریتم به این صورت بود که در یک بازه زمانی ۱۵۰ روزه از اول شهریور، عمل شبیه‌سازی برای پیدا کردن تاریخ کاشت انجام شد. در این بازه زمانی، اولین دوره پنج روزه بدون بارندگی و با دمای میانگین کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد (در مناطق گرم شامل آبادان، اهواز، دزفول، جهرم، امیدیه و زابل دمای تعیین شده کمتر از ۱۸ سانتی‌گراد بود)، پیدا و آخرین روز از این دوره پنج روزه به‌عنوان تاریخ کاشت در نظر گرفته شد. دقت تاریخ‌های کاشت پیدا شده توسط این الگوریتم با داده‌های تاریخ کاشت متداول و واقعی بررسی شد که در شکل ۳ نشان داده شده است.

مدل SSM-Wheat برای شبیه‌سازی عملکرد مورد استفاده قرار گرفت، این مدل در شرایط تشعشع محدود و نیتروژن نامحدود به‌صورت روزانه فنولوژی، تولید و توسعه سطح برگ، تولید و توزیع ماده خشک، تولید عملکرد و موازنه آب در خاک را شبیه‌سازی می‌کند. برای اطلاعات بیشتر در مورد این مدل به سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2012 c) و سلطانی و همکاران (Soltani et al. 2013) مراجعه کنید.

اطلاعات هواشناسی روزانه مورد نیاز در مدل شامل تشعشع بر حسب مگاژول در مترمربع در روز، دمای حداقل و بیشینه بر حسب سانتی‌گراد و مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر می‌باشند. اطلاعات خاک مورد نیاز مدل SSM-Wheat شامل ضریب آلبیدو، عمق، مقدار ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی دائم، مقدار ماده آلی، مقدار نیتروژن، کسر فراوانی مواد زبر، ضریب زهکشی، شماره منحنی برای محاسبه رواناب و وزن مخصوص ظاهری در لایه های مختلف می‌باشند. در این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط تشعشع محدود، اثر دماهای اکستریم (دماهای یخبندان و دماهای بالا) بر توسعه سطح برگ، اثر دماهای بالا در زمان گل‌دهی و تأثیر آن بر عملکرد و اثر خشکی هوا بر تولید ماده خشک در نظر گرفته شده است. در مطالعات قبلی دقت این مدل برای شبیه‌سازی به‌خوبی نشان داده شده است (Lollato et al., 2016; Soltani & Sinclair, 2015; Soltani et al., 2013). سلطانی و سینکلر (Soltani & Sinclair, 2015) گزارش کردند که ضریب تغییرات برای شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط ایران برابر ۸/۲ درصد بود. این در حالی بود که ضریب تغییرات برای مدل CropSyst برابر ۱۴/۳ درصد، برای مدل APSIM برابر ۱۵ درصد و برای مدل DSSAT برابر ۱۸/۵

درصد بود.



شکل ۳- نمودار یک به یک تاریخ‌های کاشت شبیه‌سازی شده توسط الگوریتم تاریخ کاشت در مقابل تاریخ‌های کاشت تیپیک بر اساس روز از سال میلادی در محدوده RWSهای گندم دیم در ایران

Fig. 3- Simulated versus observed number of sowing date based on day of year for the regions covered by the RWSs

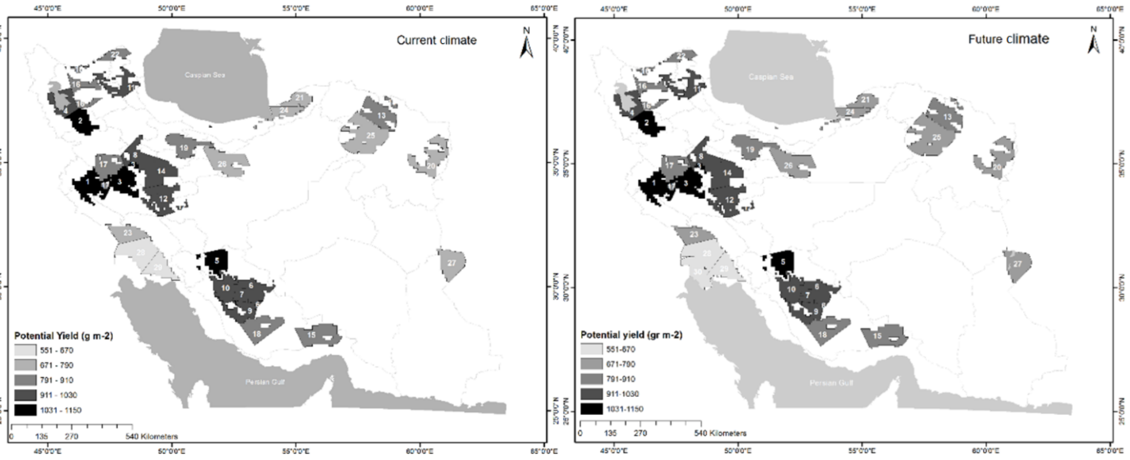
در این مطالعه اثر چهار صفت گیاهی شامل طول دوره پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و سرعت توسعه سطح برگ بر عملکرد گندم آبی توسط مدل شبیه‌ساز SSM-Wheat مورد بررسی قرار گرفت. بررسی اثر این صفات این چنین بود که ابتدا شبیه‌سازی عملکرد گندم بر اساس پارامترهای گیاهی ارقام موجود در کشور انجام شد. سپس به صورت جداگانه با تغییر چهار صفت بالا، شبیه‌سازی دوباره انجام شد. در هر مرتبه شبیه سازی، یکی از این صفات به‌مقدار ۲۰ درصد افزایش یا کاهش داده شد تا اثر تغییر هر یک از این صفات بر عملکرد مشخص شود. در مورد سرعت توسعه سطح برگ، چون ۲۰ درصد عدد بزرگی است و عملاً ارقامی با این مقدار نوسان در این صفت وجود ندارد، مقدار تغییر برای این صفت ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. شبیه‌سازی برای هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده به‌صورت مجزا انجام شد.

نتایج و بحث

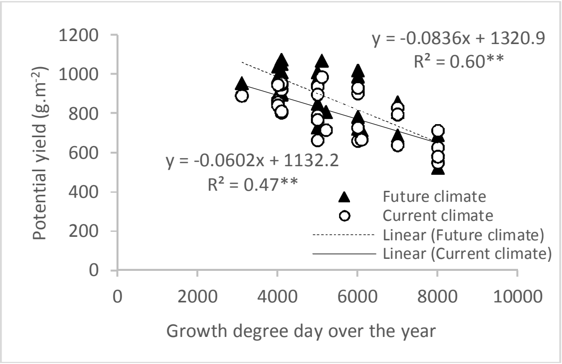
در شکل ۴ توزیع مکانی عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مهم تولید این محصول در کشور در شرایط اقلیمی کنونی و آینده نشان داده شده است. مقدار عملکرد پتانسیل برای کل کشور در شرایط اقلیم کنونی ۷۷۲ گرم در مترمربع و اقلیم آینده ۸۲۸ گرم در مترمربع بود (در این مطالعه کلیه مقادیر عملکردها بر اساس وزن خشک گزارش شده است). در شریط اقلیم کنونی مقدار عملکرد پتانسیل بین ۵۵۱ (ایستگاه آبادان) و ۹۸۶ گرم در مترمربع (ایستگاه اسلام آباد) متغیر بود. در شرایط اقلیم آینده دامنه تغییرات عملکرد پتانسیل بین ۵۲۴ (ایستگاه آبادان) و ۱۰۷۴ گرم در مترمربع (ایستگاه سقز) قرار داشت. بیشترین عملکرد پتانسیل گندم آبی در شرایط اقلیم کنونی مربوط به مناطق واقع در شمال غرب (جنوب دریاچه ارومیه)، غرب و جنوب ایران (شمال استان فارس) بود. کمترین عملکرد پتانسیل در استان‌های خوزستان، سیستان و بلوچستان، بخش غربی استان خراسان رضوی و استان گلستان مشاهده شد (شکل ۴). بیشترین پتانسیل عملکرد در شرایط اقلیمی آینده، مشابه مناطقی بود که در شرایط اقلیم کنونی حاصل شد. در شرایط تغییر اقلیم، کمترین عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های واقع در استان های سیستان و بلوچستان و خوزستان مشاهده شد (شکل ۴).

نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط اقلیم کنونی، دما یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد تغییرات عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مختلف تولید این محصول در کشور بود. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده با افزایش دمای مناطق تولید گندم، عملکرد پتانسیل گندم کاهش یافت. مقدار افزایش عملکرد در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط اقلیم کنونی، در مناطق مختلف تولید گندم، یکسان نبود. بیشترین افزایش عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در مناطق خنک‌تر مشاهده شد (شکل ۵). در مناطق گرم‌تر برای تولید گندم آبی، اثر مثبت تغییر اقلیم بر عملکرد پتانسیل نسبت به اقلیم کنونی کاهش یافت، به‌طوری‌که در مناطقی

که مقدار زمان حرارتی تجمعی در سال برابر ۸۰۰۰ درجه روز رشد بود، تغییر اقلیم اثر مثبتی بر عملکرد پتانسیل نداشت (شکل ۵).



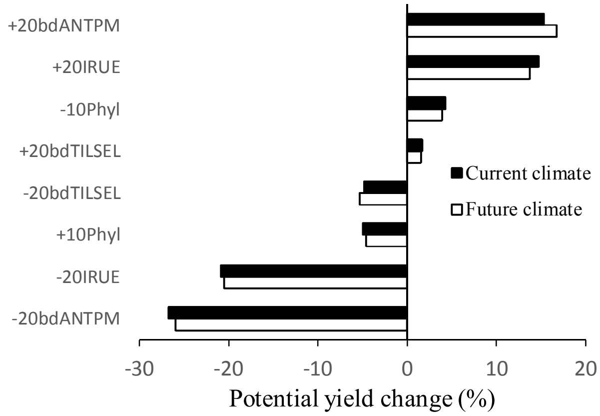
شکل ٤- عملکرد پتانسیل گندم آبی در مناطق مهم تولید این محصول در ایران
Fig. 4- Spatial distribution of irrigated wheat potential yield across Iran



شکل ۵- رابطه بین عملکرد پتانسیل و مقدار زمان حرارتی تجمعی در کل طول سال (بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد) در مناطق مهم تولید گندم ایران در شرایط اقلیم کنونی و آینده
Fig. 5- The relationship between cumulative thermal time over the year and irrigated wheat potential yield

در شکل ۶ تأثیر صفات مختلف گیاهی مورد بررسی در این مطالعه بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در سطح کل کشور نشان داده شده است. در هر دو شرایط اقلیم کنونی و اقلیم آینده، در بین صفات مورد بررسی، افزایش طول دوره پر شدن دانه، بیشترین تأثیر مثبت بر افزایش متوسط عملکرد گندم آبی در کشور داشت. اثر این صفت در شرایط اقلیم آینده، بیشتر از اقلیم کنونی بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع بعد از صفت افزایش طول دوره پر شدن دانه، بیشترین تأثیر را بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در کشور دارا بود (شکل ۶). در شرایط اقلیم کنونی، تأثیر این صفت بیشتر از شرایط اقلیم آینده بود. تسریع توسعه سطح برگ نیز منجر به افزایش عملکرد شد، ولی در مقایسه با دو صفت دیگر اثر مثبت کمتری داشت. اثر افزایش طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده بر عملکرد پتانسیل ناچیز بود (شکل ۶). صفات کاهش طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن، کاهش سرعت توسعه سطح برگ، کاهش کارایی استفاده از تشعشع و کاهش طول دوره پر شدن دانه نسبت به مقادیر کنونی، در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده بر عملکرد تأثیر منفی داشتند (شکل ۶). به نظر می‌رسد که در شرایط اقلیم آینده در این مناطق، در طول دوره رویشی فرصت کافی برای تولید ماده خشک وجود داشته و نیازی به افزایش طول دوره رشد وجود ندارد.

افزایش طول دوره رویشـــی ناشـــی از افزایش دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن اثر چشمگیری بر عملکرد دانه در سطح کل کشور نداشت (شکل ۶). این صفت در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده در برخی از مناطق منجر به کاهش عملکرد پتانسـیل گندم آبی شـد (شـکل ۷). عمده مناطقی که با افزایش طول دوره پنجه‌دهی تا سـاقه رفتن با کاهش عملکرد مواجه شدند، در مناطق خنک واقع شده‌اند.

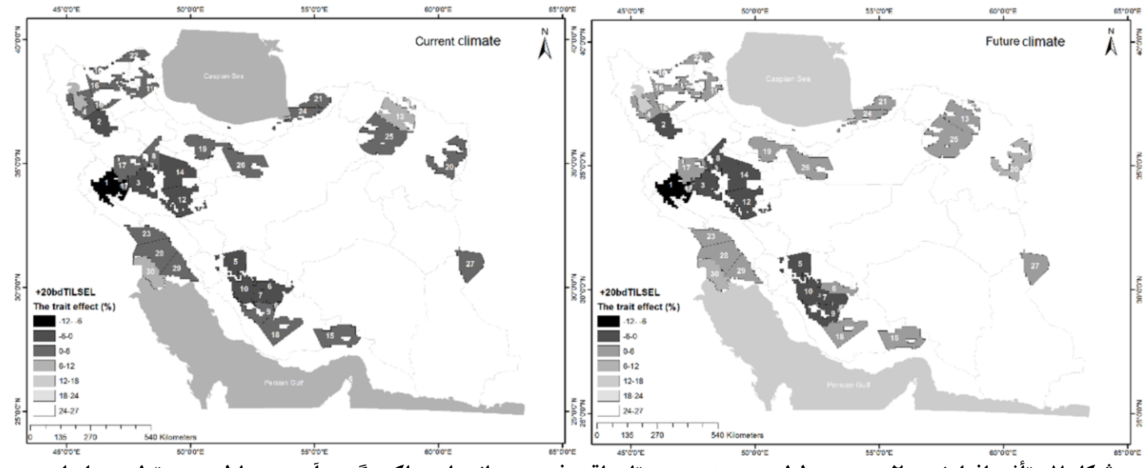


شکل ٦- تأثیر تغییر صفات گیاهی بر متوسط عملکرد پتانسیل گندم آبی در ایران

Fig. 6- The effect of traits modification on irrigated wheat potential yield across the whole country under current and future climates

bdANTPM: روز بیولوژیک از گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیک، IRUE: کارایی استفاده از تشعشع، Phyl: فیلوکرون، bdTILSEL: روز بیولوژیک از شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن (مقادیر قبل از صفات نشان‌دهنده میزان تغییرات این پارامترها می‌باشند)

bdANTPM: biological days from anthesis to physiological maturity; IRUE: Radiation use efficiency; Phy: phyllochron; bdTILSEL: biological days from emergence to first-tiller (The values before the traits' names indicate the percent of the traits modification)

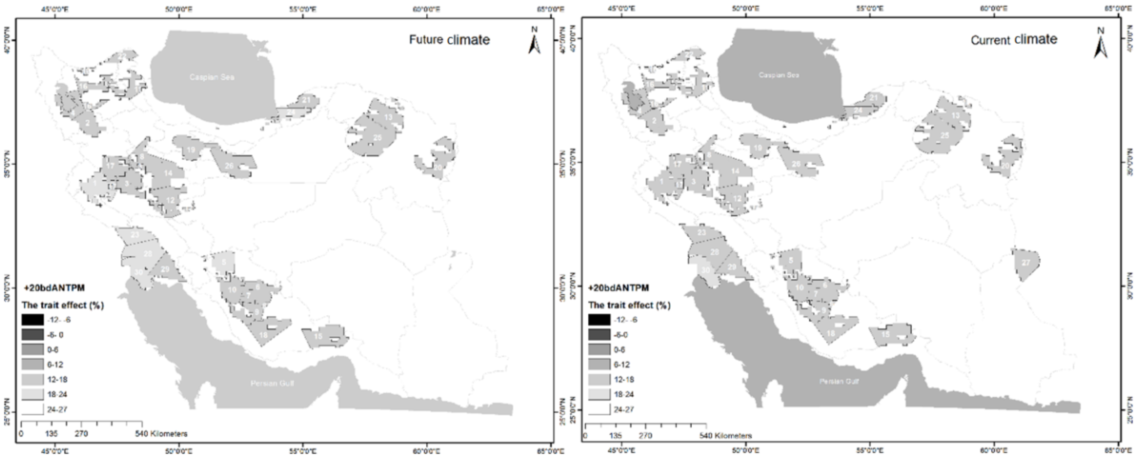


شکل ۷- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی طول دوره پنجه‌دهی تا ساقه رفتن بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 7- The effect of increasing biological days from first-tiller to first-node on irrigated wheat potential yield across the whole country

در بین صـفات گیاهی مورد بررسـی در این مطالعه، افزایش طول دوره پر شـدن دانه تنها صـفتی بود که در همه مناطق تولید گندم در کشور، اثر مثبتی بر افزایش عملکرد در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده داشت. در شرایط اقلیمی کنونی در همه مناطق به غیر از ایستگاه آبادان با کد ۳۰، افزایش ۲۰ درصـدی در طول دوره پر شـدن دانه در مناطق مهم تولید گندم آبی در کشـور منجر به افزایش عملکرد پتانسیل گندم آبی بین ۱۲ تا ۱۸ درصد شد (شکل ۸). در ایستگاه آبادان مقدار افزایش عملکرد ناشـی از این صـفت ۲۰ درصـد بود که

بیشتر از سایر مناطق بود. میزان تأثیر این صفت در شرایط تغییر اقلیم نسبت به اقلیم کنونی، بیشتر بود، به‌طوری‌که متوسط افزایش عملکرد پتانسیل ناشی از این صفت در شرایط اقلیمی کنونی برابر ۱۵ در صد بود ولی در شرایط اقلیمی آینده به ۱۷ درصد رسید (شکل ۶). اثر این صفت بر روی عملکرد پتانسیل در شرایط تغییر اقلیم، در مناطق واقع در نیمه غربی کشور بیشتر از سایر مناطق بود (شکل ۸). این صفت هم در مناطق گرم و هم در مناطق خنک تولید گندم در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده اثر افزاینده بر عملکرد پتانسیل داشت. با توجه به نتایج حاصل به نظر می‌رسد که افزایش طول دوره پر شدن دانه می‌تواند صفت هدف مناسبی برای تولید ارقام هم در شرایط اقلیم کنونی و هم در جهت مواجهه با شرایط تغییر اقلیم، باشد.

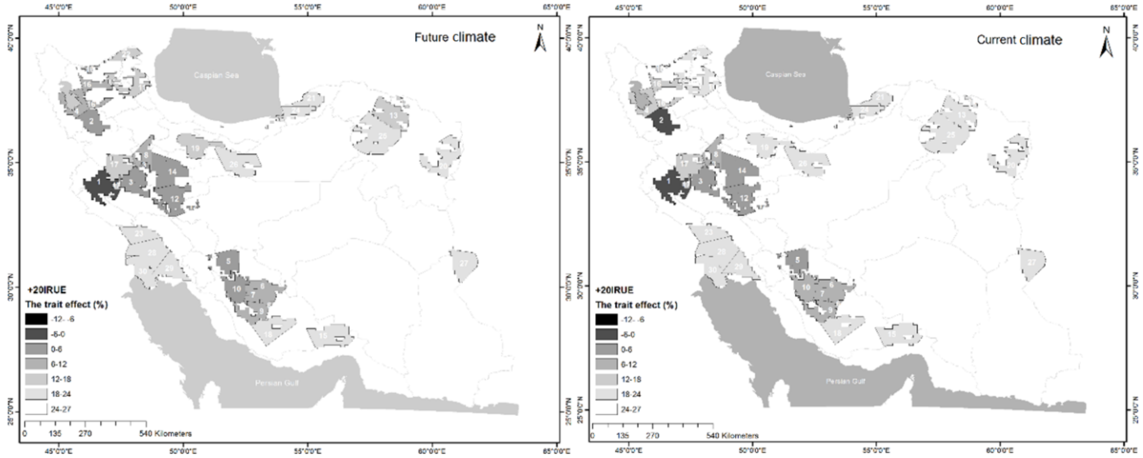


شکل ۸- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی طول دوره پر شدن دانه بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 8- The effect of increasing biological days from anthesis to physiological maturity on irrigated wheat potential yield across the whole country

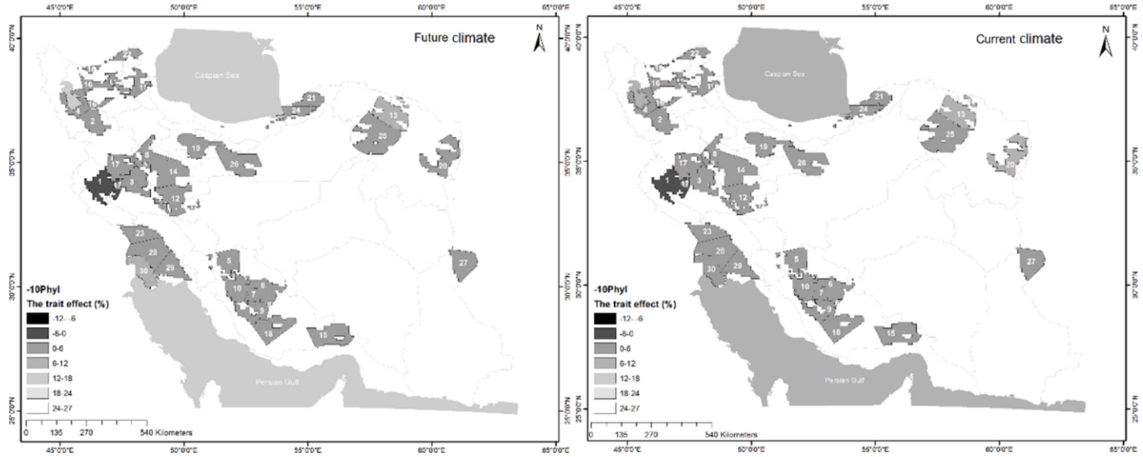
برخلاف افزایش طول دوره پر شدن دانه که اثر مثبت آن در همه مناطق تولید گندم مشاهده شد، تأثیر افزایش کارایی استفاده از تشعشع در مناطق مختلف تولید گندم متفاوت بود (شکل ۹). در شرایط اقلیم کنونی، بیشترین تأثیر این صفت در مناطق واقع در حاشیه دریای خزر، جنوب و شرق ایران مشاهده شد. این در حالی بود که در مناطق خنک‌تر که در غرب و شمال غرب واقع شده‌اند، اثر این صفت کمتر و حتی در ایستگاه‌های شماره ۱ و ۲ اثر منفی این صفت بر عملکرد مشاهده شد (شکل ۹). اثر افزایش ژنتیکی کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد در هر دو شرایط اقلیمی کنونی و آینده به‌طور عمده در مناطق خنک‌تر (مناطق دارای کمتر از ۶۰۰۰ درجه روز رشد تجمعی در طول سال)، کمتر از مناطق با اقلیم گرم‌تر بود (شکل ۹). حتی در برخی از ایستگاه‌ها مانند ایستگاه اسلام‌آباد (کد ایستگاه ۱) و سقز (کد ایستگاه ۲) در شرایط اقلیم کنونی و در ایستگاه اسلام‌آباد در شرایط اقلیم آینده، تحت تأثیر منفی این صفت قرار گرفتند (شکل ۹).

افزایش سرعت توسعه سطح برگ ناشی از کاهش مقدار فیلوکرون تأثیر چشمگیری بر افزایش عملکرد نداشت. به‌طوری‌که در شرایط اقلیم کنونی منجر به افزایش ۴/۳ درصد و در شرایط اقلیم آینده به افزایش ۳/۹ درصد متوسط عملکرد در سطح کل کشور شد (شکل ۶). در شرایط اقلیم کنونی فقط در دو ایستگاه شماره ۱۳ (قوچان) و ۲۰ (تربت جام) مقدار افزایش عملکرد بیش از شش درصد بود. این در حالی بود که در ایستگاه شماره ۱ (اسلام‌آباد) این صفت در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده منجر به کاهش عملکرد پتانسیل شد (شکل ۱۰). در شرایط اقلیم آینده نیز در دو ایستگاه (قوچان و آبادن) اثر این صفت بر عملکرد پتانسیل بالاتر از شش در صد بود. در هیچ کدام از ایستگاه‌ها اثر این صفت بالای شش درصد نبود.



شکل ۹- تأثیر افزایش ۲۰ درصدی کارایی استفاده از تشعشع بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 9- The effect of increasing radiation use efficiency on irrigated wheat potential yield across the whole country



شکل ۱۰- تأثیر کاهش ۲۰ درصدی فیلوکرون (تسریع توسعه سطح برگ) بر پتانسیل عملکرد گندم آبی در مناطق مهم تولید در ایران

Fig. 10- The effect of decreasing phyllochron on irrigated wheat potential yield across the whole country

با تسریع نمو مراحل فنولوژیک و کوتاه شدن طول دوره رشد طی شرایط تغییر اقلیم، در کل مناطق تولید گندم آبی در کشور، مقدار کل تشعشع رسیده به گیاه در حدود ۱۰ درصد نسبت به شرایط اقلیم کنونی کاهش یافت. کاهش تشعشع رسیده به گیاه می‌تواند منجر به کاهش تولید ماده خشک شود. در شرایط تغییر اقلیم، برآیند حاصل از کاهش تولید ماده خشک ناشی از کاهش تشعشع رسیده در طول فصل رشد (اثر منفی دما) و افزایش تولید به‌دلیل افزایش کارایی استفاده از تشعشع در طول فصل رشد (اثر مثبت دما و دی‌اکسید کربن)، تعیین‌کننده اثر مثبت یا منفی تغییر اقلیم است. در مناطق گرم‌تر (GDD>6000) نسبت به سایر مناطق که دمای هوا نزدیک به دمای بهینه برای کارایی استفاده از تشعشع بود، اثر تغییر اقلیم بر افزایش عملکرد کمتر از مناطق خنک‌تر بود (شکل ۱۱). به عبارتی دیگر، چون در این مناطق دمای هوا نزدیک دمای بهینه بود، تأثیر مثبت دما بر روی افزایش کارایی استفاده از تشعشع ناچیز بود و در این مناطق افزایش کارایی استفاده از تشعشع به‌طور عمده به‌دلیل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن حاصل شد. بنابراین، در مناطق گرم در مقایسه با مناطق خنک‌تر، افزایش کارایی استفاده از تشعشع کمتری حاصل شد. از آن‌جایی که بین تولید ماده خشک نهایی و عملکرد رابطه مستقیمی وجود دارد (Reynolds et al., 2007)، کاهش طول دوره رشد منجر به کاهش عملکرد می‌شود. در کنار اثر منفی افزایش دما،

این فاکتور اثر مثبت بر تولید ماده خشک نیز داشت.

با افزایش دما (به‌خصوص در دوره رویشی که دما زیر دمای بهینه برای رشد گیاه است)، کارایی استفاده از تشعشع به‌خصوص در مناطق خنک افزایش یافت. رابطه بین کارایی استفاده از تشعشع و دما به‌شکل تابع دندان‌مانند یا تابع بتا می‌باشد (Hanson, 1982; Ribeiro et al., 2006; Soltani & Sinclair, 2012 c; Wang et al., 2017 a). به عبارتی دیگر، در صورتی که دمای محیط کمتر یا بیشتر از دمای بهینه برای کارایی استفاده از تشعشع باشد، مقدار آن کاهش می یابد. به‌طور عمده در مناطق تولید گندم در ایران، دمای هوا در زمان رشد رویشی کمتر از دمای بهینه و در زمان پر شدن دانه در دامنه دمای بهینه برای کارایی استفاده از تشعشع قرار دارد. بنابراین، افزایش دما، به‌خصوص در مرحله رشد رویشی، اثر مثبتی بر مقدار کارایی استفاده از تشعشع داشت و باعث افزایش تولید ماده خشک شد. این در حالی است که هم‌زمان با اثر مثبت دما بر روی کارایی استفاده از تشعشع، افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جوّ نیز منجر به افزایش کارایی استفاده از تشعشع شد (Morison et al., 1985; Sultana et al., 2009). تائو و ژانگ (Tao & Zhang, 2013) گزارش کردند که در شرایط اقلیم آینده به احتمال زیاد عملکرد گندم آبی در چین افزایش خواهد یافت. ایشان گزارش کردند که عملکرد گندم آبی در دهه ۲۰۲۰ در حدود ۳۸ درصد، در دهه ۲۰۵۰ در حدود ۶۸ درصد و در دهه ۲۰۸۰ در حدود ۸۷ درصد نسبت به دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ افزایش خواهد داشت. این محققان بیان کردند که در شرایط اقلیم آینده طول دوره رویشی کوتاه‌تر، ولی طول دوره پر شدن دانه تغییر کمتری خواهد داشت. افزایش کارایی استفاده از تشعشع ناشی از تأثیر مثبت دما و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جوّ، مهم‌ترین عامل افزایش عملکرد در شرایط اقلیم آینده خواهد بود.

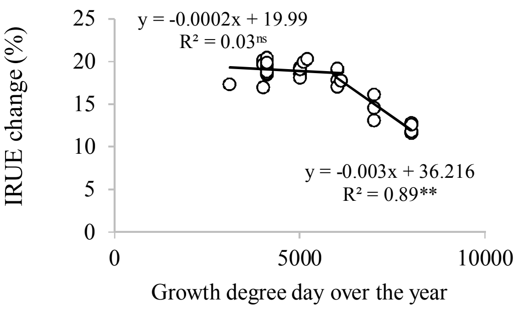
در مناطق گرم‌تر که طول دوره رویشی کوتاه‌تر از مناطق خنک می‌باشد، کاهش طول دوره رشد باعث کاهش تشعشع دریافتی در طول دوره رشد و در نتیجه، کاهش تولید ماده خشک در این مناطق را در پی داشت. از سویی دیگر، افزایش کارایی استفاده از تشعشع تا حدودی منجر به رفع اثر منفی کاهش تشعشع رسیده در فصل رشد شد. به عبارتی دیگر، تشعشع رسیده با وجود این‌که کمتر بود، ولی با کارایی بالاتری استفاده شد. به هر حال، در مناطق گرم‌تر، به‌دلیل کوتاه‌تر بودن طول دوره رشد رویشی و کاهش تشعشع رسیده، مقدار ماده خشک تجمع یافته در زمان گرده‌افشانی، کمتر از مناطق خنک‌تر بود. در این مناطق اثر منفی افزایش کارایی استفاده از تشعشع بر روی شاخص برداشت ناچیز بود. بنابراین، در مناطق گرم، افزایش کارایی استفاده از تشعشع از طریق افزایش تولید ماده خشک منجر به افزایش عملکرد شد. در حالی که در مناطق خنک‌تر، علاوه‌بر بیشتر بودن تشعشع دریافتی در طول دوره رویشی، افزایش کارایی استفاده از تشعشع در افزایش تجمع ماده خشک در زمان گرده‌افشانی مؤثر بود. به دنبال افزایش تولید ماده خشک در زمان گرده‌افشانی، مقدار شاخص برداشت کاهش یافت. به‌عنوان مثال در ایستگاه سقز در شرایط اقلیم کنونی، بدون افزایش کارایی استفاده از تشعشع مقدار شاخص برداشت ۴۹ درصد و پس از افزایش کارایی تشعشع به ۳۹ درصد رسید. افزایش کارایی استفاده از تشعشع منجر به کاهش سه درصدی عملکرد در این ایستگاه شد (شکل ۹).

در شرایط تغییر اقلیم، اثر مثبت افزایش کارایی استفاده از تشعشع به‌خصوص در مناطق خنک‌تر، کمتر از شرایط اقلیم کنونی بود. در شرایط اقلیم آینده، بدون اعمال تغییر ژنتیکی، به‌دلیل افزایش غلظت دی‌اکسید کربن جوّ و همچنین اثر مثبت دما بر روی کارایی استفاده از تشعشع در دوره رویشی، مقدار کارایی استفاده از تشعشع با تغییر اقلیم افزایش یافت. هم‌زمان با اثر مثبت محیط بر کارایی استفاده از تشعشع در شرایط اقلیم آینده، افزایش ژنتیکی کارایی استفاده از تشعشع منجر به تأثیر منفی افزایش ماده خشک در زمان گرده‌افشانی بر شاخص برداشت، به‌خصوص در مناطق خنک‌تر شد (شکل ۹). به‌طوری‌که مقدار شاخص برداشت در شرایط تغییر اقلیم با افزایشِ ژنتیکیِ کارایی استفاده از تشعشع در ۲۲ ایستگاه، نسبت به شرایط عدم تغییر ژنتیکی کارایی استفاده از تشعشع، کاهش داشت. این در حالی بود که در شرایط اقلیم کنونی، این کاهش در ۱۹ ایستگاه مشاهده شد.

مدل مفهومی Yield=RAD×RUE×HI تولید ماده خشک و عملکرد را توصیف می‌کند (Reynolds et al., 2011; Soltani & Sinclair, 2012 c). در این رابطه حاصل‌ضرب دو جزء اول رابطه (تشعشع دریافتی در کارایی استفاده از تشعشع)، مقدار ماده خشک تولید شده را نشان می‌دهد. دما فاکتوری است که هر سه این متغیرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در صورتی که دمای محیط پایین‌تر از دمای بهینه برای نمو گیاه باشد، سرعت نمو فنولوژیک با افزایش دما، افزایش می‌یابد (Wang et al., 2017 a). به‌عنوان مثال، چیملوسکی و همکاران (Chmielewski et al., 2004) تغییرات فنولوژیک گیاهان باغی و زراعی در طی دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۰ را در آلمان مورد

بررسی قرار دادند. ایشان گزارش کردند که در این دوره زمانی با افزایش دما، نمو فنولوژیک گیاهان زراعی و باغی سریع‌تر اتفاق افتاد. بر اساس نتایج این محققان، مراحل فنولوژیکی که در زمان خنک‌تر سال (ابتدای بهار) اتفاق می‌افتادند (مانند فاز رشد رویشی گیاهان پاییزه) در مقایسه با نمو مراحل فنولوژیکی که در اواخر بهار یا تابستان (در بازه گرم‌تر سال) رخ دادند (مانند فاز زایشی گیاهان پاییزه)، بیشتر تحت تأثیر افزایش دما قرار گرفته‌اند. در مطالعه‌ای دیگر، اثر تغییر اقلیم بر مراحل نمو فنولوژیک و طول دوره رسیدگی گندم در کمربند تولید گندم در استرالیا مورد بررسی قرار گرفت (Wang et al., 2017 b). ایشان نشان دادند که در شرایط تغییر اقلیم، طول دوره کاشت تا گل‌دهی گندم ۱۴ تا ۳۱ روز (در مناطق مختلف کمربند تولید گندم تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم) کاهش داشت. طول کل دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در این مناطق ۱۵ تا ۳۳ روز کاهش داشت. بنابراین، می‌توان بیان کرد که در استرالیا نیز تسریع رسیدگی گندم به‌دلیل تغییر اقلیم به‌دلیل کوتاه شدن طول دوره رویشی بود (جایی که در شرایط اقلیم کنونی دمای هوا پایین‌تر از دمای بهینه برای نمو مراحل فنولوژیک بود) و طول دوره پر شدن دانه تغییر آن‌چنانی نداشت. در مطالعه حاضر برای شرایط ایران، متوسط طول دوره کاشت تا شروع گرده‌افشانی برای کل کشور در شرایط تغییر اقلیم نسبت به شرایط اقلیم کنونی ۱۶ روز کاهش داشت.

افزایش کارایی استفاده از تشعشع در جهت افزایش عملکرد یکی از صفاتی است که همواره مورد توجه فیزیولوژیست‌ها و اصلاح‌گران بوده است (Reynolds et al., 2011; Richards, 2000). نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش کارایی استفاده از تشعشع، صفتی است که تأثیر آن بسته به منطقه می‌تواند متغیر باشد و حتی در برخی مناطق می‌تواند منجر به کاهش عملکرد شود. بیشترین اثر مثبت افزایش کارایی استفاده از تشعشع در مناطق گرم‌تر مشاهده شد. این در حالی بود که در برخی از مناطق خنک‌تر، اثر این صفت بر عملکرد منفی بود (شکل ۹).



شکل ۱۱- میزان تغییرات کارایی استفاده از تشعشع در شرایط اقلیم آینده نسبت به شرایط اقلیم کنونی در محدوده ایستگاه‌های مهم

Fig. 11- RUE change because of climate change (%) in compare to current climate within the regions covered by the RWSs for Irrigated wheat

با افزایش کارایی استفاده از تشعشع، امکان افزایش عملکرد از طریق افزایش تولید ماده خشک وجود دارد. هر چند که تولید ماده خشک با کارایی استفاده از تشعشع همواره رابطه مثبتی دارد، امّا رابطه ماده خشک، به‌خصوص در زمان گرده‌افشانی، با شاخص برداشت (جزء سوم رابطه) منفی است (Fletcher & Jamieson, 2009). به عبارتی دیگر، با افزایش کارایی استفاده از تشعشع، مقدار ماده خشک افزایش می‌یابد. از طرفی دیگر، بعد از یک حد آستانه، با افزایش ماده خشک در زمان گرده‌افشانی، شاخص برداشت کاهش می‌یابد. برآیند این افزایش در ماده خشک و کاهش در شاخص برداشت، تعیین‌کننده میزان اثر کارایی استفاده از تشعشع بر عملکرد می‌باشد.

مونپارا (Monpara, 2011) با مقایسه ۲۱ رقم گندم در هندوستان نتیجه گرفت که افزایش طول دوره پر شدن دانه صفت مطلوبی برای افزایش عملکرد دانه گندم بود. یانگ و همکاران (Yang et al., 2008) نشان دادند که با افزایش مقدار تشعشع دریافتی در طول دوره پر شدن دانه در برنج، عملکرد دانه نیز افزایش یافت. افزایش طول دوره پر شدن دانه رابطه خطی مثبتی با مقدار تشعشع دریافتی تجمعی داشت. در گندم دوروم افزایش فتوسنتز جاری در طول پر شدن دانه از طریق به تأخیر افتادن زمان پیری برگ ها، منجر به افزایش ۱۲-۱۰

در صدی عملکرد شد (Spano et al., 2003). همان‌طور که افزایش طول دوره پر شدن دانه اثر مثبتی عملکرد دارد، کاهش طول دوره نیز به‌شدت باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. به‌عنوان مثال تسریع پیری برگ‌ها ناشی از تنش غرقاب در طول دوره پر شدن دانه باعث کاهش طول دوره و کاهش عملکرد دانه گندم به‌مقدار ۳۶ تا ۴۴ درصد شد. این در حالی بود که در ارقام مورد بررسی، تنش غرقاب در طول دوره رویشی تأثیری بر عملکرد دانه نداشت (Hossain et al., 2011). در استرالیا عملکرد بیشتر رقم گندم $SeriM_{82}$ در مناطق مختلف نسبت به ارقام دیگر (۶- ۲۸٪)، به سبزمانی برگ‌ها در طول دوره پر شدن این رقم نسبت داده شد که از این طریق طول دوره مؤثر پر شدن دانه افزایش یافت (Christopher et al., 2008).

در شرایط کشت آبی که محدودیت آب وجود ندارد، تسریع توسعه سطح برگ و سریع‌تر بسته شدن کانوپی منجر به افزایش دریافت تشعشع توسط گیاه می شود. با توجه به این‌که میزان تأثیرگذاری این صفت در مناطق مختلف کشور عمدتاً کمتر از شش درصد بود، به نظر می‌رسد که مقدار فیلوکرون برای ارقام کنونی برای شرایط آبی نزدیک به حد بهینه است. با توجه به اهمیت آب در کشت دیم و کاهش تبخیر آب از خاک ناشی از بسته شدن سریع‌تر کانوپی، اثر کاهش فیلوکرون و تسریع توسعه سطح برگ در شرایط تولید دیم می‌تواند بیشتر باشد. سلطانی و گالشی (Soltani & Galeshi, 2002) نشان دادند که در مناطق معتدل و نیمه‌مرطوب ایران، تسریع توسعه سطح برگ گندم منجر به افزایش عملکرد گندم آبی به‌میزان ۷-۱۰ درصد و در گندم دیم ۱۳-۱۸ درصد شد. در شرایط آبی در صورتی که افزایش سرعت توسعه کانوپی اثر مثبتی بر عملکرد نداشته باشد، با افزایش توسعه سطح برگ مقدار تعرق افزایش یافته و در نهایت، این موضوع منجر به کاهش بهره‌وری آب خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر کاهش و افزایش طول دوره شروع پنجه‌دهی تا شروع ساقه رفتن، طول دوره پر شدن دانه، کارایی استفاده از تشعشع و توسعه سطح برگ بر عملکرد پتانسیل گندم آبی بررسی شد. افزایش طول دوره پر شدن در همه مناطق باعث افزایش عملکرد پتانسیل شد. میزان تأثیر این صفت بر عملکرد پتانسیل برای اقلیم کنونی ۱۵/۳ در صد و برای اقلیم آینده ۱۶/۸ در صد بود. افزایش کارایی استفاده از تشعشع در سطح کشور باعث افزایش ۱۴/۷در صدی عملکرد برای اقلیم کنونی و ۱۳/۷ درصد برای اقلیم آینده شد. اثر این صفت بر عملکرد پتانسیل، در مناطق گرم بیشتر از مناطق خنک بود. در هر دو شرایط اقلیم کنونی و آینده در برخی از مناطق خنک، افزایش کارایی استفاده از تشعشع منجر به کاهش عملکرد پتانسیل شد. افزایش طول دوره شروع پنجزنی تا شروع ساقه رفتن صفتی بود که فقط در مناطق گرم منجر به افزایش عملکرد شد و اثر آن در مناطق خنک یا ناچیز بود و یا باعث کاهش عملکرد پتانسیل شد. تسریع توسعه سطح برگ اثر چشمگیری بر عملکرد پتانسیل نداشت. کاهش طول دوره شروع پنجه‌زنی تا شروع ساقه رفتن، کاهش طول دوره پر شدن دانه، کاهش کارایی استفاده ار تشعشع و کاهش سرعت توسعه سطح برگ اثر منفی بر عملکرد پتانسیل داشتند. لازم به ذکر است که در مطالعه حاضر شرایط در حالت پتانسیل تولید در نظر گرفته شده و اثر عوامل مدیریتی مد نظر قرار نگرفته است. پیشنهاد می شود که در مطالعات مشابه، در کنار اثر محیط و ژنوتیپ به اثر عوامل مدیریتی بر عملکرد پتانسیل نیز پرداخته شود.

سپاس‌گزاری

نویسندگان لازم می‌دانند که از سازمان تحقیقات، ترویج و آموزش کشاورزی جهت همکاری برای جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز برای انجام این مطالعه، کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

References

Anderson, W.K., 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. Field Crops Research 116: 14-22.

Chmielewski, F.M., Müller, A., and Bruns, E., 2004. Climate changes and trends in phenology of fruit trees and field crops in Germany, 1961–2000. Agricultural and Forest Meteorology 121: 69-78.

Christensen, J.H., Krishna Kumar, K., Aldrian, E., An, S.I., Cavalcanti, I.F.A., de Castro, M., Dong, W., Goswami, P., Hall, A., Kanyanga, J.K., Kitoh, A., Kossin, J., Lau, N.C., Renwick, J., Stephenson, D.B., Xie, S.P., and Zhou, T.,

2013. Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., and Midgley, P.M., (Eds), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Christopher, J.T., Manschadi, A.M., Hammer, G.L., and Borrell, A.K., 2008. Developmental and physiological traits associated with high yield and stay-green phenotype in wheat. Australian Journal of Agricultural Research 59: 354-364.

Espe, M.B., Cassman, K.G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., and McKenzie, K., 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. Field Crops Research 196: 276-283.

Farshi, A., 1998. Water requirements estimation for major agronomic and horticultural plants of Iran. Irans's Ministry of Agriculture of Iran Agriculture Education Press, Iran. (In Persian)

Fiorani, F., and Schurr, U., 2013. Future scenarios for plant phenotyping. Annual Review of Plant Biology 64: 267-291.

Fletcher, A.L., and Jamieson, P.D., 2009. Causes of variation in the rate of increase of wheat harvest index. Field Crops Research 113: 268-273.

Flohr, B.M., Hunt, J.R., Kirkegaard, J.A., Evans, J.R., Trevaskis, B., Zwart, A., Swan, A., Fletcher, A.L., and Rheinheimer, B., 2018. Fast winter wheat phenology can stabilise flowering date and maximize grain yield in semi-arid mediterranean and temperate environments. Field Crops Research 223: 12-25.

Ghanem, M.E., Marrou, H., and Sinclair, T.R., 2015. Physiological phenotyping of plants for crop improvement. Trends in Plant Science 20: 139-144.

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.

Hanson, J.D., 1982. Effect of light, temperature and water stress on net photosynthesis in two populations of honey mesquite. Journal of Range Management 455-458.

Hossain, M.A., Araki, H., and Takahashi, T., 2011. Poor grain filling induced by waterlogging is similar to that in abnormal early ripening in wheat in Western Japan. Field Crops Research 123: 100-108.

Koo, J., and Dimes, J., 2010. Generic Soil Profiles for Crop Modeling Applications (HC27). International Food Policy Research Institute, Washington, DC, and University of Minnesota, St. Paul, MN. Available online at http://harvestchoice.org/node/662.

Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H., and van Wart, J., 2017. Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. Agricultural and Forest Meteorology 239: 108-117.

Lollato, R.P., Patrignani, A., Ochsner, T.E., and Edwards, J.T., 2016. Prediction of plant available water at sowing for winter wheat in the southern great plains. Agronomy Journal 108: 745-757.

Martre, P., Quilot-Turion, B., Luquet, D., Memmah, M.M.O.S., Chenu, K., and Debaeke, P., 2015. Model-assisted phenotyping and ideotype design. In: V.O. Sadras, and D.F. Calderini, (Eds.) Crop physiology application for genetic improvement and agronomy. Academic Press/Elsevier Science.

Moeller, C., and Rebetzke, G., 2017. Performance of spring wheat lines near-isogenic for the reduced-tillering 'tin'trait across a wide range of water-stress environment-types. Field Crops Research 200: 98-113.

Monpara, B.A., 2011. Grain filling period as a measure of yield improvement in bread wheat. Crop Improvement 38: 1-5.

Morison, J.I., 1985. Sensitivity of stomata and water use efficiency to high CO_2. Plant, Cell and Environment 8: 467-474.

Ramirez-Villegas, J., and Challinor, A., 2012. Assessing relevant climate data for agricultural applications. Agricultural and Forest Meteorology 161: 26-45.

Reynolds, M., Bonnett, D., Chapman, S.C., Furbank, R.T., Manes, Y., Mather, D.E., and Parry, M.A., 2010. Raising yield

potential of wheat. I. Overview of a consortium approach and breeding strategies. Journal of Experimental Botany 62: 439-452.

Reynolds, M.P., Calderini, D., Condon, A., and Vargas, M., 2007. Association of source/sink traits with yield, biomass and radiation use efficiency among random sister lines from three wheat crosses in a high-yield environment. Journal of Agricultural Science 145: 3-16.

Ribeiro, R.V., Machado, E.C., and Oliveira, R.F.D., 2006. Temperature response of photosynthesis and its interaction with light intensity in sweet orange leaf discs under non-photorespiratory condition. Ciência e Agrotecnologia 30: 670-678.

Richards, R.A., 2000. Selectable traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crops. Journal of Experimental Botany 51: 447-458.

Salehi, F., 2012. Desired Food Basket for Iranian People. 2012. Andisheh Mandegar Press, Iran. 58 p. (In Persian)

Sinclair, T.R., 2011. Challenges in breeding for yield increase for drought. Trends in Plant Science 16: 289-293.

Sinclair, T.R., Messina, C.D., Beatty, A., and Samples, M., 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. Agronomy Journal 102: 475-482.

Soltani, A., and Galeshi, S., 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. Field Crops Research 77: 17-30.

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., 2012 a. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. Field Crops Research 133: 186-196.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012 b. Optimizing chickpea phenology to available water under current and future climates. European Journal of Agronomy 38: 22-31.

Soltani, A., and Sinclair, T.R., 2012 c. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI Press. 322 p.

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.

Spano, G., Di Fonzo, N., Perrotta, C., Platani, C., Ronga, G., Lawlor, D.W., Napier, J.A., and Shewry, P.R., 2003. Physiological characterization of 'stay green' mutants in durum wheat. Journal of Experimental Botany 54: 1415-1420.

Sultana, H., Ali, N., Iqbal, M.M., and Khan, A.M., 2009. Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change scenarios. Climatic Change 94: 123-142.

Tao, F., and Zhang, Z., 2013. Climate change, wheat productivity and water use in the North China Plain: A new super-ensemble-based probabilistic projection. Agricultural and Forest Meteorology 170: 146-165.

van Bussel, L.G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and van Ittersum, M.K., 2015. From field to atlas: upscaling of location-specific yield gap estimates. Field Crops Research 177: 98-108.

Van Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masui, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., and Rose, S.K., 2011. The representative concentration pathways: An overview. Climatic Change 109: 5–3.

Wang, B., Li Liu, D., Asseng, S., Macadam, I., and Yu, Q., 2017 b. Modelling wheat yield change under CO_2 increase, heat and water stress in relation to plant available water capacity in eastern Australia. European Journal of Agronomy 90: 152-161.

Wang, B., Li Liu, D., Asseng, S., Macadam, I., Yang, X., and Yu, Q., 2017 a. Spatiotemporal changes in wheat phenology, yield and water use efficiency under the CMIP5 multimodel ensemble projections in eastern Australia. Climate Research 72: 83-99.

Weigand, C., and Analyst, M., 2011. Wheat import projections towards 2050. US Wheat Associates, USA.

Willenbockel, D., 2011. Exploring food price scenarios towards 2030 with a global multi-region model. Oxfam Policy and Practice: Agriculture, Food and Land 11: 19-62.

www.dssat.net. Available at 2018/08/23.

www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends. Available at 2018/08/23.

www.fao.org/faostat/en/#data/OA. Available at 2018/08/23.

www.yieldgap.org. Available at 2018/08/23.

www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted. Available at 2018/08/23.

Yang, W., Peng, S., Dionisio-Sese, M.L., Laza, R.C., and Visperas, R.M., 2008. Grain filling duration, a crucial determinant of genotypic variation of grain yield in field-grown tropical irrigated rice. Field Crops Research 105: 221-227.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 413-431

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۳۱-۴۱۳

Irrigated Wheat (*Triticum aestivum* L.) Traits Effects on Potential Yield under Current and Future Climates in Iran

S.M. Alimagham[1], A. Soltani[2*], V. Vadez[3], E. Zeinali[4] and E. Zand[5]
Submitted: 26-09-2018
Accepted: 11-11-2018

Alimagham, S.M., Soltani, A., Vadez, V., Zeinali, E., and Zand, E., 2020. Irrigated wheat (*Triticum aestivum* L.) traits effects on potential yield under current and future climates in Iran. Journal of Agroecology 12(3):413-431.

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) known as a main crop in Iran. It is the main source of calories and protein which directly provides 37 percent of the food calories and 40 percent of daily protein for people in Iran. Breeding to produce new cultivars is always an important way to increase crops yield. New cultivars breeding is a very complex process because there is an interaction between climate and genotype and the time is limited to produce new cultivars adapted to new climates. The target trait identification can accelerate new cultivar breeding process. The objectives of this study were to explore the potential benefit of irrigated wheat traits over the country to increase the yield.

Materials and Methods

This study was performed at potential yield simulation using SSM-Wheat crop model to evaluate different traits impact on irrigated wheat potential yield in Iran. For this purpose, the protocol presented by Global Yield Gape Analysis (GYGA) was used to identify the same climate zones and the main weather stations for irrigated wheat in Iran. The potential yield of irrigated wheat was simulated by SSM-iCrop model for the area covered by each main weather stations. The average potential yield was calculated at the country level by scaling up the simulated results within the area covered by weather stations using the GYGA protocol. All the simulations and calculations were done for existing cultivars and for the cultivars with desired plant traits, identified in this study, under current and future climates. The effect of desired plant on potential yield was quantified by comparison of simulation results between existing cultivars and the cultivars with desired plan traits. Future climate (2055) scenario were created for the sites using the baseline 1986-2005 and the projections for delta mean air temperature (and precipitation) which is the difference between the future air temperature (and precipitation) and baseline air temperature (and precipitation). Deltas of air temperature and precipitation were obtained from the international panel on climate change report which it used 42 GCM model outputs under RCP4.5 climate change scenario to calculate them.

Results and Discussion

In this study, the effect of increasing and decreasing of biological days from tillering to stem elongation, biological days from anthesis to philological maturity, the rate of canopy development and radiation use efficiency on irrigated wheat potential yield were evaluated. Increasing biological days from anthesis to philological maturity

1- Ph.D. Student of agroecology, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
2- Professor, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
3- IRD (Institut de Recherche pour le Développement)- University of Montpellier- UMR DIADE- 911 Av Agropolis- BP 64501- 34394 Montpellier Cedex 5, France- ICRISAT, System Analysis for Climate Smart Agriculture (SACSA), Patancheru 502324, Telangana, India.
4- Associate Professor, Department of agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran.
5- Professor, Iranian Research Institute of Plant Protection, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) Tehran, Iran.
(*- Corresponding Author Email Afshin.Soltani@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.75590

increased the potential yield in all the regions under current (15.3 %) and future climates (16.8%). The potential yield gain from increasing radiation use efficiency was 14.7% under current climate and 13.7% under future climate. The effect of decreasing biological days from tillering to stem elongation, biological days from anthesis to philological maturity, the rate of canopy development and radiation use efficiency on the potential yield were negative. Monpara (2011) reported that increasing duration of grain filling period was an effective trait to increase wheat yield in India. Yang et al. (2008) demonstrated that the yield of rice increased with increasing cumulative radiation receiving during grain filling period. There was positive correlation between cumulative radiation receiving during grain filling and grain filling duration. With longer stay green duration, the potential yield of wheat increased thereby raising photosynthesis during wheat grain filling period (Spano et al., 2003).

Conclusion

Increasing radiation use efficiency positive effect on potential yield in the regions with warmer climate was higher than the region with lower average temperature over the year. Increasing radiation use efficiency had negative effect on potential yield in some cooler regions. Increasing biological days from tillering to stem elongation just had positive effect on potential yield in the region with warmer climate and its effect was negative in the regions with cool climate. The faster canopy development had no significant effect on potential yield.

Keywords: Environment, Genotype, GYGA protocol, Late maturity, Radiation use efficiency, SSM-wheat model.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 433-445

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۴۵-۴۳۳

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط اقلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد)

حمیدرضا توکلی کاخکی[1]* و مسعود قدسی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۱

توکلی کاخکی، ح.، و قدسی، م.، ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص‌های کارایی انرژی در نظام‌های زراعی حفاظتی مبتنی بر گندم (*Triticum aestivum* L.) در شرایط قلیمی منطقه معتدل (مطالعه موردی: گناباد). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۴۵-۴۳۳.

چکیده

این پژوهش به‌منظور ارزیابی تأثیر کشاورزی حفاظتی بر شاخص‌های انرژی در نظام‌های زراعی رایج با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط اقلیمی ایستگاه تحقیقات کشاورزی گناباد به‌مدت چهار سال (۹۵-۱۳۹۱) مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه سطح شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در کرت‌های اصلی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (چیزل پکر یا دیسک سبک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (کاشت مستقیم با بذرکار) و سه سطح مدیریت بقایای گیاهی شامل بدون بقایا، حفظ ۳۰٪ بقایا و حفظ ۶۰٪ بقایای گندم (*Triticum aestivum* L.) که در کرت‌های فرعی قرار داشتند. این مطالعه در سیستم تناوبی رایج منطقه شامل گندم، جو، پنبه و گندم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مصرف انرژی از مقدار کل انرژی در تناوب رایج به نهاده‌های الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت به‌ترتیب با میانگین مصرف ۴۳، ۲۳ و ۱۲ درصد و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی با میانگین ۰/۷ درصد تعلق داشت. همچنین نتایج تجزیه واریانس و تحلیل‌های آماری شاخص‌های انرژی نشان داد که اثر شیوه خاک‌ورزی تنها بر شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. امّا اثر بقایا و اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر هیچ کدام از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبودند. مقایسه میانگین مقادیر شاخص کارایی مصرف انرژی در تناوب مورد نظر نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در دو شیوه بدون خاک‌ورزی یا کشت مستقیم و خاک‌ورزی متداول مشاهده شد، به‌نحوی که میانگین شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در شیوه بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۱ و ۹ درصد افزایش را نسبت به خاک‌ورزی متداول و خاک‌ورزی کاهش یافته نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بقایا، تناوب، خاک‌ورزی، کارایی مصرف انرژی.

مقدمه

اصولاً، رابطه بین کشاورزی و انرژی یک رابطه دوسویه است، به عبارتی،کشاورزی هم تولیدکننده و هم مصرف‌کننده انرژی می‌باشد (Singh et al., 2004)، در فعالیت‌های کشاورزی، هر مزرعه به‌عنوان یک واحد تولیدی در نظر گرفته می‌شود که در آن کشاورز با استفاده از انرژی‌های ورودی به تولید یک یا چند محصول می‌پردازد (Mohammadi et al., 2005) به عبارتی، جریان استفاده و اتلاف انرژی در بخش کشاورزی موجب شده که فعالیت‌های اجرایی این بخش از تأثیرگذارترین عوامل بر شاخص کل مصرف انرژی در کشور به‌شمار رود، به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۶ بخش کشاورزی به‌تنهایی ۳/۶ درصد از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص داده که مقدار آن بیش از متوسط مصرف انرژی در جهان (۲/۲ درصد) بوده است (Ramazani & Zibaei, 2011). تجزیه و تحلیل جریان انرژی در سیستم‌های کشاورزی نه تنها می‌تواند در ارزیابی نقش فعالیت‌های اقتصادی بر تعادل و ثبات محیطی مفید باشد، بلکه شناخت ایجاد شده و چگونگی استفاده مؤثر از انرژی در این سیستم‌ها، می‌تواند

۱ و ۲- به‌ترتیب مربی و دانشیار پژوهشی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hamidre@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.80119

ضمن بهبود کارایی مصرف انرژی و نیز کاهش مخاطرات زیست‌محیطی، دستیابی به تولید پایدار را نیز فراهم نماید (Nassiri et al., 2007; Rahimizadeh et al., 2007). شواهد موجود نشان می‌دهد که مصرف بیش از حد برخی نهاده‌های کشاورزی نه تنها باعث افزایش تولید نشده است، بلکه در برخی شرایط موجبات کاهش تولید را نیز فراهم نموده است (Amani, 2001). در همین رابطه امروزه در جهان توجه به رویکرد استفاده از کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی بیشتر شده است. از جمله دلایل عمده این توجه کاهش مصرف انرژی، صرفه‌جویی در زمان اجرای عملیات، حفظ محیط زیست و پایداری سیستم‌های تولید می‌باشد. در این خصوص سؤال اساسی مطرح شده این است که آیا کشاورزی حفاظتی دارای بهره‌وری انرژی بالاتری نسبت به کشاورزی رایج است؟ پاسخ این سؤال در ردیابی سیر انرژی در یک سیستم زراعی نهفته است. نتایج حاصل از کشاورزی حفاظتی شامل صرفه‌جویی در مصرف سوخت و انرژی می‌باشد که با تغییر سیستم از کشاورزی رایج به کشاورزی حفاظتی کاهش هزینه‌های تولید را در بر خواهد داشت. اصولاً حفظ بقایا در سطح خاک موجب افزایش مواد آلی خاک شده و افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، حمایت از عوامل زنده و ریزجانداران همراه با فعال شدن عوامل زنده و کاهش تردد در سطح مزرعه افزایش میزان خلل و فرج، حفظ رطوبت در سطح خاک، جلوگیری از فرسایش خاک، تبخیر کمتر، افزایش تولید و در نهایت، افزایش بهره‌وری اقتصادی و انرژی را به‌همراه خواهد داشت. در این رابطه خان و همکاران (Khan et al., 2010) میزان مصرف انرژی و روابط انرژی مصرفی و تولیدی را برای گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) را در استرالیا بررسی کردند. نتایج مطالعه این پژوهشگران نشان داد که انرژی متعلق به کودهای شیمیایی به‌تنهایی ۴۷، ۴۳ و ۲۹ درصد از کل انرژی نهاده‌ها را در محصول گندم، برنج و جو به خود اختصاص داده است. در این مطالعه ضمن محاسبه کل انرژی‌های ورودی و خروجی گندم دارای بالاترین نرخ بهره‌وری انرژی بوده، در حالی که جو دارای بالاترین بهره‌وری مصرف آب بوده است. همچنین مقایسه دو سیستم کم‌نهاده و پرنهاده از لحاظ کارایی انرژی و میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر برای ۵۰ کشاورز گندم‌کار آبی (پرنهاده) و ۵۰ کشاورز گندم‌کار دیم (کم‌نهاده) در استان خراسان شمالی نشان داد که میزان مصرف انرژی در سیستم کم‌نهاده ۹۳۵۴/۲ مگاژول و در سیستم پرنهاده ۴۵۳۶۷/۶ مگاژول و کارایی مصرف انرژی در زراعت دیم ۳/۳۸ و در زراعت آبی ۱/۴۴ بوده است (قربانی و همکاران (Ghorbani, 2011). کریمی و همکاران (Karimi et al., 2008) الگوی مصرف انرژی در ایران را طی دوره ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۵ میلادی در ۲۱ محصول زراعی ایران بررسی کردند، نتایج بر اساس رگرسیون خطی نشان داد که میزان میانگین انرژی محصولات در هکتار در ایران سالانه ۲/۳۵ گیگاژول، کل انرژی تولیدی ۳۱/۸۳ پتاژول و انرژی سرانه ۰/۲۵ گیگاژول رشد داشته است. بیشترین انرژی تولیدی مربوط به چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) با ۳۹۴/۶۱ گیگاژول در هکتار و محصولاتی مانند تنباکو (*Nicotiana rustica* L.)، خیار(*Cucumis sativus* L.)، عدس (*Lens culinaris* L.)، نخود(*Cicer arietinum* L.)، گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) و پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) به‌ترتیب با ۲۴/۷۱، ۲۲/۹۷، ۲۰/۵۲، ۱۶/۰۹، ۱۵/۳۹، ۱۴ و ۰/۰۹ گیگاژول در هکتار کمترین انرژی تولیدی را داشته‌اند. در پژوهشی ولیدیانی و همکاران (Valadyani et al., 2005) کارایی مصرف انرژی گندم در مزارع تولید بذر استان آذربایجان شرقی را بررسی کردند. این پژوهشگران کارایی مصرف انرژی را برای عملکرد بیولوژیکی (دانه و کاه) ۰/۷۷۸ گزارش کردند، در حالی‌که این کارایی مصرف برای دانه و کاه به‌طور مجزا به‌ترتیب ۰/۴۲۴ و ۰/۳۶۴ بود. آن‌ها همچنین بیان داشتند که بیشترین مصرف انرژی در تولید گندم بذری مربوط به کود نیتروژن با میزان ۲۹/۸۸ درصد و کمترین آن مربوط به نیروی انسانی با ۰/۳۹ درصد بود. ملائی و همکاران (Mollaee et al., 2008) کارایی مصرف انرژی گندم دیم را در سه منطقه شهرستان اقلید محاسبه کرده و نتیجه گرفتند که متوسط کارایی مصرف انرژی دانه در این شهرستان ۱/۰۶۲ و کارایی مصرف انرژی بیولوژیک (کاه و دانه) ۱/۶ می‌باشد. همچنین میثمی و همکاران (Maisami et al., 2008) در پژوهشی در شهرستان بناب، کارایی مصرف انرژی را برای گندم آبی برداشت شده با دست ۲/۹، برای گندم آبی با کمباین ۲/۵، برای گندم دیم ۳ /۱ و برای پیاز ۰/۷۷ را برآورد کردند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، سوخت فسیلی بیشترین مقدار (۵۰ درصد) از انرژی ورودی را به خود اختصاص داده بود و بعد از آن کود شیمیایی و انرژی بذر در رتبه‌های بعدی قرار داشتند. مهاجردوست و همکاران (Mohajerdoost et al., 2008) کارایی مصرف انرژی را در

شهرستان مراغه بـرای محصـولات گنـدم آبـی، جـو آبـی و یونجـه (*Medicago sativa* L.) بـه‌ترتیـب ۲/۸۹، ۳/۱۷ و ۵/۱۶ بـرآورد کردند. شاخص‌های انرژی در حقیقـت امکـان مقایسـه سیسـتم‌هـا و مطالعه جزء به جزء آن‌ها را با یکدیگر فراهم می‌کنند، به‌طوری که با مطالعه شاخص‌هـای انـرژی امکـان شـناخت از وضـعیت انـرژی در کشاورزی مهیا می‌شود. همچنـین مـی‌تـوان مراحـل مختلـف تولیـد محصول و مقایسه بازدهی انرژی در تولید محصولات مختلـف را بـا روش متفاوت در منـاطق مختلـف بررسـی کـرد (Canakci et al., 2005). طبق تحقیقات، حدود ۶۰ درصد انرژی مکانیکی مورد مصرف در کشاورزی مکانیزه مربوط به عملیات خاک‌ورزی می‌باشد. دقت در نوع استفاده از ادوات و مراتب ورود به مزرعه برای هـر نـوع از ادوات خاک‌ورزی دارای اهمیت بالایی است. عملیات خاک‌ورزی سهم قابل توجهی در مقدار انرژی ورودی بـه یـک سیسـتم تولیـد محصـولات زراعی دارد. رزاقی و همکاران (Razzaghi et al., 2007) به‌منظـور ارزیابی تأثیر کاهش خـاک‌ورزی بـر انـرژی مصـرفی در تولیـد ذرت علوفه‌ای (*Zea mays* L.)، با اعمال سـه روش مختلـف خـاک‌ورزی تهیه بستر بذر (گاوآهن برگردان‌دار + دو بار دیسک، گاوآهن قلمی + دو بار دیسک و دیسک + دیسک) آزمایشی مزرعه‌ای در قالب طـرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. نتایج به‌دسـت آمـده نشان داد که روش‌های مختلف تهیه بستر بـذر از نظـر کـل انـرژی ورودی به مزرعه دارای اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد بـود، به‌طوری که استفاده از کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم باعث ذخیره انرژی در قالـب سـوخت و عملیـات ماشـینی شـد. امّـا روش‌های مختلف تهیه بستر بذر از نظر کل انرژی خروجی از مزرعه تفاوت معنی‌دار آماری نشان ندادند. آن‌چه که مسلم است روش‌هـای مختلفی برای ارزیابی پارامترهای مرتبط با انرژی به‌کار مـی‌رود، امّـا برای افزایش دقت تجزیه و تحلیل‌ها، طولانی بودن طول دوره مطالعه در سیستم‌های زراعی حائز اهمیت است. از این رو به نظر می‌رسد که اجرای پروژه‌هایی از این دست در نظام‌های زراعـی بتوانـد بـه‌عنـوان ابزاری مؤثر در برنامه‌ریزی‌های آتی کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. از این جهت این مطالعه با هدف ارزیابی شاخص‌های مختلف انـرژی در نظام‌های متداول زراعی جهت دستیابی و کاربرد شیوه‌های مختلف تولید برای افزایش کارایی مصرف انرژی در نظام زراعی رایج منطقه و امکان تغییر ساختار تولید محصولات زراعی مبتنی بر اصول پایـداری سیستم‌های کشاورزی، از رایج به حفاظتی طراحی و اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در ایستگاه تحقیقاتی گناباد واقع در پـنج کیلـومتری شمال شرقی گناباد و در ۳۴ درجه و ۲۰ دقیقه عـرض شـمالی و ۵۸ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی انجام شد. ارتفاع ایستگاه از سطح دریا ۱۰۶۰ متر و متوسط بلندمدت بارنـدگی ۱۵۱ میلـی‌متـر و حـداکثر و حداقل درجه حرارت مطلق به‌ترتیب ۴۴/۲ و ۱۴/۲- درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت فصل گرم ۲۳/۷ و متوسط فصـل سـرد ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. مشخصات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (ایستگاه گناباد)

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil experimental region (Gonabad station)

اسیدیته pH	ماده آلی Organic matter (%)	کربن آلی Organic C (%)	فسفر قابل جذب Available P ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب Available K ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total N (%)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)
7.9	0.46	0.27	7.49	121	0.028	1.9	62	22	16

آزمایش با استفاده از طرح کرت‌های خرد شده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی گناباد در یک دوره چهار ساله (۹۵-۱۳۹۱) اجرا شد. فاکتورهای آزمایش عبارت بودند از سه شیوه مختلف خاک‌ورزی در کرت‌های اصلی شامل شیوه متداول خاک‌ورزی (CT[1]) (شخم + دیسک + تسطیح + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار)، شخم کاهش یافته (MT[2]) (چیزل پکر یـا دیسـک سبک + ایجاد فارو + کاشت با بذرکار) و بدون شخم (NT[3]) (کاشت

1- Conventional tillage
2-Minimum tillage
3-No -tillage

مستقیم با بذرکار) و سه سطح مدیریت بقایای گیاهی شامل بدون بقایا (R_0)، حفظ ۳۰٪ بقایا (R_{30}) و حفظ ۶۰٪ (R_{60}) بقایای‌گندم که در کرت‌های فرعی قرار داشتند. در این مطالعه سیستم تناوبی رایج منطقه شامل گندم، جو، پنبه و گندم بود، لازم به ذکر است که شروع تناوب رایج با گندم و با هدف اجرای عامل بقایا در هر یک از کرت‌های آزمایشی انجام شد. در روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) قبل از کشت هیچ‌گونه عملیات خاک‌ورزی انجام نشد و با یک بار حرکت مستقیم بذرکار، کشت مستقیم در مزرعه انجام شد. در روش کم‌خاک‌ورزی از یک دستگاه دیسک یا چیزل- پکر استفاده شد و عملیات خاک‌ورزی در یک مرحله انجام شد و سپس برای کشت غلات از بذرکار مستقیم و برای محصول ردیفی از ردیف‌کار استفاده شد. در روش مرسوم، خاک‌ورزی توسط گاوآهن برگردان‌دار و دیسک انجام و سپس کشت غلات با خطی‌کار غلات و کاشت محصول ردیفی با ردیف‌کار انجام شد. در تیمار حفظ بقایا از عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت گیاهان زراعی برای محاسبه میزان بقایا بر روی سطح خاک استفاده شد، بدین‌صورت‌که با تغییر ارتفاع برداشت توسط کمباین بخشی از بقایا به‌صورت ایستاده و مابقی بر روی سطح خاک پخش شد. در این مطالعه از ارقام رایج و تجارتی محصولات زراعی استفاده شد. ابعاد هر کرت فرعی آزمایشی ۳۰×۲۰ متر (۶۰۰ مترمربع) و فاصله بین دو کرت فرعی دو متر در نظر گرفته شد. مساحت هر کرت اصلی ۱۸۰۰= ۶۰۰ × ۳ مترمربع و مساحت آزمایش برای یک تکرار حدود ۵۵۰۰ مترمربع و برای کل آزمایش ۱/۶ هکتار بود. در طی دوره رشد و نمو هر یک از محصولات یادداشت‌برداری‌های مورد نیاز در زمان مناسب انجام شد. برخی ازویژگی‌های زراعی هر یک از محصولات این مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های زراعی هر یک از محصولات گندم، جو و پنبه

Table 2- Some of the agronomical characteristics of wheat, barley and cotton crops

محصول Crop	رقم Variety	سال Year	تاریخ کاشت Planting date	بذر Seed ($kg.ha^{-1}$)	تاریخ برداشت Harvesting date	میانگین عملکرد Yield average ($Kg.ha^{-1}$)
گندم Wheat	پارسی Parsi	2012-2013	14.11.2012	200	17.06.2013	4989
جو Barley	نصرت Nosrat	2013-2014	20.11.2013	180	16.06.2014	3490
پنبه Cotton	خرداد Khordad	2015	02.05.2015	40	17.10.2015	1997
گندم Wheat	پارسی Parsi	2015-2016	07.12.2015	200	23.06.2016	4256

محاسبه شاخص‌های انرژی با استفاده از معادلات ۱ تا ۴ انجام شد (Beheshti Tabar et al., 2010).

معادله (۱): کارایی مصرف انرژی

$$EUE = \frac{EOU\ (MJ\ ha^{-1})}{EIN(MJ\ ha^{-1})}$$

معادله (۲): انرژی ویژه

$$EE = \frac{EIN\ (MJ\ ha^{-1})}{Y(Kg\ ha^{-1})}$$

معادله (۳): انرژی خالص

$$NEG = EOU(MJ\ ha^{-1}) - EIN\ (MJ\ ha^{-1})$$

معادله (۴): بهره‌وری انرژی

$$EP = \frac{Y\ (Kg\ ha^{-1})}{EIN(MJ\ ha^{-1})}$$

در این معادلات، EUE[4]: کارایی مصرف انرژی، EOU[5] و EIN[6]: به‌ترتیب انرژی خروجی و ورودی برحسب (مگاژول در هکتار)، Y[7]: عملکرد اقتصادی (کیلوگرم در هکتار)، EE[8]: انرژی ویژه، NEG[9]: انرژی خالص استحصال شده و EP[10]: بهره‌وری انرژی می‌باشند (Beheshti Tabar et al., 2010). انرژی‌های ورودی و خروجی مورد مطالعه و معادل انرژی‌ها مربوطه (بر حسب مگاژول) در جدول ۳ ارائه شده است. در ادامه سهم نسبی انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم

4- Energy use efficiency
5- Energy output
6- Energy input
7-Yield
8-Specific energy
9- Net energy gain
10- Energy productivity

هر یک از محصولات در شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی مورد بررسی قرار گرفت. انرژی‌های مستقیم یا انرژی‌های که بدون واسطه در نظام‌های زراعی مصرف می‌شوند شامل نیروی انسانی، سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته، آب و انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و ماشین‌آلات بودند. تجزیه داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS V. 9.2 (SAS, 2002) و مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

جدول ۳- معادل‌های انرژی نهاده‌های ورودی و خروجی

Table 3- Equivalent energy for inputs and outputs

ورودی Input	واحد Unit	انرژی معادل Equivalent energy (M j per unit)	منابع References
نیروی انسانی Manpower	ساعت hr	1.96	Mohammadi et al. (2008)
سوخت (گازوئیل) Fuel	لیتر Lit	56.31	Erdal et al. (2007)
الکتریسیته Electricity	کیلووات بر ساعت $Kw.hr^{-1}$	3.6	Ozkan et al. (2004)
ماشین‌آلات Machinery	ساعت hr	62.7	Mohammadi et al. (2008)
نیتروژن (N) Nitrogen	کیلوگرم kg	66.14	Mohammadi & Omid (2010)
فسفر (P_2O_5) Phosphorus	کیلوگرم kg	12.44	Mohammadi & Omid (2010)
پتاسیم (K_2O) Potassium	کیلوگرم kg	11.15	Mohammadi & Omid (2010)
علف‌کش Herbicide	لیتر Lit	238	Gundogmus (2006)
آفت‌کش Pesticide	لیتر Lit	101.2	Esengum et al. (2007)
آب آبیاری Irrigation water	مترمکعب m^3	1.02	Mohammadi et al. (2008)
بذر گندم Wheat seed	کیلوگرم kg	20.1	Ghorbani et al. (2011)
بذر جو Barley seed	کیلوگرم kg	14.7	Mobtaker et al. (2010)
بذرپنبه Cotton seed	کیلوگرم kg	11.8	Yilmaz et al. (2005)
خروجی Output			
دانه گندم Wheat grain	کیلوگرم kg	14.48	Ghorbani et al. (2011)
کاه گندم Wheat straw	کیلوگرم kg	9.25	Ghorbani et al. (2011)
دانه جو Barley grain	کیلوگرم kg	14.7	Mobtaker et al. (2010)
کاه جو Barley straw	کیلوگرم kg	11.6	Givens et al. (1988)
پنبه Cotton	کیلوگرم kg	11.8	Yilmaz et al. (2005)

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده در خصوص میانگین مصرف انرژی برای تناوب رایج محصولات در منطقه نشان داد که بیشترین میانگین مصرف انرژی از کل انرژی مصرف شده به‌نهاده‌های ورودی الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت به‌ترتیب با میانگین ۴۲/۷۲، ۲۲/۸۵ و ۱۱/۸۷ درصد و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی با میانگین ۰/۷ درصد تعلق داشته است. در خصوص نهاده الکتریسیته با توجه به حجم آب مصرف شده بیشترین و کمترین مقدار انرژی مصرف شده به‌ترتیب برای دو محصول پنبه و گندم مشاهده شدکه به نظر می‌رسد این تفاوت به بهاره و پاییزه بودن محصول مرتبط باشد (جدول ۴).

همان‌طور که اشاره شد، بیشترین میانگین مصرف انرژی برای محصولات در تناوب رایج به‌ترتیب به الکتریسیته، کودهای شیمیایی و سوخت دیزل و کمترین مقدار مصرف انرژی به نهاده نیروی انسانی تعلق داشت (جدول ۴). در این رابطه نتایج به‌دست آمده بررسی کارایی مصرف انرژی و تحلیل اقتصادی زراعت سورگوم علوفه‌ای در منطقه سیستان توسط فرتوت و همکاران (Fartout Enayat et al., 2017) نشان داد که از مجموع انرژی ورودی در نظام‌های تولید سورگوم مقدار انرژی الکتریسیته پرمصرف‌ترین نهاده ورودی در بین سایر نهاده‌ها بود. این محققین بیان داشتند پس از الکتریسیته بیشترین مقدار انرژی مصرف شده در نظام‌های زراعی تولید سورگوم به کودهای شیمیایی و گازوئیل تعلق داشته است. همچنین در مطالعه دیگری سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2015) بر اساس داده‌های به‌دست آمده از مزارع خربزه در دو استان خراسان رضوی و جنوبی بیان داشتند که دو نهاده الکتریسیته و کود شیمیایی به‌ترتیب با میانگین ۴۳ و ۲۷ درصد بیشترین درصد از کل انرژی‌های ورودی را شامل شده است. در این رابطه همچنین ارزیابی کارایی مصرف انرژی ارقام مختلف برنج دانه بلند در استان گلستان توسط طاهری‌راد و همکاران (Taheri Rad et al., 2017) نشان داد که نهاده سوخت دیزل با میانگین ۳۸/۷ درصد از کل انرژی ورودی به مزارع شالی به‌عنوان پرمصرف‌ترین نهاده انرژی در تولید شلتوک برنج مطرح می‌باشد. البته در ادامه این پژوهشگران اذعان داشتند که پس از سوخت دیزل بیشترین سهم از کل انرژی ورودی در تولید شلتوک برنج مربوط به‌الکتریسیته با میانگین ۲۹/۳ درصد می‌باشد. آن‌چه که مسلم است، از منظر نحوه کاربرد، انرژی به دو گروه انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شود. در این رابطه انرژی‌های مستقیم یا به عبارتی، انرژی‌هایی که بدون واسطه در نظام‌های زراعی مصرف می‌شود شامل نیروی انسانی، سوخت‌های فسیلی، الکتریسیته و آب می‌باشد و انرژی‌های غیرمستقیم شامل بذر مصرفی، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و ماشین‌آلات می‌باشند. در این مطالعه، نتایج بررسی‌های انجام شده نشان داد که سهم نسبی انرژی‌های مستقیم از کل انرژی ورودی هر یک از محصولات در تناوب رایج برای هر سه شیوه خاک‌ورزی بیش از ۶۰ درصد می‌باشد (جدول ۵). به‌عنوان مثال، سهم انرژی‌های مستقیم در تناوب رایج منطقه که شامل توالی زمانی چهار محصول گندم، جو، پنبه و گندم بود برای سه شیوه، خاک‌ورزی متداول، خاک‌ورزی کاهش یافته و بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۶۹/۳۷، ۶۴/۶۸ و ۶۴ درصد بود. همان‌طور که در جدول ۵ نشان داده شده است، تغییر شیوه خاک‌ورزی از خاک‌ورزی متداول به دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و بدون شخم با کاهش مصرف انرژی‌های مستقیم به‌میزان حداقل پنج درصد همراه بود.

در ادامه نتایج تجزیه واریانس در تناوب مورد مطالعه نشان داد که اثر فاکتور اصلی شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی فقط بر شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در سطح پنج درصد ($p\leq0.05$) معنی‌دار بود. امّا اثر بقایا و همچنین اثر متقابل خاک‌ورزی و بقایا بر هیچ یک از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبودند (جدول ۶). در ادامه مقایسه میانگین مقادیر شاخص کارایی مصرف انرژی در تناوب مورد نظر نشان داد که بیشترین و کمترین مقدار این شاخص به‌ترتیب در دو شیوه بدون خاک‌ورزی یا کشت مستقیم و خاک‌ورزی متداول مشاهده شد. به‌عبارتی، میانگین شاخص کارایی مصرف انرژی برای دو محصول گندم و جو در شیوه بدون خاک‌ورزی به‌ترتیب ۲۱ و ۹ درصد افزایش را نسبت به خاک‌ورزی متداول و خاک‌ورزی کاهش یافته نشان داد (جدول ۷).

جدول ٤- مقدار کل انرژی‌های ورودی و خروجی در تناوب زراعی مورد مطالعه

Table 4- Total amount of input and output energy in studied crop rotation

انرژی Energy	گندم Wheat (2012-13)			جو Barley (2013-14)			پنبه Cotton (2015)			گندم Wheat (2015-2016)		
ورودی Input	**A†**	**E††**	**P†††**	**A**	**E**	**P**	**A**	**E**	**P**	**A**	**E**	**P**
	ha^{-1}	**MJ.ha^{-1}**	**%**	**ha^{-1}**	**MJ.ha^{-1}**	**%**	**ha^{-1}**	**MJ.ha^{-1}**	**%**	**ha^{-1}**	**MJ.ha^{-1}**	**%**
نیروی انسانی (ساعت) Manpower (hr)	69	136	0.24	69	136	0.26	826	1455	2.07	69	136	0.24
ماشین‌آلات (ساعت) Machinery (hr)	14	898	1.6	14	898	1.72	14	898	1.28	14	898	1.62
سوخت (لیتر) Fuel (Lit)	129	7283	12.97	129	7283	13.95	93	5256	7.48	129	7283	13.10
نیتروژن (کیلوگرم) N (kg)	150	9921	17.67	150	9921	19	175	11575	16.47	150	9921	17.85
فسفر (کیلوگرم) P (kg)	150	1866	3.32	100	1244	2.38	150	1866	2.66	150	1866	3.36
پتاسیم (کیلوگرم) K (kg)	150	1672	2.98	100	1115	2.14	100	1115	1.59	100	1115	2.01
جمع کود (کیلوگرم) Total fertilizer (kg)	450	13459	23.97	350	12280	23.52	425	14556	20.71	400	12902	23.21
علف‌کش (لیتر) Herbicide (Lit)	10	2380	4.24	10	2380	4.56	10	2380	3.39	10	2380	4.28
الکتریسیته (کیلووات بر ساعت) Electricity (kw.hr^{-1})	6179	22244	39.62	5808	20909	40.05	9997	35989	51.21	6179	22244	40.01
آب آبیاری (مترمکعب) Irrigation water (m^3)	5617	5729	10.20	5280	5385	10.32	9088	9270	13.19	5617	5729	10.31
بذر (کیلوگرم) Seed (kg)	200	4020	7.16	200	2940	5.63	40	472	0.67	200	4020	7.23
کل انرژی ورودی (مگاژول بر هکتار) Total input energy (MJ.ha^{-1})	–	56150	100	–	52211	100	–	70275	100	–	55593	100
خروجی Output												
دانه (کیلوگرم) Grain (kg)	4989	72242	-	3490	51306	-	-	-	-	4256	61622	-
کاه (کیلوگرم) Straw (kg)	8144	75334	-	4577	53101	-	-	-	-	9002	83268	-
پنبه (کیلوگرم) Cotton (kg)	-	-	-	-	-	-	1997	23565	-	-	-	-
کل انرژی خروجی Total output energy (MJ.ha^{-1})	-	147576	-	-	104207	-	-	23565	-	-	14489 0	-

A†: مقدار نهاده در واحد سطح

Input per unit area

E††: معادل انرژی

Equivalent energy

P†††: درصد از کل انرژی ورودی

Percentage of total input energy

جدول ۵- سهم نسبی انرژی‌های مستقیم و غیرمستقیم هر یک از محصولات در شیوه‌های متفاوت خاک‌ورزی در تناوب مورد مطالعه
Table 5- Relative contribution of direct and indirect energies in different methods of soil tillage in studied crop rotation

	گندم Wheat (2012-13)			جو Barley (2013-14)			پنبه Cotton (2015)			گندم Wheat (2015-16)		
	CT†	MT††	NT†††	CT	MT	NT	CT	MT	NT	CT	MT	NT
انرژی‌های مستقیم Direct energies	66.47	61.35	60.66	68.08	62.83	62.13	75.88	73.01	72.69	67.07	61.99	61.32
انرژی‌های غیرمستقیم Indirect energies	33.53	38.65	39.34	31.92	37.17	37.87	24.12	26.99	27.31	32.93	38.01	38.68
جمع Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

CT†، MT†† و NT†††:به‌ترتیب نشان‌دهنده خاک‌ورزی‌های متداول، کاهش‌یافته و بدون خاک‌ورزی است.
CT†, MT†† and NT†††: represents conventional tillage minimum tillage and no tillage, respectively.

جدول ٦- تجزیه واریانس شاخص‌های انرژی هر یک از محصولات در تناوب (آزمون f)
Table 6- Anova for energy indices of each crops in rotation (f test)

منابع تغییرات S.O.V.	کارایی مصرف انرژی EUE	انرژی ویژه EE	انرژی خالص NEG	بهره‌وری انرژی EP
خاک‌ورزی (T) Tillage (T)				
گندم Wheat (2012-13)	*	ns	ns	ns
جو Barley (2013-14)	*	ns	ns	ns
پنبه Cotton (2015)	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat (2015-16)	*	ns	ns	ns
بقایا (R) Residue (R)				
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
جو Barley	ns	ns	ns	ns
پنبه Cotton	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
T × R				
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns
جو Barley	ns	ns	ns	ns
پنبه Cotton	ns	ns	ns	ns
گندم Wheat	ns	ns	ns	ns

ns و *: به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد
ns and *: are Non- significant and significant at 5% probability level, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر خاک‌ورزی بر کارایی مصرف انرژی گندم و جو
Table 7- Mean comparison of the tillage effect on energy use efficiency of wheat and barley

شیوه‌های خاک‌ورزی Tillage methods	گندم Wheat† (2012-13)	جو Barley (2013-14)	گندم Wheat (2015-16)
متداول Conventional tillage	2.42 [b]	1.82 [b]	2.34 [b]
کاهش یافته Minimum tillage	2.64 [ab]	1.94 [ab]	2.66 [ab]
کشت مستقیم No till	2.85 [a]	2.26 [a]	2.86 [a]

† میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد ندارند.
† Means within a column that have a same letter are not significant at 5% probability level.

همان‌طور که اشاره شد، بررسی‌های انجام شده در این مطالعه نشان داد که سهم نسبی انرژی‌های مستقیم شامل انرژی الکتریسیته، سوخت‌های فسیلی، نیروی انسانی و آب از کل انرژی ورودی برای هر یک از محصولات تناوبی برای هر سه شیوه خاک‌ورزی بیش از ۶۰ درصد بود. در راستای نتایج به‌دست آمده از این بررسی نتایج به‌دست آمده توسط سیدی و همکاران (Sayedi et al., 2015) نیز نشان داد که در نظام‌های زراعی تولید خربزه در دو استان خراسان رضوی و جنوبی ۶۶ درصد از کل معادل انرژی مصرف شده به انواع انرژی‌های مستقیم اختصاص داشته است. همچنین بررسی و تجزیه و تحلیل مصرف انرژی در زراعت پنبه استان گلستان نیز نشان داد که از کل انرژی مصرف شده برای تولید پنبه در استان گلستان ۶۰ درصد آن به نهاده‌های با منشأ کارکردی مستقیم تعلق داشته است (Ahmadi & Aghaalikhani, 2012). بر اساس تعاریف ارائه شده در اصول کشاورزی حفاظتی به‌کار بستن شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی حفاظتی لزوماً به‌معنای مشاهده تغییرات در شاخص‌های مورد ارزیابی نخواهد بود. به عبارتی، نه تنها مدیریت خاک به‌عنوان جزئی اساسی از سیستم زراعی بوده و خواهد بود، بلکه ارزیابی سیستم‌های مدیریت خاک از منظر اثرات بلندمدت بیشتر مورد توجه می‌باشد. از آن‌جایی که خاک حاصل اثر تقابل فرایندهای زیستی و غیرزیستی است، حفاظت خاک تمام جنبه‌های زیستی، شیمیایی و فیزیکی را شامل می‌شود. این امر به‌ویژه در کارکردهای تنظیم‌کنندگی موجودات زنده خاک، تشکیل خاک‌دانه‌های پایدار، تولید و تجزیه مواد آلی و ثبات جمعیت موجودات مختلف خاک‌زی کاربرد دارد. از این رو با توجه به نتایج به‌دست آمده بیشترین تأثیرگذاری مصرف نهاده‌ها به متغیرهایی همچون الکتریسیته و کودهای شیمیایی وابسته بوده است. از طرفی، با توجه به مدیریت یکسان مصرف آب و مصرف کود در تمامی سطوح خاک‌ورزی جهت جلوگیری از اثر اختلاط عوامل ناشناخته سبب شده است که تغییرات معنی‌دار آماری مشاهده نشود. امّا با این وجود روند تغییرات معنی‌داری برای شاخص کارایی مصرف انرژی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های انرژی مورد مطالعه برای فاکتور خاک‌ورزی در نظام‌های زراعی گندم (۹۲-۱۳۹۱)، جو (۹۳-۱۳۹۲) و گندم (۹۵-۱۳۹۴) درت ناوب رایج مشاهده شد. به عبارتی، کارایی مصرف انرژی یا به بیانی دیگر، مقدار انرژی تولید شده بر حسب مگاژول در هکتار به‌ازاء یک مگاژول انرژی مصرف شده در هکتار به‌صورت میانگین برای دو نظام زراعی گندم در تناوب رایج برای شیوه بدون خاک‌ورزی یا همان کشت مستقیم به‌ترتیب ۸ و ۱۷ درصد بیشتر از دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و خاک‌ورزی متداول بود (جدول ۸). از این رو با توجه به شرایط ادافیکی و اقلیمی، ایستگاه گناباد با متوسط بارندگی بلندمدت ۱۵۱ میلی‌متر و درصد رطوبت نسبی محدود و پایین بودن میزان ماده آلی خاک (کمتر از ۰/۵ درصد) به نظر می‌رسد که تأثیر مقدار بقایا بر فاکتورهای فیزیکی و شیمیایی خاک بسیار کند است. به عبارتی، برای مشاهده تأثیر باقی‌مانده بقایا در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی با توجه به شرایط اقلیمی گناباد به زمان‌های بسیار طولانی‌تری نیاز خواهد بود. بنابراین، طبیعی است که در این مطالعه شاهد عدم تأثیر فاکتور مقدار بقایا بر شاخص‌های مورد نظر در این مطالعه باشیم. در مجموع، تحلیل شاخص‌های انرژی نشان می‌دهد که دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و کشت مستقیم برای گندم و جو با توجه به شرایط اقلیمی اجرای این آزمایش قابل توصیه می‌باشد. امّا برای پنبه با توجه به وابسته بودن این دو محصول به نیروی کار از کاشت تا برداشت و همچنین به‌دلیل تأثیر و ماهیت آماده‌سازی بستر بذر در دو شیوه خاک‌ورزی کاهش یافته و کشت مستقیم موجب عدم استقرار تعداد بوته لازم برای رسیدن به حداکثر عملکرد و در نتیجه، کاهش انرژی خروجی شده است.

جدول ۸- میانگین مقادیر کارایی مصرف انرژی و کل انرژی مصرف شده در هر یک از شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در تناوب رایج

Table 8- Means amounts of energy use efficiency and total use energy for each one t tillage methods in conventional rotation

شاخص Index	خاک‌ورزی متداول Conventional tillage	خاک‌ورزی کاهش یافته Minimum tillage	کشت مستقیم No tillage
کارایی مصرف انرژی EUE	1.78	1.9	2.1
کل انرژی مصرفی Total use energy (MJ.ha^{-1})	258788	224460	219434

نتیجه‌گیری

بنابراین، با توجه به مجموع نتایج به‌دست آمده از تحلیل شاخص‌های انرژی به‌نظر می‌رسد استفاده از شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی به‌لحاظ برتری شاخص کارایی مصرف انرژی منحصراً برای نظام‌های زراعی گندم و جو در شرایط اقلیمی منطقه مورد مطالعه قابل توجیه و توصیه می‌باشد. با توجه به این‌که اثر بقایا بر هیچ یک از شاخص‌های انرژی معنی‌دار نبود، نتایج به‌دست آمده در رابطه با مقدار کل انرژی مصرف شده بر حسب مگاژول در هکتار برای هر یک از شیوه‌های مختلف خاک‌ورزی در هر یک از تناوب‌های مورد مطالعه نشان داد که تغییر شیوه خاک‌ورزی از شخم متداول به شخم کاهش یافته و کشت مستقیم در تناوب‌های مورد مطالعه با کاهش مصرف انرژی همراه بوده است، به نحوی‌که تغییر شیوه خاک‌ورزی از شخم متداول به کشت مستقیم و کاهش یافته به‌ترتیب با ۱۵ و ۱۴ درصد کاهش مصرف انرژی همراه بوده است.

References

Ahmadi, M., and Aghaalikhani, M., 2012. Analysis of energy consumption in cotton cultivation in Golestan province in order to provide a solution to increase resource efficiency. Journal of Agricultural Ecology 4(2): 151-158. (In Persian with English Summary)

Amani, A.R., 2001. Investigating the social, economic, and agronomic characteristics of wheaters affecting acceptable low-livestock agriculture in Khuzestan province. Graduate Thesis, Agricultural Extension and Training, Agricultural Faculty, Tarbiat Modarres University, Iran. (In Persian with English Summary)

BeheshtiTabar, I., Keyhani, A., and Rafiee, S.H., 2010. Energy balance in Iran's agronomy (1990- 2006). Renewable and Sustainable Energy Review 14:849–855.

Canakci, M., Topakci, M., Akinci, I., and Ozmerzi, A., 2005. Energy use pattern of some field crops and vegetable production: Case study for Antalya region. Turkey. Energy Conversion and Management 46: 655–666.

Erdal, G., Esengun, K., Erdal, H., and Gunduz, O., 2007. Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. Energy 32: 35–41.

Esengun, K., Gunduz, O., and Erdal, G., 2007. Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. Energy Conversion and Management 48: 592–598.

Fartout Enayat, F., Mousavi Neik, A.M., and Asgharipour, M.R., 2017. Investigation on energy efficiency, greenhouse gas emissions and economic analysis of forage sorghum farming in Sistan region. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 27(3): 33-43. (In Persian with English Summary)

Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teymouri, M.S., Sanjani, S., Anvarkhah, S., and Aghel, H., 2011. Energy use and economical analysis of irrigated and dryland wheat production systems in North Khorasan province of Iran. Applied Energy 88: 283-288.

Givens, D.I., Adamson, A.H., and Cobby, J.M., 1988. The effect of ammonization on the nutritive value of wheat, barley and oat straws. II. Digestibility and energy value measurements *in vivo* and their prediction from laboratory measurements. Animal Feed Science and Technology 19: 173-184.

Gundogmus, E., 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in turkey. Energy Conversion and Management 47: 3351-3359.

Karimi, M., BeheshtiTabar, I., and Khubbakht, G., 2008. Energy production in Iran's agronomy. American- Eurasian

Journal of Agricultural and Environmental Sciences 4(2): 172-177.
Khan, S., Khan, M., and Latif, N., 2010. Energy requirements and economic analysis of wheat, rice and barley production in Australia. Soil and Environment 29(1): 61–68.
Maisami, M.A., Ajabshirchi, Y., and Ranjbar, I., 2008. Energy consumption patterns in some agricultural products production and estimation of energy indicators: A case study in Bonab County. Fifth National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. p. 299. (In Persian with English Summary)
Mobtaker, H.G., Keyhani, A., Mohammadi, A., Rafiee, S.H., and Akram, A., 2010. Sensitivity analysis of energy inputs for barley production in Hamedan province of Iran. Agricultural and Ecosystems Environment 137: 367–372
Mohammadi, H., Mousavi, S.N., Kafilzadeh, F., and Rahimi, M., 2005. Productivity of factors and inputs in sugar beet fields of Eghlid city. Sugar Beet Journal 21(3): 31-41. (In Persian with English Summary)
Mohammadi, A., and Omid, M., 2010. Economical analysis and relation between energy inputs and yield of greenhouse cucumber production in Iran. Applied Energy 87: 191-196.
Mohammadi, A., Tabatabaeefar, A., Shahin, S., Rafiee, S., and Keyhani, A., 2008. Energy use and economical analysis of potato production in Iran a case study: Ardabil province. Energy Conversation and Management 49: 3566–3570.
Mohajerdoost, V., Akram, A., and Mashhoori Azar, M., 2008. Energy consumption analysis and production costs of major crops in Maragheh city. Fifth National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization. Ferdowsi University of Mashhad, Iran. p. 287. (In Persian with English Summary)
Mollaee, K., Keyhani, A., Karimi, M., Khairalipour, K., and Ghasemi, V.M., 2008. Energy ratio in dryland wheat. Case study: Eghlid township. Proceeding of 10th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture. August 14-17, Antalya, Turkey. p. 409.
Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Rezvani Moghaddam, P., and Beheshti, A.R., 2007. Journal of Agroecology. Ferdowsi University of Mashhad Press. p. 460. (In Persian with English Summary)
Ozkan. B., Akcaoz, H., and Fert, C., 2004. Energy input-output analysis in Turkish agriculture. Renewable Energy 29: 39-51.
Rahimizadeh, M., Madani, H., Rezadoost, S., and Mehraban, A., 2007. Energy analysis in agricultural systems and ways to increase energy efficiency. Sixth National Energy Conference, 12 and 13 June, Tehran, Iran. (In Persian with English Summary)
Ramazani Amiri, H., and Zibaei, M., 2011. Investigation of the relationship between energy consumption and productivity of tomatoes, cucumbers and melons under cultivation conditions in Firouzabad, Fars province. Journal of Agricultural Economics and Development (Science and Technology of Agriculture) 25(1): 58-65. (In Persian with English Summary)
Razzaghi, M.H., Khadem Alhossaini, N., and Joukar, L., 2007. Investigating the effect of tillage reduction on energy consumption in the production of forage corn. Second national ecological conference of Iran. University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. 25-26 October, Gorgan. (In Persian with English Summary)
Sayedi, M., Rezvani Moghaddam, P., and Shahriari, R., 2015. Evaluating energy efficiency in melon production in Razavi and south Khorasan provinces. Journal of Plant Ecophysiology 20(7): 164-174. (In Persian with English Summary)
SAS., 2002. Procedures Guide. SAS Institute, Cary, NC.
Singh. G., Singh, S., and Singh, J., 2004. Optimization of energy inputs for wheat crop in Punjab. Energy Conversation and Management 45: 453–465.
Taheri Rad, A.R., Khojastehpour, M., Rouhani, A., and Khoramdel, S., 2017. Investigation of energy efficiency of different cultivars of long grain rice in Golestan province. Cereal Research Journal 7(1): 51-66. (In Persian with English Summary)
Valadyani, A.R., Hassanzadeh Ghoortapeh, A., and Valadyai, R., 2005. Evaluation of energy balance in seed propagation farms of east Azarbaijan wheat crop and its impact on the environment. Journal of Agricultural Science 15(2): 12-1. (In Persian with English Summary)
Yilmaz. I., Akcaoz, H., and Ozkan, B., 2005. An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. Renewable Energy 30: 145-155.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 433-445

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۴۵-۴۳۳

Evaluation of Energy Efficiency Indices According to Wheat (*Triticum aestivum* L.) based Crop in Conservation Agricultural Systems in Temperate Climate Region (A Case Study: Gonabad)

H. Tavakoli Kakhki[1*] and M. Ghodsi[2]

Submitted: 16-04-2019
Accepted: 22-06-2019

Tavakoli Kakhki, H., and Ghodsi, M., 2020. Evaluation of energy efficiency indices according to wheat (*Triticum aestivum* L.) based crop in conservation agricultural systems in temperate climate region (A case study: Gonabad). Journal of Agroecology 12(3):433-445.

Introduction

The relation between agriculture and energy is very tight. Agriculture itself is an energy user and energy supplier in the form of bio-energy. Energy consumption in agriculture has intensified in response to increasing populations, limited supply of arable land and desire for an increasing standard of living. In all societies, these factors have encouraged an increase in energy inputs to maximize yields, minimize labor-intensive practices, or both. Effective use of energy is one of the conditions for sustainable agricultural production, since it provides financial savings, fossil resources preservation and air pollution reduction. In developing countries, agricultural growth is essential to fostering economic development. In Iranian economy, more than 33% of the total population is engaged in agriculture sector. Recent years with the rise in world energy prices the governments has taken steps to reduce fuel and energy consumption. Energy in agricultural sector are divided into two groups of direct and indirect, direct energy is required to perform various tasks related to crop production processes such as land preparation, irrigation, threshing, harvesting and transportation of outputs. Indirect energy consists of the energy used in the manufacture of fertilizers, seeds, herbicides and farm machinery and so on. Recently, application of integrated production methods are recently considered as a means to reduce production costs, to efficiently use human labor and other inputs and to protect the environment.

Materials and Methods

This research was carried out to evaluate the effect of conservation agriculture system on energy indices in conventional rotation systems including wheat, barley and cotton. The experiment was conducted at Gonabad Research Station as a moderate climate condition between 2012 and 2016 by using split plot design in a randomized complete block design (CBD) with three replications. Two substantial criteria were investigated such as different tillage methods including conventional plowing, reduction of tillage (Minimum tillage) and direct cultivation (No tillage) as a main plots, as well asamount crop residue involving absence of residues 30 and 60%of the remains as a subplots. The area for each subplot and main plot was 600 and 1800 m^2, respectively. In this study, energy indices were calculated using equations. Besides, data analysis and mean comparisons were performed via SAS (SAS, 2002) software and Duncan test, respectively.

Results and Discussion

According to results, electricity, chemical fertilizers and fuel inputs shared the highest energy consumption from the total amount of energy in the conventional crop rotation with 43, 23 and 12%, respectively. On the other hand, the lowest energy consumption related to the input of human resources with an average of 0.7%. In addition, variance evaluation and statistical analysis of energy indices demonstrated that only energy efficiency index for wheat and barley at level ($p \leq 0.05$) dramatically affected by tillage methods. . However, the effect of residues and interaction between soil tillage × residues on other energy indices was not significant. Comparison of average values of energy use efficiency index in the conventional rotation illustrated that the highest and lowest values of this index were observed in two methods without soil tillage or direct planting and soil tillage or

1 and 2- Instructor and Associate Professor Researcher of Agronomical and Horticultural Science Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi, AREEO,Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hamidre@gmail.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.80119

customary tillage. Therefore, the average of energy use efficiency index for wheat and barley crops in non-tillage method was represented increasing 21 and 9%, respectively, than that of conventional tillage and minimum tillage methods.

Conclusion

Consequently, based on data analysis, it seems that the implementation of conservation agricultural systems with various tillage procedures (non – tillage or minimum tillage) to enhane energy use efficiency is exclusively recommended for wheat and barley agronomic systems in climate condition of this study.

Keywords: Crop residue, Crop rotation, Energy use efficiency, Tillage.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 447-467

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۶۷-۴۴۷

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی بهبود عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد

کاظم خاوازی[۱]، ولی فیضی اصل[۲*]، محمدحسین سدری[۳]، علی اشرف طلیعی[۴]، جعفر گوهرگانی[۵]، محمد اسماعیلی[۶] و رضا سلیمانی[۷]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۸/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۰۳

خاوازی، ک.، فیضی اصل، و.، سدری، م.ح.، طلیعی، ع. ، گوهرگانی، ج.، اسماعیلی، م.، و سلیمانی، ر.، ۱۳۹۹. ارزیابی بهبود عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) با استفاده از مایه تلقیح باکتری‌های محرک رشد. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۶۷-۴۴۷.

چکیده

به‌منظور ارزیابی اثر باکتری‌های محرک رشد گیاه در افزایش عملکرد گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۵ باکتری محرک رشد با یک شاهد در چهار تکرار و در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم مراغه، قاملو، سرارود، گچساران، خدابنده و شیروان چرداول در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ به‌اجرا در آمد. نتایج نشان داد، تلقیح باکتری‌های محرک رشد توانست عملکرد دانه گندم دیم را در هر شش ایستگاه افزایش دهد که این افزایش در اغلب مکان‌های آزمایشی از لحاظ آماری معنی‌دار بود. حداکثر افزایش عملکرد دانه در مراغه، کرمانشاه، کردستان، ایلام، زنجان و گچساران به‌ترتیب به‌میزان ۱۹/۶، ۴۵/۱، ۱۲/۴، ۱۸/۴، ۱۰/۲ و ۱۱/۶ درصد بود که متوسط این افزایش برای مطلوب‌ترین باکتری‌های محرک رشد در مناطق مورد مطالعه ۳۸۲ کیلوگرم در هکتار بود. با روش GGE بای‌پلات باکتری‌های محرک رشد به دو گروه دارای عملکرد بالا (تیمارهای شماره ۲، ۳، ۶، ۸، ۹ و ۱۰) و پائین (تیمارهای شماره ۱، ۴، ۵، ۷، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶) و مکان‌های مورد مطالعه به سه گروه (گروه اول کردستان و گچساران، گروه دوم مراغه، زنجان و ایلام و گروه سوم کرمانشاه) تفکیک شد. مناسب‌ترین تیمار برای گروه کردستان و گچساران شماره ۹، برای مراغه، زنجان و ایلام شماره ۲ و برای کرمانشاه شماره ۵ بود، امّا چنانچه هدف معرفی تنها یک باکتری محرک رشد برای کل مناطق باشد، مایه تلقیح شماره ۹ مناسب‌ترین است. بنابراین استنباط می‌شود، از باکتری‌های محرک رشد می‌توان در بهبود عملکرد گندم دیم در دیمزارهای ایران استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بهبود عملکرد، تلقیح بذر، GGE بای‌پلات.

مقدمه

در اکثر جوامع بشری، گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان

۱- استاد مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استادیار مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران.
۳- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران.
۴- مربی پژوهشی معاونت مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمانشاه، ایران.
۵- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کهگیلویه و بویراحمد، ایران.
۶- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران.
۷- استادیار مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: Vfeiziasl@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.68276

یک محصول راهبردی تأمین‌کننده اصلی جیره غذایی و بخش اعظم پروتئین و کالری مورد نیاز افراد جامعه به شمار می‌آید. سالیانه حدود ۴/۵ میلیون هکتار (۶۲ درصد سطح زیر کشت گندم) از اراضی در چرخه تولید و ۳۳ درصد تولید گندم در ایران به گندم دیم اختصاص می‌یابد که تولید آن وابسته به نزولات جوی و مسائل اقلیمی و مدیریتی است و توجه ناکافی به مسائل دیم موجب خسارات جبران‌ناپذیر به این اراضی می‌شود (Ministry of Agriculture Jihad, 2015). با توجه به این‌که بخش اعظمی از این اراضی کم‌بازده بوده و تولیدات آن کمتر از ۷۰ درصد پتانسیل نظری این محصول است، لذا بهبود عملکرد این گیاه می‌تواند نقش بسزایی در خودکفایی کشور و ارتقاء وضعیت اقتصادی تولیدکنندگان گندم دیم داشته باشد. اگر چه اعتقاد بر این است که عملکرد دانه گندم از دهه ۱۹۵۰ در کشور ما نیز همانند سایر کشورها افزایش چشمگیری داشته است و حدود نیمی از این بهبود عملکرد از طریق پیشرفت ژنتیکی و نیمی دیگر به‌دلیل فن‌آوری‌ها و عملیات زراعی بوده است (Reynolds et al., 2004; Slafer & Satorre, 1999)، امّا به نظر می‌رسد تا نزدیک شدن به پتانسیل ژنتیکی این محصول، باید تحقیقات گسترده‌ای در خصوص مسائل به‌زراعی و رفع موانع بهبود عملکرد گندم دیم انجام پذیرد. یکی از مناسب‌ترین و مفیدترین راهکارها در این خصوص، استفاده از فن‌آوری زیستی و ترکیبات غیرآلاینده محیط زیست به‌ویژه باکتری‌های تولیدکننده محرک‌های رشد گیاهی است. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه[1] (PGPR) قادرند در طول فصل رشد با استفاده از مکانیسم‌های مختلف، در یک یا چند مرحله شاخص‌های مختلف رشد را بهبود بخشیده و در نهایت، منجر به افزایش کمّی و کیفی عملکرد در گیاهان مختلف از جمله گندم شوند (Ahemad & Kibret, 2014). این گروه از باکتری‌ها به‌طور طبیعی در خاک‌ها وجود دارند، ولی تعداد و تراکم آن‌ها در خاک پایین است، بنابراین تلقیح بذرهای گیاهان با این باکتری‌ها می‌تواند جمعیت آن‌ها را به حد مطلوب رسانده و در نتیجه، منجر به بروز اثر مفید آن‌ها در خاک گردند (Nazarly & Seyed Sharifi, 2013). افزایش درصد جوانه‌زنی، افزایش سطح سبز مزرعه، استقرار بهتر گیاهچه‌ها، بهبود ساختمان خاک و جذب عناصر غذایی، زیست‌پالایی[2] خاک‌های آلوده از طریق جداسازی گونه‌های مختلف فلزات سنگین (کروم، نیکل و ...)، کاهش ترکیبات بیگانه‌زی[3] در خاک، تعدیل اثر نامطلوب انواع تنش‌های زیستی و غیرزیستی (pH اسیدی، تنش اسمزی، تنش رطوبتی و محدودیت کربن) از طریق تعدیل و تنظیم تولید اکسین، تغییر زمان گل‌دهی، بهبود بسیاری از شاخص‌های رشد مانند ارتفاع گیاه، سطح برگ و ...، حفظ سلامت گیاه در مقابل بیمارگرهای ریشه و بالاخره افزایش عملکرد از مهم‌ترین مزایای استفاده از این باکتری‌ها است (Çakmakçi et al., 2014; Fallahi et al., 2015; Majeed et al., 2015).

گیاهان گرامینه مانند گندم برخلاف گیاهان دولپه‌ای قادر نیستند که در شرایط کمبود مواد غذایی، مقدار اسیدهای آلی موجود در تراوه‌های ریشه‌ای را از قبیل سیترات، مالات، اگزالات و استات افزایش دهند (Marschner & Römheld, 1994). این ترکیبات نقش مهمی را در جذب فسفر و آهن و همچنین افزایش عملکرد دارند، لذا تلقیح بذور گندم با سویه‌های PGPR و بررسی تأثیر آن‌ها روی جذب عناصر غذایی از خاک توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است (Mäder et al., 2011; Rosas et al., 2009; Sharma et al., 2011). مادر و همکاران (Mäder et al., 2011) با بررسی عکس‌العمل گندم به تلقیح با قارچ‌های میکوریز و باکتری‌های محرک رشد گیاه شامل دو *سودوموناس فلورسنت* به نام‌های *Pseudomonas jessenii* و *Pseudomonas synxantha* در هفت منطقه در هندوستان گزارش کردند، این عمل ۳۱ درصد عملکرد گندم را نسبت به شاهد (بدون تلقیح) افزایش داد. همچنین تلقیح موجب افزایش میزان پروتئین خام دانه (نیتروژن × ۵/۷)، غلظت عناصر غذایی و شاخص‌های کیفی خاک مانند فعالیت آنزیم‌های فسفاتاز قلیایی و اسیدی، اوره‌آز و دئیدروژناز شد. شارما و همکاران (Sharma et al., 2011) نیز افزایش معنی‌دار فعالیت‌های آنزیمی خاک، جذب عناصر غذایی توسط گیاه و عملکرد دانه گندم را در شرایط مزرعه‌ای با تلقیح باکتری‌های محرک رشد سودوموناس جدایه‌های *Pseudomonas* spp. گزارش نمودند. افزایش عملکرد گندم در اثر تلقیح بذور آن با باکتری‌های محرک رشد را پژوهشگران زیادی مورد تأیید قرار داده‌اند (Ahemad & Kibret, 2014; Çakmakçi et al., 2014; Jarak et al., 2006; Majeed et al., 2015; Lucy et al., 2004; Yousefpoor et al., 2014).

1- Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR)
2- Bioremediation
3- Xenobiotic materials

باکتری‌های محرک رشد به‌راحتی به‌طرف ریشه گیاهان حرکت کرده و نقش مهمی را در کلونیزه کردن ریشه دارند. به‌طور کلی میزان کلونیزاسیون ریشه با سرعت رشد نسبی ریشه و باکتری‌ها ارتباط دارد. خالد و همکارن (Khalid et al., 2004) با بررسی توانایی تولید اکسین در سویه‌های PGPR و اثر آن بر گندم نتیجه گرفتند که طول ریشه، وزن خشک ریشه، طول اندام‌های هوایی و وزن خشک اندام‌های هوایی بذور تلقیح شده به‌ترتیب به‌میزان ۱۷/۳، ۱۳/۵، ۳۷/۷ و ۳۶/۳ درصد افزایش یافت. همچنین آن‌ها همبستگی مثبت و خطی (r=0.99) بین میزان تولید اکسین و پارامترهای رشد را در گیاه گزارش نمودند. در تحقیقی دیگر باربیر و گیل (Barbieri & Galli, 1993) افزایش طول و تعداد ریشه‌های جانبی و تراکم تارهای کشنده گیاه گندم را در اثر تلقیح سویه‌های PGPR گزارش کردند. همچنین آن‌ها بیان داشتند، کارایی استفاده از آب و مواد غذایی در تیمارهای تلقیح شده به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. الیوت و همکاران (Elliott et al., 1985) گزارش کردند که ریشه‌های تیره غلات به‌طور فراوان با سودوموناس‌ها کلونیزه می‌شوند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که تعداد زیادی از سودوموناس‌های آنتاگونیست، ریشه‌های گندم را کلونیزه می‌کنند. این *سودوموناس‌های* کلونیزه‌کننده ریشه از این طریق موجب کاهش جمعیت قارچ‌ها و باکتری‌ها در ریزوسفر می‌شوند. همچنین ثابت شده است که تولید سیدروفورها نیز نقش مهمی در کلونیزاسیون ریشه دارد. باکتری‌های ریزوسفری محرک رشد گیاه با جلوگیری از تکثیر پاتوژن‌های گیاهی و حفاظت گیاه در مقابل عوامل بیماری‌زا از طریق سنتز آنتی‌بیوتیک‌ها و ترکیباتی مانند HCN (سیانید هیدروژن) نقش مؤثری در بهبود عملکرد گیاه دارند. باکتری‌های خاک به‌ویژه سودوموناس‌ها، ترکیباتی با وزن مولکولی پایین تولید می‌کنند که پتانسیل ضد قارچی دارند و سبب کنترل برخی بیماری‌ها مانند بیماری پاخوره[1] در گندم می‌شوند (Duffy & Deeago, 1999; Vlassak et al., 1992). با توجه به اهمیت ریشه در جذب عناصر غذایی به‌ویژه آب در شرایط دیم، می‌توان نقش مؤثر PGPR را در بهبود وضعیت ریشه در شرایط تنش رطوبتی به‌ویژه خشکی آخر فصل در شرایط دیم پیش‌بینی نمود، بر این اساس مقرر گردید، اثر تعدادی از سویه‌های PGPR جداسازی شده در مؤسسه تحقیقات خاک و آب در قالب پژوهش حاضر جهت بهبود عملکرد گندم دیم در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم مناطق سرد، معتدل و گرم ایران مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۱۶ تیمار، در چهار تکرار و به‌مدت یک سال زراعی (۸۹-۱۳۸۸) در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۱۵ باکتری ریزوبیومی محرک رشد گیاه (PGPR) آماده‌سازی شده در بخش تحقیقات بیولوژی خاک مؤسسه تحقیقات خاک و آب و یک شاهد بدون تلقیح باکتری بود.

ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم محل اجرای این آزمایش طوری انتخاب شدند که سویه‌های مورد نظر در اقلیم‌های مختلف از سرد تا کاملاً گرم مورد بررسی قرار گیرند. ایستگاه مراغه، قاملو (کردستان) و خدابنده (زنجان) به‌عنوان ایستگاه‌های مناطق سرد، سرارود (کرمانشاه) به‌عنوان ایستگاه معتدل، شیروان چرداول (ایلام) به‌عنوان ایستگاه نیمه‌گرمسیری و گچساران به‌عنوان ایستگاه گرمسیری انتخاب شد (جدول ۱).

قبل از کاشت از محل اجرای آزمایش از عمق صفر الی ۲۵ سانتی‌متری نمونه خاک به‌روش مرکب تهیه شد (جدول ۲).

باکتری در محیط کشت مایع TSB تلقیح شد و پس از رسیدن باکتری به غلظت مناسب 1×10^9 باکتری در میلی‌لیتر سانتریفیوژ و در بافر سوسپانسیون گردید. از باکتری‌های تهیه شده به‌صورت بذرمال در مایه‌زنی بذور مورد استفاده قرار گرفت. باکتری‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل سویه‌های شماره ۴۱، ۱۰۸، ۱۰۳، ۱۶۸، ۱۱، ۱۵۹ و ۱۷۷ *سودوموناس پوتیدا* و سویه‌های ۷۳، ۹۹، ۹۳، ۱۶۹، ۱۸۷، ۱۳۶ و ۱۲۰ *سودوموناس فلورسنس* بودند.

بذر گندم از رقم دیم آذر ۲ و با تراکم ۳۵۰ دانه در مترمربع، در عمق پنج تا هفت سانتی‌متری با استفاده از دستگاه کاشت آزمایشی (وینتراشتایگر) کشت شد. عرض کرت‌ها ۲/۴ متر (۱۲ ردیف کشت با فاصله ردیف‌های ۲۰ سانتی‌متر) و طول آن‌ها هفت متر در نظر گرفته شد. فاصله بین کرت‌ها نیم متر و فاصله بین بلوک‌ها دو متر بود.

نیتروژن مورد نیاز گندم دیم به‌میزان ۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار از منبع اوره (Feiziasl & Pourmohammad, 2014; Feiziasl et al., 2014) و در صورت نیاز فسفر بر اساس کمبود از حد بحرانی این عنصر غذایی از ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم از منبع

1- Take-all

سوپرفسفات تریپل (Feiziasl et al., 2004) و پتاسیم بر اساس کمبود از حد بحرانی آن از ۲۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک از منبع سولفات دو پتاس (Malakouti & Gheybi, 1997) به‌صورت یکنواخت برای تمامی تیمارهای آزمایشی و به‌صورت جای‌گذاری در پائیز هم‌زمان با کاشت محاسبه و مصرف گردید. حد بحرانی عناصر کم مصرف آهن، منگنز، روی، مس و بور در این پژوهش به‌ترتیب ۸/۵، ۱۱، ۰/۹، ۱/۷ و ۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم در نظر گرفته شد (Feiziasl et al., 2009) که در صورت کمبود، به‌ترتیب از منابع سکوسترین آهن، سولفات منگنز، سولفات روی، سولفات مس و اسید بوریک محاسبه و هم‌زمان با کاشت و به‌همراه کودهای دیگر به‌صورت جای‌گذاری تأمین گردید.

در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (GS_{91}) ابتدا صفات گیاهی از قبیل متوسط تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته، تعداد سنبله در واحد سطح (چهار ردیف یک متری در هر کرت)، طول سنبله (بدون لحاظ ریشک‌های انتهایی) و تعداد دانه در سنبله اندازه‌گیری و سپس دو ردیف کناری و ۰/۵ متر از انتهای دو طرف کرت‌ها به‌منظور از بین بردن اثر حاشیه‌ای احتمالی حذف و باقی‌مانده کرت‌ها برای تعیین عملکرد بیولوژیک و دانه به‌صورت دستی (کف‌بر) برداشت و پس از توزین، عملکرد بیولوژیک خرمن‌کوبی و عملکرد دانه و کاه و وزن هزار دانه تعیین گردید.

داده‌های جمع‌آوری شده از این آزمایش ابتدا به‌صورت جداگانه و پس از آزمون یکنواختی واریانس‌ها به‌صورت مرکب با استفاده از نرم‌افزار GenStat12 تجزیه و تحلیل و مقایسات میانگین‌ها از طریق آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین به‌منظور تجزیه و تحلیل اثر متقابل تیمارهای آزمایشی (PGPR) و محیط (مکان‌های آزمایشی) از روش آماری GGE بای‌پلات به‌کمک نرم‌افزار GenStat 12 استفاده شد (Yan et al., 2000).

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸

Table 1- Climate data in dryland agricultural research stations in cropping year (2009-2010)

مکان Location	متوسط رطوبت نسبی هوا Relative humidity (%)	میزان بارش Rainfall (mm)	متوسط دما Mean Temperature (°C)	متوسط حداقل دما Mean Min. Temperature (°C)	متوسط حداکثر دما Mean Max. Temperature (°C)	تبخیر Evaporation (mm)
مراغه Maragheh	61.6	498.2	6.8	2.9	11.5	669.3
قاملو Ghamlo	49.3	424.2	8.7	1.6	16.3	928.4
سرارود Sararood	56.4	455.7	11.7	4.9	19.0	776.4
خدابنده Khodabandeh	55.0	514.7	8.9	4.1	14.3	538.8
گچساران Ghachsaran	52.0	402.8	20.2	13.3	28.6	1186.5
شیروان چرداول Shirvan Chardavool	59.8	511.6	14.5	8.7	22.9	897.7

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک قبل از کاشت در عمق ۲۵-۰ سانتی‌متری

Table 2– Soil physical and chemical characteristics before sowing in 0-25 cm depth

عمق Depth (cm)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ (%)	کربن آلی Organic C (%)	نیتروژن کل Total N (%)	بافت Ttexture	فسفر P	پتاسیم K	آهن Fe	منگنز Mn	روی Zn	مس Cu
							($mg.kg^{-1}$)					
مراغه Maragheh	7.7	0.48	5.1	0.41	0.07	Clay loam	5.8	480	7.6	13.6	1.1	2.3
قاملو Ghamlo	7.8	0.41	16.4	0.40	0.06	Clay	12.4	360	2.7	8.0	0.6	1.6
سرارود Sararood	7.7	0.31	24.7	1.01	0.21	Silty loam	8.0	530	2.0	2.4	0.4	0.7
خدابنده Khodabandeh	7.9	1.10	15.0	0.61	0.06	Silty clay	14.6	434	5.3	11.7	1.8	1.7
گچساران Ghachsaran	7.3	0.75	32.5	0.79	0.08	Silty clay loam	7.0	322	6.8	16.1	1.9	1.4
شیروان چرداول Shirvan Chardavool	7.4	0.32	27.0	0.94	0.09	Silty loam	11.0	185	3.8	4.6	0.9	1.1

نتایج و بحث

الف) عملکرد و اجزای عملکرد

نتایج تجزیه مرکب عملکرد و اجزای عملکرد نشان داد، اثر مکان روی تمامی صفات مورد مطالعه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و از لحاظ این صفات بین مکان‌های مورد مطالعه تفاوت وجود داشت. اثر تیمارهای آزمایشی روی عملکرد دانه، شاخص برداشت، درجه باردهی، ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد و روی عملکرد بیولوژیک و تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل تیمار در مکان آزمایشی تنها روی شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

ب) اثر مکان‌های آزمایشی بر عملکرد و صفات گیاهی

بیشترین عملکرد بیولوژیک با ۹۲۶۳ و ۸۳۲۷ کیلوگرم در هکتار به‌ترتیب از کرمانشاه و کردستان به‌دست آمد که از لحاظ آماری در کلاس برتر (a) قرار داشتند و کمترین این صفت به‌میزان ۴۹۹۱ کیلوگرم در هکتار به مراغه اختصاص یافت. بنابراین در ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به ایستگاه مراغه تولید شد. از لحاظ عملکرد دانه ایلام و کردستان بیشترین تولید را داشتند که از لحاظ آماری در کلاس مشابه (a) قرار گرفتند و دو ایستگاه کرمانشاه و مراغه از لحاظ آماری عملکرد دانه کمتری (کلاس b) نسبت به دو ایستگاه یاد شده داشتند. با مقایسه این نتایج، ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان به‌ترتیب ۳۸، ۸ و ۳۰ درصد تولید دانه بیشتری نسبت به ایستگاه مراغه داشتند که این افزایش در مقایسه با افزایش عملکرد بیولوژیک و کاه برای دو ایستگاه کرمانشاه و کردستان بسیار ناچیز می‌باشد. بیشترین میزان عملکرد کاه همانند عملکرد بیولوژیک با ۷۱۱۹ کیلوگرم در هکتار از ایستگاه کرمانشاه (کلاس a) و سپس ایستگاه‌های کردستان، ایلام و مراغه به‌دست آمد که هرکدام از ایستگاه‌ها از لحاظ آماری در کلاس متفاوتی قرار گرفتند. همچنین افزایش عملکرد کاه ایستگاه‌های ایلام، کرمانشاه و کردستان نسبت به ایستگاه مراغه به‌ترتیب ۳۹، ۱۳۶ و ۹۱ درصد بود (جدول ۴). رابطه بین میزان بارندگی سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ (متغیر مستقل) با عملکرد دانه (متغیر وابسته) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم نشان داد که با افزایش میزان بارندگی سالیانه، عملکرد دانه نیز به‌صورت خطی افزایش ($p < 0/01$) یافت. مطابق این رابطه، با افزایش هر میلی‌متر بارندگی سالیانه (معادل ۱۰ مترمکعب بارش در هکتار)، عملکرد دانه گندم دیم به‌میزان ۸/۱۲ کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (شکل ۱- الف). لذا استنباط می‌شود که عمده تغییرات عملکرد دانه گندم دیم بین ایستگاه‌های مختلف، وابسته به تغییرات بارندگی بوده است. فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2010 a) با تجزیه و تحلیل آمار هواشناسی بلندمدت منطقه مراغه به این نتیجه رسیدند که اولاً میزان بارندگی رابطه مستقیمی با عملکرد دانه گندم دیم دارد و با افزایش هر میلی‌متر بارندگی، عملکرد دانه گندم دیم ۲/۶ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد. ثانیاً مهم‌ترین عوامل اقلیمی محدودکننده تولید گندم دیم به‌ترتیب متوسط دمای سالیانه و میزان بارندگی است که با افزایش میزان بارندگی سالیانه، عملکرد دانه گندم دیم نیز به‌صورت خطی افزایش می‌یابد. توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2013) چنین رابطه‌ای را بین میزان بارندگی سالیانه و عملکرد جو (*Hordeum vulgare* L.) دیم گزارش کردند. آن‌ها بیان داشتند که با افزایش هر میلی‌متر بارندگی، عملکرد دانه جو دیم ۲/۵ کیلوگرم در هکتار افزایش می‌یابد که این مقدار کمتر از یک سوم افزایش عملکرد دانه برای گندم دیم در پژوهش حاضر است. تاتاری و همکاران (Tatari et al., 2009) نیز با تجزیه و تحلیل داده‌های ۲۰ ساله (۸۳-۱۳۶۲) مناطق دیم‌کاری استان خراسان به این نتیجه رسیدند که مقادیر بارندگی در تعدادی از ماه‌های سال (فروردین، خرداد، آبان و اسفند) عملکرد گندم دیم را توجیه می‌نماید. طلیعی و بهرامی (Talliee & Bahrami, 2003) معتقدند بارندگی‌های ماه‌های فروردین و اردیبهشت بیش از ۵۰ درصد از تغییرات عملکرد دانه گندم دیم را در استان کرمانشان توجیه می‌نماید. نتایج این پژوهشگران، با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر در خصوص ارتباط میزان بارندگی با عملکرد دانه گندم دیم مطابقت می‌نماید.

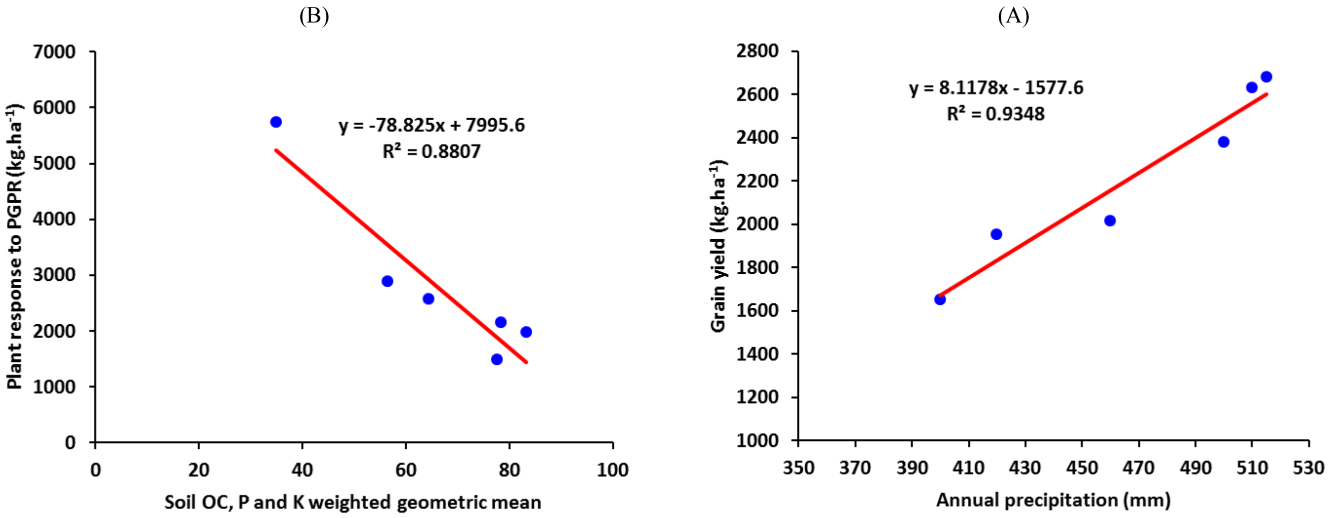
بیشترین شاخص برداشت بر عکس عملکرد کاه، از مراغه و ایلام به‌دست آمد که در کلاس برتر (a) قرار داشتند و کمترین این صفت با ۰/۲۳۵ به ایستگاه کرمانشاه تعلق داشت. این نتایج نشان داد که سهم عملکرد اقتصادی از کل فتوسنتز انجام گرفته به‌ترتیب در ایستگاه کرمانشاه و کردستان کمترین مقدار بوده و در ایستگاه‌های مراغه و ایلام نیز بیشترین بوده است که نتایج درجه باردهی نیز دقیقاً با نتایج

شاخص برداشت مطابقت دارد و این موضوع را تأیید می‌نماید (جدول ۴). بررسی وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین این صفت از کردستان در کلاس برتر (a) و کمترین آن از ایلام به‌دست آمد. بیشترین تعداد سنبله در واحد سطح از کردستان و کمترین این صفت از ایلام گزارش شد. این در حالی است که بیشترین تعداد دانه در سنبله از ایلام و کمترین آن از مراغه گزارش شد (جدول ۴). این نتایج نشان داد، بین اجزای عملکرد گندم (وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در سنبله) و عملکرد دانه نمی‌توان رابطه منطقی تعریف نمود، این در حالی است که نتایج پژوهش‌های انجام گرفته پیشین نشان می‌دهد که عملکرد گندم دیم از سه جزء یاد شده، بیشتر وابسته به تعداد سنبله در واحد سطح می‌باشد، امّا در گندم آبی تغییرات عملکرد دانه بیشتر وابسته به وزن هزار دانه است (Feiziasl et al., 2014). شاید دلیل این تفاوت تجمیع داده‌های مربوط به ایستگاه‌های مناطق سرد و نیمه‌سرد با مناطق گرم و نیمه‌گرم در پژوهش حاضر علی‌رغم یکنواختی اشتباه‌های آزمایشی این ایستگاه‌ها بوده است، زیرا که در مناطق سرد و همچنین در شرایطی که رطوبت خاک کافی باشد، تعداد سنبله در واحد سطح جزئی از عملکرد است که بیشترین اثر را در تولید محصول دارد. در حالی که در شرایط تنش خشکی و مناطق گرم، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه سهم بیشتری در تولید عملکرد دارند (Feiziasl et al., 2014; Tavakkoli, 2013). معمولاً ارقامی که تعداد پنجه‌های بیشتری دارند، تعداد سنبله در واحد سطح آن‌ها نیز افزایش می‌یابد، در این صورت دو جزء دیگر عملکرد یعنی تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه کاهش پیدا می‌کند. اجزای عملکرد، صفات کمّی پیچیده‌ای هستند و توسط تعداد زیادی ژن کنترل می‌شوند که تحت تأثیر محیط قرار می‌گیرند (Ghobadi et al., 2007).

ج) اثر تیمارهای PGPR بر عملکرد و صفات گیاهی

نتایج مقایسه میانگین صفات گیاهی برای تیمارهای مورد مطالعه نشان داد که تیمار شماره ۱۱ (PGPR شماره ۱۳۶) بیشترین مقادیر عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه را در بین تیمارهای مورد آزمایش PGPR به خود اختصاص داد که این افزایش نسبت به شاهد (بدون تلقیح) به‌ترتیب ۱۳/۷، ۲۰/۵ و ۱۰/۶ درصد و از لحاظ آماری برای عملکرد دانه (p<۰/۰۱) و بیولوژیک (p<۰/۰۵) معنی‌دار بود. کمترین مقادیر عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه به‌ترتیب از PGPR شماره ۱۳۶، ۱۳۶ و ۱۸۷ به‌دست آمد. مطابق این نتایج از ۱۵ تیمار مورد ارزیابی (بدون احتساب شاهد)، ۱۰ تیمار عملکرد بیولوژیک بیشتری نسبت به شاهد داشتند که میانگین عملکرد بیولوژیک این تیمارها ۷۵۸۱ کیلوگرم در هکتار بود که در مقایسه با شاهد به‌طور متوسط شش درصد افزایش داشت. در خصوص عملکرد دانه، ۱۳ تیمار از ۱۵ تیمار مورد ارزیابی عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد داشتند که متوسط عملکرد دانه آن‌ها ۲۳۹۵ کیلوگرم در هکتار بود که ۷/۶ درصد نسبت به شاهد افزایش داشت. این در حالی است که تعداد و تیمارهای دارای عملکرد کاه بیشتر، دقیقاً مشابه با تیمارهای عملکرد بیولوژیک (۱۰ تیمار) با متوسط مقدار ۵۱۷۰ کیلوگرم در هکتار بود که افزایش عملکرد کاه به‌طور میانگین در این تیمارها ۵/۱ درصد نسبت به شاهد بود (جدول ۵). پژوهشگران زیادی افزایش عملکرد گندم را با تلقیح PGPR در شرایط مزرعه‌ای گزارش کرده‌اند (Çakmakçi et al., 2014; Khalid et al., 2004; Kumar et al., 2014; Majeed et al., 2015; Shaharoona et al., 2008; Sharma et al., 2011) که با نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر کاملاً مطابقت دارد. شهارونا و همکاران (Shaharoona et al., 2008) معتقدند، اثربخشی تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) در سطوح پائین مصرف کودهای NPK افزایش می‌یابد، زیرا در چنین شرایطی فعالیت زیاد ۱- آمینوسیکلوپروپان ۱-کربوکسیلات[1] (ACC) دی‌آمین‌آز باعث تولید کمتر بازدارنده رشد اتیلن در ریشه‌ها از طریق هیدرولیز ACC به NH_3 و آلفاکتوبوتیرات شده و این موضوع باعث افزایش رشد می‌شود. این امر می‌تواند اهمیت بیشتر استفاده از PGPR را در اراضی کم‌بازده دیم‌زارهای کشور با سطوح پائین عناصر غذایی به‌خوبی توجیه نماید. رابطه بین میانگین حسابی موزون بین کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک موجود در شش ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم کشور به‌عنوان متغیر مستقل با میانگین پاسخ گندم دیم به تلقیح با باکتری‌های محرک رشد (PGPR) به‌عنوان متغیر وابسته نشان داد، این رابطه از نوع خطی منفی و معنی‌داری (p<۰/۰۱) است (شکل ۱-ب). به‌تعبیر دیگر، با افزایش سطح حاصلخیزی خاک در ایستگاه‌های تحقیقاتی، پاسخ گندم دیم به تلقیح PGPR به‌صورت خطی کاهش یافته است که این نتایج با نتایج شهارونا و همکاران (Shaharoona et al., 2008) مبنی بر اثربخشی تلقیح PGPR در سطوح پائین حاصلخیزی خاک کاملاً مطابقت دارد و اهمیت بیشتر PGPR را در چنین اراضی نشان می‌دهد.

1- Aminocyclopropane-1- carboxylate (ACC)



شکل ۱- رابطه بین میزان بارندگی سالیانه با عملکرد دانه (A) و میانگین وزنی موزون کربن آلی، فسفر و پتاسیم خاک با پاسخ گیاه به تلقیح PGPR (B) در ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم کشور

Fig. 1- Relationship between annual precipitation and grain yield (A) and soil organic matter (OC), P (av.) and K (av.) weighted geometric mean and plant response to PGPR (B) in Iran's dryland research stations

نتایج مقایسه میانگین شاخص برداشت برای تیمارهای آزمایشی نشان داد، حجم مواد فتوسنتزی اختصاص یافته به بخش اقتصادی گیاه (عملکرد دانه) در PGPR شماره ۱۰۸ (تیمار شماره ۹) بیشترین مقدار را در بین تیمارهای آزمایشی داشت و کمترین این صفت با نسبت ۰/۳۱ مربوط به PGPR شماره ۴۱ بود. به‌تعبیر دیگر، در PGPR شماره ۱۰۸ از کل مواد فتوسنتزی تولید شده نزدیک به ۳۵ درصد آن به عملکرد دانه و ۶۵ درصد به عملکرد کاه تبدیل شده است. از ۱۵ تیمار PGPR مورد بررسی در پژوهش حاضر، ۱۳ تیمار شاخص برداشت بیشتری نسبت به شاهد (به‌طور میانگین ۵/۳ درصد) داشتند که تنها افزایش در یک تیمار (PGPR شماره ۱۰۸) از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری (P<۰/۰۱) با شاهد (بدون تلقیح) داشت که توانست ۸/۴ درصد شاخص برداشت گندم دیم را افزایش دهد (جدول ۵). پژوهشگران زیادی توانسته‌اند با استفاده از باکتری‌های محرک رشد، شاخص برداشت گندم را بهبود بخشند. صابر و همکاران (Saber et al., 2012) با تلقیح بذور با جدایه‌های *سودوموناس* *Pseudomonas putida* و *Pseudomonas fluorescens* توانستند شاخص برداشت گندم را ۴۶/۶ تا ۴۸/۸ درصد افزایش دهند. توران و همکاران (Turan et al., 2010) نیز گزارش کردند، تلقیح بذور گندم با جدایه‌هایی مختلفی از *Bacillus* و *Azospirillum* توانست شاخص برداشت این گیاه را در مقایسه با شاهد و تیمارهای مصرف کود، افزایش دهد. سیدلر و همکاران (Seyedlar et al., 2014) با تلقیح بذور گندم با جدایه‌هایی از *Azotobacter*، *Azospirillum*، *Pseudomonas* و *Bacillus* گزارش مشابهی را روی گندم داشتند، امّا بارنیکس و همکاران (Barneix et al., 2005) با تلقیح بذور گندم با دو جدایه از *Bacillus* بیان داشتند، مصرف نیتروژن و تلقیح بذور با PGPR نتوانست شاخص برداشت گندم را تحت تأثیر قرار دهد. با توجه به اینکه هدف اصلی از اعمال اغلب مدیریت‌های به‌زراعی مانند تلقیح PGPR و مصرف کود، علاوه‌بر بهبود خصوصیات مطلوب ریشه به‌عنوان اندام جذب‌کننده آب و عناصر غذایی و پوشش سبز به‌عنوان اندام‌های فتوسنتزکننده گیاه در شرایط دیم می‌باشد، امّا در نهایت، نباید سهم مواد فتوسنتزی انتقال یافته به بخش اقتصادی گیاه را که درآمد واقعی کشاورز را تأمین می‌نماید، در این میان نادیده گرفت. به‌همین دلیل شاخص برداشت در بین صفات گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین صفت در افزایش عملکرد دانه گندم به شمار می‌آید (Farina et al., 2014). کومار و همکاران (Kumar et al., 2005) نیز معتقدند، افزایش عملکرد بیولوژیک زمانی مؤثر خواهد بود که کربن تولید شده در طی فتوسنتز به‌طرف اندام‌های اقتصادی یا دانه‌ها انتقال یابد. بر این اساس احتمالاً می‌توان PGPR شماره ۱۰۸ را به‌دلیل داشتن

عملکرد بیولوژیک نسبتاً بالا (افزایش ۲۷۵ الی ۱۰۷۱ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین شاخص برداشت، از سویه‌های مناسب برای معرفی در نظر گرفت. در درجه باردهی نیز بیشترین مقدار این صفت (۴۵/۲) به PGPR شماره ۱۰۸ تعلق داشت که این تیمار از لحاظ آماری با تیمار شماره ۱۱ (PGPR شماره ۳۶) در کلاس A قرار داشتند و کمترین این صفت به‌میزان ۴۰/۷ همانند صفت شاخص برداشت به PGPR شماره ۴۱ اختصاص داشت. از ۱۵ تیمار اعمال شده در این پژوهش، شاخص برداشت ۱۳ تیمار نسبت به شاهد برتری (به‌طور میانگین ۴/۹ درصد) داشت که نوع تیمارها نیز دقیقاً مشابه با تیمارهای شاخص برداشت بود (جدول ۵). بنابراین بررسی روند تغییرات شاخص برداشت و درجه باردهی نشان می‌دهد که دو صفت یاد شده به‌دلیل اجزای تشکیل‌دهنده آن‌ها، همبستگی مثبت بالایی ($r=0/94^{**}$) با یکدیگر دارند (جدول ۶). در نتیجه، در مطالعات مشابه می‌توان از یکی از صفات یاد شده برای حجم مواد انتقال یافته به بخش اقتصادی گیاه استفاده نمود.

مطالعه اجزای عملکرد برای سویه‌های مختلف PGPR نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه به سویه‌های شماره ۱۱ و ۱۰۸ اختصاص داشت. برای سویه شماره ۱۱ علاوه‌بر وزن هزار دانه، صفات عملکرد بیولوژیک، دانه و کاه، درجه باردهی، ارتفاع بوته و طول سنبله نیز در بین سویه‌های مورد بررسی بیشترین بود. کمترین وزن هزار دانه از تلقیح سویه شماره ۱۲۰ به‌دست آمد که نسبت به شاهد ۳/۲ درصد کاهش داشت. در خصوص وزن هزار دانه تنها پنج سویه از ۱۵ سویه اعمال شده نسبت به شاهد برتری داشتند که این برتری به‌طور میانگین نزدیک به ۱/۵ درصد بود و از لحاظ آماری با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشت. تعداد سنبله در واحد سطح همانند طول سنبله از جمله صفاتی بودند که اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای آزمایشی از نظر این صفات وجود نداشت و هر ۱۶ تیمار در یک کلاس آماری قرار داشتند، امّا در خصوص تعداد سنبله در واحد سطح، چهار تیمار و برای طول سنبله ۱۳ تیمار نسبت به شاهد برتری نسبی نشان دادند که این تفاوت‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود. صفت تعداد دانه در سنبله به‌عنوان آخرین جزء از اجزای عملکرد دانه گندم برای تیمار شماره ۱۳۶ بیشترین میزان (۲۵/۶ دانه در سنبله) بود و کمترین آن (۲۰/۶ دانه در سنبله) مربوط به تیمار شماره ۱۵۹ بود که این دو تیمار تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند، امّا هیچ‌کدام با شاهد اختلاف معنی‌داری نداشتند. از بین ۱۵ سویه مورد آزمایش تعداد نه سویه تعداد دانه در سنبله بیشتری (به‌طور میانگین ۳/۶ درصد) نسبت به شاهد تولید نمودند که هیچ‌کدام از لحاظ آماری با شاهد تفاوت معنی‌داری نداشتند (جدول ۵). مطابق نتایج حاصل از تجزیه واریانس، به‌منظور افزایش عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن، به نظر می‌رسد رویکرد انتخاب سویه‌های برتر بر اساس درجه باردهی یا شاخص برداشت بالا و همچنین ارتفاع بوته و سنبله بیشتر مناسب باشد که در این صورت احتمالاً معرفی سویه‌های شماره ۱۱ (تیمار ۲) و ۱۰۸ (تیمار ۹) به‌ترتیب مناسب‌ترین و مطمئن‌ترین تیمار در بین تیمارهای مورد بررسی برای مناطق مورد مطالعه خواهد بود.

نتایج همبستگی صفات گیاهی و اجزای عملکرد برای میانگین تیمارهای آزمایشی نشان داد، رابطه بین عملکرد دانه، عملکرد کاه و ارتفاع بوته با عملکرد بیولوژیک مثبت و در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. این در حالی است که عملکرد دانه با درجه باردهی همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد و با شاخص برداشت، ارتفاع بوته و طول سنبله در سطح احتمال پنج درصد رابطه مثبت و معنی‌داری داشت. در خصوص عملکرد کاه، تنها رابطه ارتفاع بوته با این صفت به‌صورت مثبت و در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). بررسی دقیق رابطه رگرسیونی بین میزان افزایش ارتفاع بوته و عملکرد دانه نسبت به شاهد (بدون تلقیح) در ۱۲ سویه مؤثر در افزایش عملکرد دانه نشان داد که این ارتباط از نوع خطی افزایشی و معنی‌دار ($p<0/05$) است. به‌تعبیر دیگر، سویه‌های موفق باعث افزایش ارتفاع بوته تا هفت سانتی‌متر و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه گندم دیم شده‌اند (شکل ۲- الف). پژوهشگران دیگری نیز افزایش ارتفاع بوته گندم را در اثر تلقیح با PGPR و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه گزارش کرده‌اند (Çakmakçı et al., 2007; Sahin et al., 2004). افزایش ارتفاع بوته باعث افزایش سطح سبز و به دنبال آن افزایش فتوسنتز جاری گیاه و ذخیره بیشتر مواد هیدروکربنی در گیاه می‌شود که در صورت نیاز و رخداد تنش رطوبتی به‌ویژه در اواخر فصل رشد هم‌زمان با مرحله پر شدن دانه، امکان انتقال مواد ذخیره‌ای به سنبله و بهبود عملکرد دانه را مهیا می‌سازد (Zhang et al., 2015). فیضی اصل و همکاران (Feiziasl et al., 2010 b) نیز با مطالعه بیش از ۱۰ هزار ژنوتیپ گندم دیم در ایستگاه‌های مناطق سرد و نیمه‌سرد کشور نشان دادند که رابطه بین عملکرد دانه با ارتفاع بوته (تا ۱۲۰ سانتی‌متر) مثبت است و با افزایش ارتفاع بوته عملکرد دانه گندم دیم افزایش می‌یابد. دونمز و همکاران

(Donmez et al., 2001) و وایت و ویلسون (White & Wilson, 2006) نیز رابطه مثبت بین ارتفاع بوته با عملکرد دانه و بیولوژیک را در ژنوتیپ‌های مختلف گندم گزارش کرده‌اند. در خصوص سایر صفات، رابطه شاخص برداشت با درجه باردهی به‌دلیل اشتراک اجزای تشکیل‌دهنده این صفات مثبت و معنی‌دار بود. همچنین رابطه وزن هزار دانه و ارتفاع بوته با طول سنبله در سطح احتمال یک درصد مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۶).

ب) نتایج تجزیه GGE بای‌پلات

نتایج تجزیه مرکب داده‌ها با استفاده از روش GGE بای‌پلات برای گروه‌بندی مناطق مورد مطالعه و تیمارهای PGPR نشان داد که اولاً شش منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر از لحاظ پاسخ به تیمارهای مایه تلقیح به سه گروه مجزا تفکیک شدند. گروه اول شامل مناطق گچساران و کردستان، گروه دوم شامل مناطق مراغه، زنجان و ایلام، و گروه سوم شامل منطقه کرمانشاه بود. ثانیاً در سه گروه تفکیک شده، گندم دیم به تیمارهای مشخصی پاسخ داده است، لذا بر این اساس در گروه اول تیمارهای شماره ۹ (سویه ۱۰۸) و ۱۰ (سویه ۱۲۰)، در گروه دوم تیمارهای شماره ۲ (سویه ۱۱)، ۳ (سویه ۳۶)، ۸ (سویه ۱۰۳) و ۶ (سویه ۹۳) و در گروه سوم تیمارهای شماره ۷ (سویه ۹۹)، ۴ (سویه ۴۱) و ۵ (سویه ۷۳) قرار دارند. با این حال، احتمالاً مناسب‌ترین تیمارها از بین تیمارهای مورد اشاره برای مناطق مختلف عبارتند از تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) برای مناطق کردستان و گچساران (گروه اول)، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) برای مناطق زنجان، مراغه و ایلام و تیمار شماره ۵ (سویه ۷۳) مناسب‌ترین تیمار برای منطقه کرمانشاه پیش‌بینی شد (شکل ۲-ب). پژوهشگران زیادی استفاده از سویه‌های مختلف از مایه تلقیح سودوموناس‌ها را بر روی گرامینه‌های مختلف مانند گندم، جو و ذرت (*Zea mays* L.) بررسی و علت افزایش کمّی و کیفی عملکرد در آن‌ها را بهبود تولید سیدروفورها، اکسین، وضعیت رشد گیاه و قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک عنوان نموده‌اند (Cassán et al., 2014; Jarak et al., 2012; Mäder et al., 2011; Sharma et al., 2011). مطابق نتایج پژوهش حاضر، سویه‌های ۱۵، ۵، ۱۴، ۱۲، ۱۶، ۱۱ و ۱۳ در هیچ‌کدام از ایستگاه‌های تحقیقاتی موفق نبودند (شکل ۲-ب). از مزایای مهم GGE بای‌پلات در بررسی اثر متقابل دو فاکتور (مکان × سویه) اختصاص واقعی تیمارهای مناسب (سویه‌ها) به مکان‌های مورد مطالعه می‌باشد که در اغلب موارد روش میانگین‌گیری نتایج متفاوتی ارائه می‌دهد. دلیل این تفاوت در تفسیر داده‌های اثر متقابل سویه × مکان و تعیین سهم سویه‌ها و مکان‌ها می‌تواند استفاده از انحراف معیار داده‌ها به‌جای میانگین داده‌ها در این روش باشد (Yan et al., 2000).

علاوه‌بر گروه‌بندی یاد شده برای مکان‌های آزمایشی، بررسی دقیق‌تر این مناطق از طریق زاویه بین بردارهای مکانی (نوع و مقدار همبستگی) و طول این بردارها (توانایی تفکیک محیط‌ها یا نقش آن در اثر متقابل محیط × سویه) به‌خوبی امکان‌پذیر است (Yan, 2001). از چهار ایستگاه ایلام، زنجان، گچساران و کردستان که همبستگی مثبتی بین تعدادی از این ایستگاه‌ها وجود دارد، ایستگاه‌های زنجان، کردستان و گچساران به‌دلیل زاویه حاده بین بردارهای آن‌ها، وضعیت نسبتاً مشابهی را در پاسخ به سویه‌های مختلف PGPR داشتند. به‌تعبیر دیگر، این مکان‌ها سویه‌های مورد بررسی را در یک جهت تفکیک نمودند. با این تفاوت که در ایستگاه گچساران به‌دلیل طول بردار بیشتر تنوع بسیار زیادی در پاسخ به سویه‌های PGPR (سویه‌ها توانسته‌اند هرکدام تا حدودی نقش واقعی خود را آشکار نمایند) در مقایسه با کردستان و در کردستان نیز تنوع بیشتری نسبت به ایستگاه زنجان وجود داشت. بنابراین، ایستگاه زنجان به‌دلیل کوتاه‌ترین طول بردار در بین چهار ایستگاهی که همبستگی مثبتی داشتند، حداقل نقش را در اثر متقابل محیط × سویه‌های PGPR از خود نشان داد و ایستگاه گچساران بیشترین نقش را در این خصوص ایفا نمود. از نگاه دیگر، در ایستگاه گچساران و سپس در کردستان از لحاظ عملکرد دانه بین سویه‌های PGPR تنوع و تفاوت‌های زیادی که ناشی از اثر خود سویه‌های PGPR باشد، مشاهده گردید. این در حالی است که در ایستگاه زنجان سویه‌های مورد بررسی عملکردهای بسیار نزدیک به هم داشته و تنوع لازم در بین سویه‌ها از لحاظ عملکرد دانه مشاهده نشد. چنین وضعیتی در ایستگاه ایلام نیز از لحاظ تنوع بین سویه‌ها همانند ایستگاه زنجان مشهود است (شکل ۲-ج). دلیل این موضوع می‌تواند بالا بودن میزان بارندگی سالیانه در ایستگاه‌های خدابنده (زنجان) و شیروان چرداول (ایلام) باشد، زیرا در این دو ایستگاه میزان بارندگی سال زراعی ۸۹-۸۸ بیش از ۵۰۰ میلی‌متر بود (جدول ۱). از سوی دیگر، نتایج پژوهش‌های انجام گرفته بر روی تلقیح سویه‌های مختلفی از PGPR نشان می‌دهد که این سویه‌ها در شرایط تنش خشکی اثر مطلوب‌تری روی گیاه دارند و تلقیح آن‌ها باعث اثر تنش‌های زیستی و غیرزیستی روی گیاه می شود (Chakraborty et al., 2013; Niu et al., 2018).

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم دیم

Table 3- Combined analysis of variance for yield, yield components and plant other traits of dryland wheat

منابع تغییر S.O.V.	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean of squares									
		عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Gain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike^{-1}	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length
مکان Location (L)	3	220900000**	7917832**	206078951**	0.398361**	2584.13**	0.398361**	8267389**	2586.68**	2579.85**	63.869**
خطای مکان $Error_a$	12	6201000	469771	4026543	0.002127	23.2	0.002127	15102	11.48	135.01	0.449
تیمار Treatment (T)	15	1826000*	298765**	1023202ns	0.002193**	26.0**	0.002193**	7540ns	29.29*	81.34**	0.52ns
L×T	45	862000ns	100657ns	711415ns	0.001747**	15.8*	0.001747**	10139ns	13.25ns	52.81ns	0.071*
خطای اصلی $Error_b$	180	1127000	106725	728368	0.001071	11.2	0.001071	13474	17.51	39.05	1.107
C.V. (%)	-	14.4	13.9	17.0	9.8	7.7	9.8	20.6	17.9	7.1	15.0

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

ns، *، **: به ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

جدول ٤- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم در ایستگاه‌های مختلف دیم

Table 4- Mean effect of yield components and plant other traits of wheat under different dryland stations

مکان Location	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})	عملکرد دانه Gain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد کاه Straw yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W (g)	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m^{-2}	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike^{-1}	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)
مراغه Maragheh	4991c*	1980b	3011d	0.402a	47.1b	37.1b	563.4b	23.4c	88.9b	7.0b
کردستان Kordestan	8327a	2573a	5755b	0.309b	41.8c	40.0a	977.6a	16.1d	79.7c	6.3c
کرمانشاه Kermanshah	9263a	2143b	7119a	0.235c	34.9d	36.7bc	377.8c	26.3b	94.7a	7.0b
ایلام Ilam	6925b	2727a	4198c	0.394a	49.1a	34.6c	334.6c	27.8a	90.9ab	7.7a
LSD5%	959	264	773	0.018	1.9	2.3	49.1	1.4	4.5	0.29

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

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

جدول ۵- مقایسه میانگین عملکرد، اجزای عملکرد و سایر صفات گیاهی گندم دیم برای تیمارهای PGPR

Table 5- Mean effect of yield, yield components and plant other traits dryland wheat affected as PGPR treatments

تیمار Treatment	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha-1)	عملکرد دانه Gain yield (kg.ha-1)	عملکرد کاه Straw yield (kg.ha-1)	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزار دانه T.K.W (g)	تعداد سنبله در واحد سطح No. spike.m-2	تعداد دانه در سنبله No. seed.spike-1	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)
شاهد Control	7147bc*	2226cd	4921abc	0.323bcd	41.6bcd	37.3ab	581.5a	23.30abcd	84.6d	6.8a
11	8126a	2683a	5443a	0.338abcd	44.6a	38.1a	548.7a	24.96ab	91.5a	7.3a
36	7868ab	2458abc	5410a	0.328abcd	43.2abcd	36.8ab	584.4a	23.93abcd	91.1ab	7.1a
41	7372abc	2169d	5203abc	0.312d	40.7d	37.2ab	568.8a	21.26cd	90.8abc	7.1a
73	7458abc	2352bcd	5106abc	0.332abcd	43.0abcd	36.6ab	578.1a	23.89abcd	89.3abcd	6.8a
93	7523abc	2350bcd	5173abc	0.331abcd	42.9abcd	36.5ab	565.3a	21.82bcd	89.3abcd	6.8a
99	7397abc	2435bcd	4962abc	0.345ab	44.4ab	36.8ab	567.8a	23.19abcd	89.6abcd	7.0a
103	7334abc	2409bcd	4924abc	0.341abc	43.9abc	37.8ab	591.9a	24.77abc	91.4a	7.1a
108	7589abc	2561ab	5028abc	0.350a	45.2a	38.1a	582.1a	24.47abc	90.6abc	7.3a
120	7469abc	2385bcd	5084abc	0.345ab	44.3ab	36.1b	595.9a	22.46abcd	85.7cd	6.9a
136	6963c	2164d	4799abc	0.325abcd	41.7bcd	37.0ab	548.0a	25.59a	88.8abcd	6.9a
159	7064bc	2297bcd	4767abc	0.339abc	43.2abcd	36.7ab	540.2a	20.62d	85.8cd	6.9a
168	7678abc	2311bcd	5367ab	0.315cd	41.5cd	36.7ab	552.8a	23.60abcd	87.8abcd	6.9a
169	6942c	2281cd	4661bc	0.345ab	43.7abc	37.7ab	547.4a	23.48abcd	86.0bcd	6.8a
177	7097bc	2254cd	4842abc	0.340abc	43.3abcd	37.3ab	542.5a	22.89abcd	87.8bcd	7.2a
187	6996bc	2356bcd	4640 c	0.348ab	44.2abc	36.8ab	518.4a	24.21abc	86.9abcd	6.9a
LSD5%	741	228	595	0.023	2.3	1.4	81.2	2.9	4.4	0.74

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

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

جدول ٦- همبستگی خصوصیات گیاهی و اجزای عملکرد در گندم دیم

Table 6- Coefficient correlations between plant traits and yield component of dryland wheat

همبستگی Correlation	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد کاه Straw yield	شاخص برداشت Harvest index	درجه باردهی Degree productivity	وزن هزاردانه TKW	تعداد سنبله در مترمربع No head per m^2	ارتفاع گیاه Plant height	طول سنبله Head height
عملکرد دانه Grain yield	0.746^{**}								
عملکرد کاه Straw yield	0.933^{**}	0.456^{ns}							
شاخص برداشت Harvest Index	-0.141^{ns}	0.514^{*}	-0.466^{ns}						
درجه باردهی Degree productivity	0.216^{ns}	0.777^{**}	-0.131^{ns}	0.936^{**}					
وزن هزاردانه TKW	0.094^{ns}	0.353^{ns}	-0.066^{ns}	0.220^{ns}	0.265^{ns}				
تعداد سنبله در مترمربع No. head per m^2	0.389^{ns}	0.195^{ns}	0.414^{ns}	-0.084^{ns}	0.047^{ns}	-0.039^{ns}			
ارتفاع گیاه Plant height	0.618^{**}	0.496^{*}	0.557^{*}	-0.080^{ns}	0.144^{ns}	0.370^{ns}	0.270^{ns}		
طول سنبله Head height	0.396^{ns}	0.499^{*}	0.258^{ns}	0.206^{ns}	0.348^{ns}	0.640^{**}	0.089^{ns}	0.648^{**}	
تعداد دانه در سنبله No. seed per head	0.171^{ns}	0.366^{ns}	0.031^{ns}	0.188^{ns}	0.258^{ns}	0.437^{ns}	0.019^{ns}	0.356^{ns}	0.269^{ns}

ns، * و **: به ترتیب غیرمعنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال یک و پنج درصد

ns, * and **: non-significant, significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

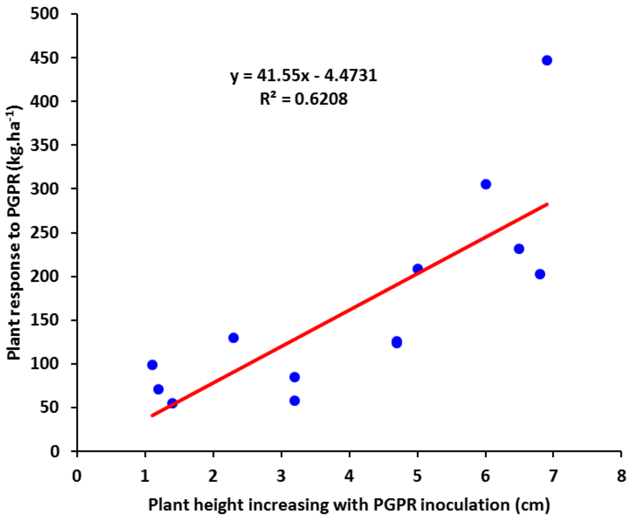
ساراواناکومار و همکاران (Saravanakumar et al., 2011) معتقدند کارایی مقاومت به تنش خشکی و کاهش اثر تنش رطوبتی بر روی ماش در جدایه *سودوموناس فلورسنس* *Pseudomonas fluorescens* بیشتر از سایر جدایه‌ها بود. با توجه به اینکه زاویه بین بردارهای ایستگاه‌های ایلام و کردستان نزدیک به قائمه می‌باشد، لذا تشابه ایستگاه ایلام با زنجان و همچنین ایلام با کردستان از لحاظ پاسخ به سویه‌های به‌کار رفته، بسیار کمتر از ایستگاه‌های زنجان، کردستان و گچساران است. بررسی گروه‌های مکانی اول، دوم و سوم نشان می‌دهد (شکل ۲-ب) که ایستگاه کرمانشاه نسبت به ایستگاه‌های مراغه و همچنین نسبت به ایستگاه‌های گروه دوم (گچساران، کردستان و زنجان) در پاسخ به سویه‌های مختلف PGPR کاملاً مستقل عمل نموده و تنوع زیادی همانند ایستگاه گچساران بین سویه‌های مورد بررسی در این ایستگاه نیز وجود داشته است، زیرا که زاویه تقریبی گروه‌های مکانی یادشده قائمه می‌باشد و این مستقل بودن ایستگاه کرمانشاه را از دو گروه دیگر نشان می‌دهد. این در حالی است که ایستگاه مراغه در این خصوص دقیقاً مخالف با ایستگاه‌های گروه دوم عمل نموده و تنوع بیشتری در پاسخ به سویه‌های مورد بررسی نسبت به دو ایستگاه ایلام و زنجان داشته است (شکل ۲-ج). نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص گروه‌بندی ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیم از لحاظ پاسخ گندم با استفاده از روش GGE بای‌پلات نشان می‌دهد که این روش برای ژنوتیپ‌ها اغلب مناطق را بر اساس سرد، معتدل و گرم گروه‌بندی می‌نماید. محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2014) با روش GGE بای‌پلات بیان داشتند، ایستگاه مراغه (سرد) و ایلام (نیمه‌گرم) کاملاً در دو گروه متفاوتی قرار گرفتند و ایستگاه کرمانشاه (معتدل) نیز بسته به سال زراعی در گروه‌های مختلفی قرار می‌گیرد. همچنین محمدی و همکاران (Mohammadi et al., 2013) با این روش نشان دادند که محیط‌های سرد (مراغه و خراسان شمالی) نسبت به محیط‌های گرم (ایلام) در رتبه‌بندی و تعیین سازگاری ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت بودند. مقایسه نتایج به‌دست آمده از پژوهش حاضر با نتایج این پژوهشگران در خصوص گروه‌بندی محیط‌ها نشان می‌دهد که گروه‌بندی مکان‌های آزمایشی برای ژنوتیپ‌ها کاملاً متفاوت از سویه‌های PGPR می‌باشد. به‌نحوی که کاربرد سویه‌ها در پژوهش حاضر باعث می‌شود که ایستگاه گرمسیری گچساران هم‌گروه با ایستگاه‌های مناطق سرد مانند کردستان و زنجان و همچنین ایستگاه معتدل کرمانشاه به‌صورت مستقل قرار گیرد. چنین تغییری در چیدمان ایستگاه‌های سرد و گرم همانند نتایج حاصل از پژوهش حاضر با اعمال فاکتور آبیاری تکمیلی روی ژنوتیپ‌ها مشاهده گردیده است که می‌تواند اثر میزان آب و بارندگی را در این تغییرات اثبات نماید (Mohammadi et al., 2011).

روش بای‌پلات تیمارهای آزمایشی را ابتدا با استفاده از خط میانگین عملکرد (خط آبی)، به دو گروه دارای عملکرد بالا (سمت راست خط آبی) و پائین (سمت چپ خط آبی) تقسیم نمود (شکل ۲-د). بر این اساس تیمارهای شماره ۲ (سویه ۱۱)، ۳ (سویه ۳۶)، ۶ (سویه ۹۳)، ۸ (سویه ۱۰۳)، ۹ (سویه ۱۰۸) و ۱۰ (سویه ۱۲۰) دارای عملکرد بالاتر از میانگین و تیمارهای شماره ۱ (بدون تلقیح)، ۴ (سویه ۴۱)، ۵ (سویه ۷۳)، ۷ (سویه ۹۹)، ۱۱ (سویه ۱۳۶)، ۱۲ (سویه ۱۵۹)، ۱۳ (سویه ۱۶۸)، ۱۴ (سویه ۱۶۹)، ۱۵ (سویه ۱۷۷) و ۱۶ (سویه ۱۸۷) دارای عملکرد پائین‌تر از میانگین گروه‌بندی شدند. در بین تیمارهای دارای عملکرد بالا، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) بیشترین عملکرد دانه را به خود اختصاص داد. تیمارهای شماره ۳ (سویه ۳۶)، ۱۰ (سویه ۱۲۰) و ۹ (سویه ۱۰۸) در رتبه دوم و تیمارهای شماره ۶ (سویه ۹۳) و ۸ (سویه ۱۰۳) در رتبه سوم از لحاظ تولید عملکرد دانه قرار گرفتند. همچنین تیمارهای رتبه اول و دوم دارای عملکرد مطلوب‌تر از شرایط ایده‌آل آزمایش (نوک پیکان خط قرمز) بودند. از سوی دیگر، در بین تیمارهای دارای عملکرد بالا تیمارهای شماره ۸ (سویه ۱۰۳)، ۶ (سویه ۹۳) و ۲ (سویه ۱۱) بیشترین پایداری را در بین تیمارهای مورد مطالعه داشتند، بدین معنی که تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) در مکان‌های مورد مطالعه کمترین تغییرپذیری و تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) بیشترین تغییرپذیری را از لحاظ عملکرد دانه داشت (شکل ۲-د). شاید بتوان گفت یکی از معایب اصلی مطالعات PGPR به‌ویژه در شرایط مزرعه‌ای، نامشخص بودن مؤثرترین تعداد و جمعیت باکتری بر رشد یک گیاه خاص است. بر همین اساس در مطالعات مشابه تعداد زیادی سویه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا از بین آن‌ها یک و یا چند سویه مؤثر قابل شناسایی باشد. بنابراین، در چنین پژوهش‌هایی یافتن سویه‌های مؤثر از بین تعداد زیادی جدایه، یکی از اهداف و دغدغه‌های مهم میکروبیولوژیست‌های خاک است (Khosravi, 2013).

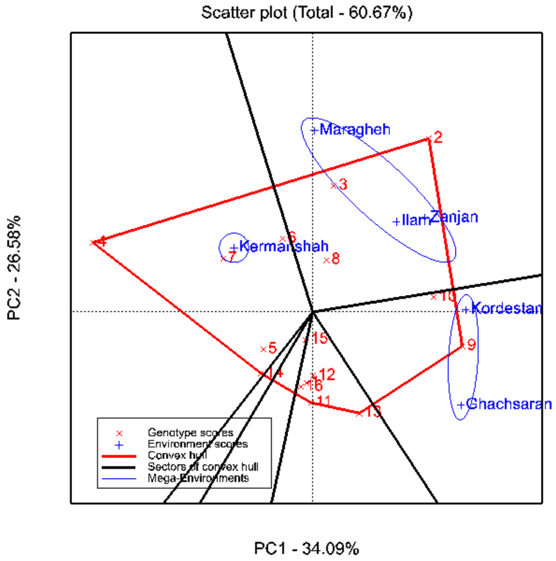
بررسی ارتباط بین تیمارهای PGPR نشان داد که اولاً زاویه بین تمامی سویه‌ها از نوع بسته (حاده) می‌باشد و همبستگی مثبتی بین آن‌ها وجود دارد. بر این اساس، تیمارهای شماره ۲، ۳، ۵، ۸، ۱۴ و ۱۵ دارای همبستگی بالایی با یکدیگر بوده و تیمارهای شماره ۴ (سویه ۴۱) و ۹ (سویه ۱۰۸) کمترین همبستگی را از لحاظ تولید عملکرد دانه داشتند. مطابق این نتایج، تیمارهای شماره ۹، ۱۱، ۱ و ۱۶ همبستگی بالا با یکدیگر و تیمارهای شماره ۱۲، ۱۳، ۶ و ۷ نیز همبستگی بالایی با هم دارند. برخلاف همبستگی‌های نزدیکی که بین تیمارهای آزمایشی مشاهده شد، این همبستگی برای مکان‌های آزمایشی از پراکنش بیشتری برخوردار بود و لذا محیط‌های آزمایشی دارای تنوع بیشتری در مقایسه با تیمارهای PGPR بودند (شکل ۲-ه). این موضوع نشان می‌دهد که در انتخاب سویه‌های مورد نظر برای شرایط دیم، با توجه به گستردگی خصوصیات اقلیمی این مناطق، باید دامنه گسترده‌ای از سویه‌ها از شرایط تنش‌های محیطی انتخاب و مورد ارزیابی قرار گیرد و سپس مؤثرترین آن‌ها وارد آزمایش‌های مشابه شود. از سوی دیگر، سویه‌های انتخابی از شرایط آبی مطمئناً شرایط مناسبی در آزمایش‌های دیم و تنش رطوبتی و حرارتی آخر فصل نخواهند داشت.

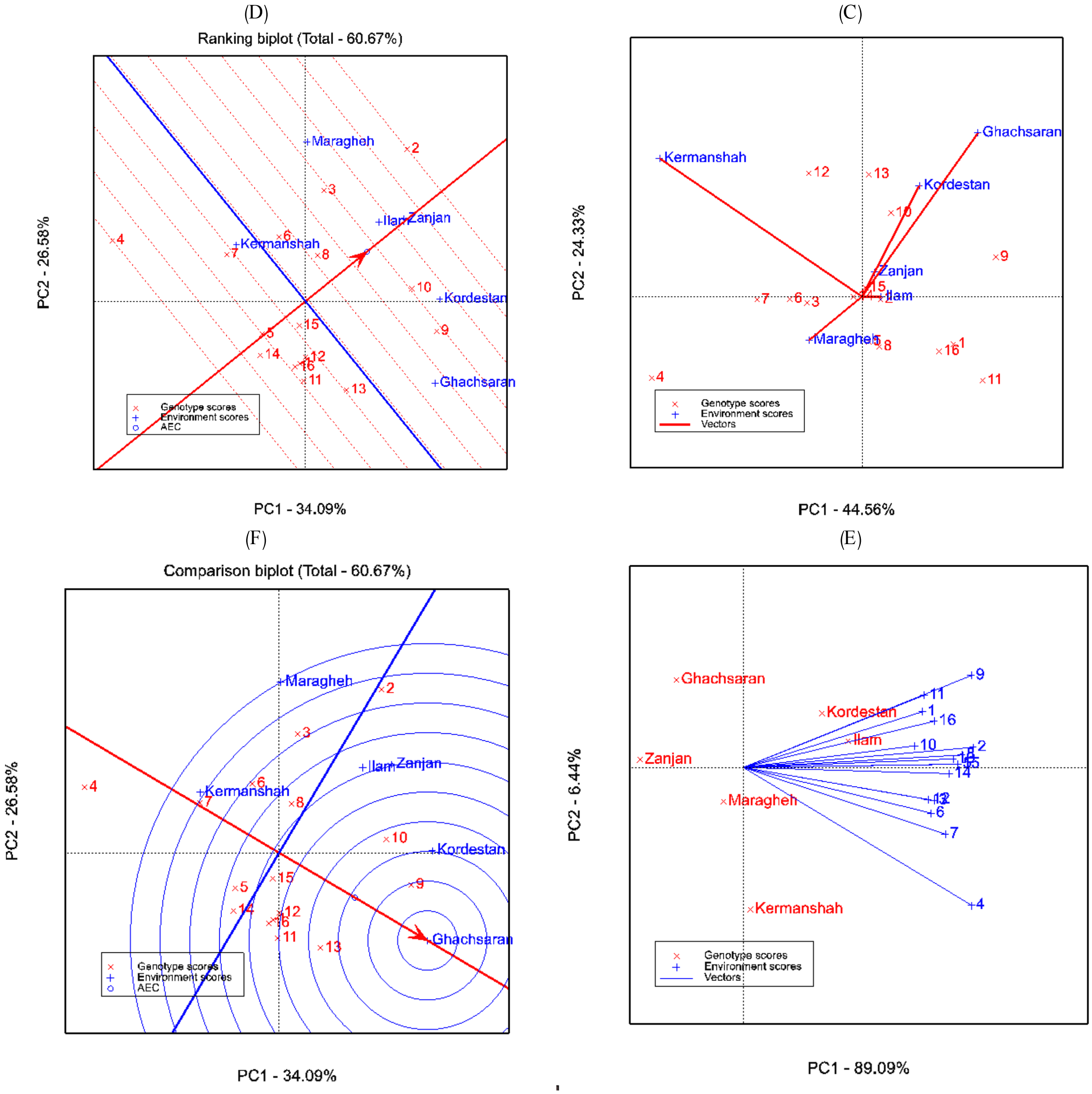
در روش GGE بای‌پلات علاوه‌بر انتخاب مایه تلقیح‌های مناسب برای هر منطقه، می‌توان ایده‌آل‌ترین مایه تلقیح را برای کل مناطق مورد مطالعه نیز انتخاب و توصیه نمود. مایه تلقیح ایده‌آل باید دارای مشخصات بیشترین عملکرد در محیط‌های مورد مطالعه و پایدار نسبت به شرایط محیطی باشد. چنین تیماری دارای بیشترین طول بر روی بردار میانگین تیمارها (محور قرمز رنگ دارای فلش) با عملکرد بالا و دارای حداقل نقش در پدیده اثر متقابل تیمار در محیط می‌باشد (Yan, 2002). اگرچه وجود چنین تیمار ایده‌آلی غیرمحتمل می‌باشد (دایره کوچک بر روی محور میانگین عملکرد)، امّا می‌توان از این تیمار به‌عنوان رفرنسی برای ارزیابی سایر تیمارهای مورد بررسی استفاده نمود و نزدیک به شرایط تیمار ایده‌ال را که در اغلب محیط‌های آزمایشی وضعیت مطلوبی را داشته‌اند، شناسایی و احتمالاً معرفی نمود. بر این اساس مایه تلقیح شماره ۹ (سویه ۱۰۸) از جمله تیمارهای نزدیک به تیمار ایده‌ال می‌باشد که برای تمامی محیط‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر می‌توان استفاده نمود. پس از مایه تلقیح شماره ۹، تیمارهای شماره ۱۳ و ۱۰ رتبه دوم نزدیک به شرایط ایده‌ال قرار دارند (شکل ۲-و). لازم به ذکر است که این گروه‌بندی، گروه‌بندی‌های قبلی را در خصوص شناسایی مایه‌های تلقیح مناسب برای مکان‌های آزمایشی خاص نفی نمی‌کند، زیرا که در این گروه‌بندی احتمال این که پژوهشگر به‌دلیل مشکلات کاربردی نتواند برای هر منطقه‌ای مایه تلقیح مناسب را توصیه نماید (به‌عنوان مثال مشکلات تجاری‌سازی مایه‌های تلقیح)، لذا مجبور خواهد بود یک و یا دو مایه تلقیح و یا ترکیبی از آن‌ها را از بین تمامی تیمارها انتخاب و جهت توصیه در مناطق مورد مطالعه تجاری‌سازی نماید.

(A)



(B)





شکل ۲- رابطه بین میزان افزایش ارتفاع بوته و افزایش عملکرد دانه گندم دیم (A)، توصیه برای مکان‌های آزمایشی (B)، همبستگی بین مکانی (C)، گروه‌بندی توان تولیدی سویه‌ها (D)، همبستگی بین مایه‌های تلقیح (E) و شناسایی سویه ایده‌آل برای مناطق مختلف (F)

Fig. 2- Relationship between amount of plant height increasing and plant response of dryland wheat (A), graphical display of PGPRs in 6 dryland environments (B), correlation between environments (C) evolution of PGPRs based on both yield and stability performance in environments (D), correlation between PGPRs (E) and evaluates of PGPRs relative to an ideal PGPR (F)

نتیجه‌گیری

اختلاف عملکرد دانه بین ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی دیـم، بیشتر وابسته به میزان اختلاف بارندگی سالیانه آن‌ها بود. تلقیح بـذر گندم دیم با جدایه‌های PGPR باعث افزایش عملکرد دانه گندم دیم در تمامی ایستگاه ها شد. تعداد ۱۳ جدایه از ۱۵ جدایه مورد بررسـی، عملکرد دانه بیشتری نسبت به شاهد (بدون تلقـیح) داشـتند. از بـین

صفات گیاهی، ارتفاع گیاه بیشتر از سایر صفات عملکرد دانه را توجیه نمود و سویه‌های موفق باعث افزایش ارتفاع گیاه و به دنبال آن افزایش عملکرد دانه شدند. ایستگاه‌های گچساران، کرمانشاه و کردستان به‌ترتیب بیشترین تفکیک پاسخ گیاه به سویه‌های PGPR را داشتند. تیمار شماره ۹ (سویه ۱۰۸) برای مناطق کردستان و گچساران (گروه اول)، تیمار شماره ۲ (سویه ۱۱) برای مناطق زنجان، مراغه و ایلام و تیمار شماره ۵ (سویه ۷۳) برای منطقه کرمانشاه مناسب‌ترین شناخته شد. مایه تلقیح شماره ۹ (سویه ۱۰۸) از جمله تیمارهای نزدیک به تیمار ایده‌ال بود که بیشترین مقدار شاخص برداشت را تولید نمود و در تمامی مناطق مورد بررسی وضعیت مطلوبی داشت.

References

Barbieri, P., and Galli, E., 1993. Effect on wheat root development of inoculation with an *Azospirillum brasilence* mutant with altered indole-3-acetic acid production. Research Microbiology 144: 69-75.

Barneix, A.J., Saubidet, M.I., Fatta, N., and Kade, M., 2005. Effect of *rhizobacteria* on growth and grain protein in wheat. Agronomy for Sustainable Development 25: 505–511.

Çakmakç R., Turan, M., Güllüce, M., and Şahin, F., 2014. Rhizobacteria for reduced fertilizer inputs in wheat (*Triticum aestivum* spp. vulgare) and barley (*Hordeum vulgare*) on Aridisols in Turkey. International Journal of Plant Production 8(2): 163-181.

Çakmakçı, R., Erat, M., Erdoğan, Ü., and Dönmez, F., 2007. The influence of plant growth promoting *rhizobacteria* on growth and enzyme activities in wheat and spinach plants. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 170: 288-295.

Cassán, F., Vanderleyden, J., and Spaepen, S., 2014. Physiological and agronomical aspects of phytohormone production by model plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) belonging to the genus *Azospirillum*. Journal of Plant Growth Regulation 33(2): 440-459.

Chakraborty, U., Chakraborty, B.N., Chakraborty, A.P., and Dey, P.L., 2013. Water stress amelioration and plant growth promotion in wheat plants by osmotic stress tolerant bacteria. World Journal of Microbiology and Biotechnology 29(5): 789-803.

Donmez, E., Sears, R.G., Shroyer, J.P., and Paulsen, G.M., 2001. Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the Great Plains. Crop Science 41: 1412–1419.

Duffy, B.K., and Deeago, G., 1999. Environmental factors modulating antibiotic and siderophore biosynthesis by *Pseudomonas* biocontrol strain. Applied and Environmental Microbiology 65: 2429-2438.

Elliott, L.F., and Lynch, J.M., 1985. Plant growth-inhibitory pseudomonads colonizing winter wheat (*Triticum aestivum* L.) roots. Plant and Soil 64: 51-65.

Fallahi, H., Rezvani Moghaddam, P., Amiri, M., Aghhavani-Shajari, M., and Yazdani-Biuki, R., 2015. The study of nutritional management of mother plant and seed priming by biofertilizers on improve salinity tolerance of wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sayonz at germination period. Journal of Agroecology 6(4): 689-700. (In Persian with English Summary)

Farina, A., Nakhjavan, S., Khodaei, F., and Shahverdi, M., 2014. Effect of plant density on physiological characteristics of growth and yield of varieties of dry farming wheat in Lorestan province. New Finding in Agriculture 8(4): 291-302. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., and Pourmohammad, A., 2014. Effects of nitrogen rates and Application time on agronomic efficiency of nitrogen and seed yield of dryland’s wheat genotypes. Iranian Journal of Water and Soil Science 24(3): 93104. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Fotovat, A., Astarae, A.R., Lakzian, A., and Mousavi, S.B., 2014. Effect of optimized nitrogen application in reducing drought stress effect on grain yield of some rainfed bread wheat genotypes. Iranian Journal of Seed and Plant Production 30(2): 169-198. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Abdolrahmani, B., Mosavi, S.B., and Karimi, E., 2010 a. Studies on the effects of climatic factors on dryland wheat grain yield in Maragheh region. Iranian Journal of Field Crops Research 8(1): 121. (In Persian with English Summary)

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Amri, A., Ansari, Y., Mousavi, S.B., and Ahmadpour Chenar, M., 2010 b. Analysis of yield stability of wheat genotypes using new Crop Properties Balance Index (CPBI) method. Notulae Botanicae Horti

Agrobotanici Cluj-Napoca 38(1): 223-228.

Feiziasl, V., Jafarzadeh, J., Pala M., and Mosavi, S.B., 2009. Determination of micronutrient critical levels by plant response column order procedure for dryland wheat (*T. aestivum*. L.) in Northwest of Iran. International Journal of Soil Science 4(1): 14-19.

Feiziasl, V., Kasraei, R., Moghaddam, M., and Valizadeh, G.R., 2004. Investigation on uptake limitation and nutrient deficiency diagnosis at applied phosphorus and zinc fertilizers by different methods in Sardari wheat. Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 11: 23-33. (In Persian with English Summary)

Ghobadi, M., Kashani, A., Mamghani, S.A., and EghbalGhobadi, M., 2007. Studying tillering trend and its relationship with grain yield in wheat under different plant densities. Journal of Agricultural Sciences 3: 23-36.

Jarak, M., Mrkovački, N., Bjelić, D., Jošić, D., Hajnal-Jafari, T., and Stamenov, D., 2012. Effects of plant growth promoting *rhizobacteria* on maize in greenhouse and field trial. African Journal of Microbiology Research 6(27): 5683-5690.

Jarak, M., Protio R., Jankovio, S., and Colo, J., 2006. Response of wheat to *Azotobacter Actinomycet* inoculation and nitrogen fertilizers. Romanian Agriculture Research Number 23.

Khalid, A., Arshad, M., and Zahir, Z.A., 2004. Screening plant growth promoting *Rhizobacteria* for improving growth and yield of wheat. Journal of Applied Microbiology 96: 473–480.

Khosravi., H., 2013. Biofertilizers containing plant growth promoting rhizobacteria: Strengths and weaknesses. Journals Management system 1(1): 33-46.

Kumar, A., Maurya, B.R., and Raghuwanshi, R., 2014. Isolation and characterization of PGPR and their effect on growth, yield and nutrient content in wheat (*Triticum aestivum* L.). Biocatal. Agricultural Biotechnology 3: 121–128.

Kumar, S., Mittal, R.K., Gupta, D., and Katna, G., 2005. Correlation among some morpho-physiological characters associated with drought tolerance in wheat. Annals of Agri-bio Research 10: 129-134.

Lucy, M., Reed, E., and Glick, B.R., 2004. Application of free living plant growth- promoting *rhizobacteria*. Antonie Van Leeuwenhoek 86: 1-25.

Mäder, P., Kaiser, F., Adholeya, A., Singh, R., Uppal, S.H., Sharma, A.K., Srivastava, R., Sahai, V., Aragno, M., Wiemken, A., Johri, B.N., and Fried, P.M., 2011. Inoculation of root microorganisms for sustainable wheat–rice and wheat–black gram rotations in India. Soil Biology and Biochemistry 43: 609-619.

Majeed, A., Abbasi, M.K., Hameed, S., Imran, A., and Rahim, N., 2015. Isolation and characterization of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on plant growth promotion. Original Research 6: 1-10.

Malakouti, M.J., and Gheybi, M.N., 1997. Determination of nutrient critical levels in strategic crops and correct fertilizer recommendation in Iran. Agricultural Education Publication, Iran Tehran, pp. 56. (In Persian)

Marschner, H., and Römheld, V., 1994. Strategies of plants for acquisition of iron. Plant and Soil 165(2): 261-274.

Ministry of Agriculture Jihad. 2015. Agricultural statistics, crop year 2013-2014. Volume one, crops (In Persian)

Mohammadi, R., Armion, M., Zadhassan, E., and Eskandari, M., 2014. Analysis of genotype × environment interaction for grain yield in rainfed durum wheat. Iranian Dryland Agronomy Journal 2(2): 114. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Armiyoun, M., Zade-Hassan, I., Ahmadi, M.M., and Sadeghzadeh, D., 2013. Genotype × environment interaction for grain yield of rainfed durum wheat using the GGE biplot model. Seed and Plant Improvement Journal 28-1(3): 504-518. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, R., Sadeghzadeh, D., Armion, M., and Ahmadi, M.M., 2011. Analysis of stability and adaptability of grain yield in durum wheat genotypes. Pajouhesh and Sazandegi (Agronomy) 91: 70-78. (In Persian with English Summary)

Nazarly, H., and Seyed Sharifi, R., 2013. Study of qualitative and quantitative yield and some agronomic characteristics of sunflower (*Helianthus annus* L.) in response of seed inoculation with PGPR in various levels of nitrogen fertilizer. Journal of Agroecology 5(3): 308-317. (In Persian with English Summary)

Niu, X., Song, L., Xiao, Y., and Ge, W., 2018. Drought-tolerant plant growth-promoting rhizobacteria associated with foxtail millet in a semi-arid agroecosystem and their potential in alleviating drought stress. Front Microbiol 8: 2580.

Reynolds, M., Skovmand, B., Trethowan, R., and Pfeiffer, W., 2004. Evaluating conceptual model for drought tolerance. CIMMYT, Mexico.

Rosas, B.S., Avanzini, G., Carlier, E., Pasluosta, C., Pastor, N., and Rovera, M., 2009. Root colonization and growth promotion of wheat and maize by Pseudomonas aurantiaca SR1. Soil Biology and Biochemistry 41: 1802-1806.

Saber, Z., Pirdashti, H., and Esmaeili, M., 2012. Response of wheat growth parameters to co-inoculation of plant growth promoting *rhizobacteria* (PGPR) and different levels of inorganic nitrogen and phosphorus. World Applied Science Journal 16(2): 213-219.

Sahin, F., Çakmakçi, R., and Kantar, F., 2004. Sugar beet and barley yields in relation to inoculation with N_2-fixing and phosphate solubilizing bacteria. Plant and Soil 265: 123-129.

Saravanakumar, D., Kavino, M., Raguchander, T., Subbian, P., and Samiyappan, R., 2011. Plant growth promoting bacteria enhance water stress resistance in green gram plants. Acta Physiologiae Plantarum 33:203–209.

Seyedlar, S.M, Habibi, D., Sani, B., and Hasanpor, H., 2014. Improving wheat yield and quality through an integrated nutrient management system. International Journal of Biosciences 5(1): 273-281.

Shaharoona, B., Naveed, M., Arshad, M., and Zahir, Z.A., 2008. Fertilizer-dependent efficiency of *Pseudomonads* for improving growth, yield, and nutrient use efficiency of wheat (*Triticum aestivum* L.). Applied and Environmental Microbiology 79: 147-155.

Sharma, S.K., Johri, B.N., Ramesh, A., Joshi, O.P., and Prasad, S.V.S., 2011. Selection of plant growth-promoting *Pseudomonas* spp. that enhanced productivity of soybean-wheat cropping system in central India. Journal of Microbiology and Biotechnology 21: 1127–1142.

Slafer, A.G., and Satorre, E.H., 1999. An introduction to physiological- ecological analysis of wheat yield. Pp. 3-12 In: E.H. Satorre and G.A. Slafer (Eds.) Wheat ecology and physiology of yield determination. Food Product Press, New York. p. 3-12.

Talliee, A.A., and Bahramy, N., 2003. The effects of rainfall and temperature on the yield of dryland wheat in Kermanshah province. Journal of Water Research in Agriculture (Journal of Soil and Water Sciences) 17: 106-113. (In Persian with English Summary)

Tatari, M., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2009. Dryland wheat yield prediction using precipitation and edaphic data by applying of regression models. Iranian Journal of Field Crop Research 7(2): 357-365. (In Persian with English Summary)

Tavakoli, A.R., Liaghat, A., and Alizadeh, A., 2013. Influence of topography and latitude on rain water productivity and rainfed barley yield. Iranian Dryland Agronomy Journal 2(1): 85-99. (In Persian with English Summary)

Turan, M., Gulluce, M., Cakmakci, R., Oztas, T., and Sahin, F., 2010. The effect of PGPR strain on wheat yield and quality parameters. World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, pp. 140-143.

Vlassak, K., Holm, L.V., Duchateau, L., Vanderleyden, J., and De Mot, R., 1992. Isolation and characterization of fluorescent Pseudomonas associated with the roots of rice and banana growth in Sri Lanka. Plant and Soil 145: 51-63.

White, E.M., and Wilson, F.E.A., 2006. Responses of grain yield, biomass and harvest index and their rates of genetic progress to nitrogen availability in ten winter wheat varieties. Irish Journal of Agricultural and Food Research 45: 85–101.

Yan, W., 2001. GGE biplot–A windows application for graphical analysis of multi-environment trial data and other types of two-way data. Agronomy Journal 93: 1111–1118.

Yan, W., 2002. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. Agronomy Journal 94: 990–996.

Yan, W., Hunt, L.A., Sheng, Q., and Szlavnics, Z., 2000. Genotype evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. Crop Science 40: 597–605.

Yousefpoor, Z., Yadavi, A., Balouchi, H., and Farajee, H., 2014. Evaluation of some physiological, morphological and phonological characteristics in sunflower (*Helianthus annuus* L.) influenced by biological and chemical sources of nitrogen and phosphorus. Journal of Agroecology 6(3): 508-519. (In Persian with English Summary)

Zhang, J.J., Chen, W., Dell, B., Vergauwen, R., Zhang, X.M., Mayer, J.E., and Van den Ende, W., 2015. Wheat genotypic variation in dynamic fluxes of WSC components in different stem segments under drought during grain filling. Frontiers in Plant Science 6(624): 624.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 447-467

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۶۷-۴۴۷

Yield Enhancement by Application of Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR) Inoculants in Dryland Wheat (*Triticum aestivum* L.)

K. Khavazi[1], V. Feiziasl[2*], M.H. Sedri[3], A. Taliee[4], J. Ghohargani[5], M. Ismaili[6] and R. Solaimani[7]
Submitted: 27-10-2017
Accepted: 24-06-2019

Khavazi, K., Feiziasl, V., Sedri, M.H., Taliee, A., Ghohargani, J., Ismaili, M., and Solaimani, R., 2020. Yield enhancement by application of plant growth promoting rhizobacterial (PGPR) inoculants in dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Agroecology 12(3):447-467.

Introduction

The explosion of world population in recent decades has caused excessive application of chemical fertilizers in agricultural systems; resulting in critical environmental and health issues. Integrated Nutrient Management (INM) method or biofertilizers are considered as logical strategies to reduce the rate of chemical fertilizers. . Biofertilizers consist of various types of microorganisms in soil which are in close relation with plant roots and are called Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR). Several mechanisms have been postulated to explain how PGPR benefit the host plant, which could be classified into four categories a) The ability to produce plant growth regulators or phytohormones such as indole acetic acid (IAA), cytokines, and gibberellins; b) Enhancing a symbiotic N_2 fixation; c) Solubilizing inorganic phosphate and mineralization of organic phosphate and/or other nutrients; d) Antagonistic effect against phytopathogenic microorganisms by production of siderophores, the synthesis of antibiotics, enzymes, and/or fungicidal compounds, and competition with detrimental microorganisms. Therefore, PGPR are commonly used as inoculants for improving the growth and yield of agricultural crops, however screening for the selection of effective PGPR strains is very critical. This study focuses on the screening of effective PGPR strains on the basis of their potential for plant growth promoting activity under water stress conditions in Iran's cold temperate and warm dryland areas.

Materials and Methods

Experiments were carried out in randomized complete block design (RCBD) with four replications in 2009-2010 cropping year. Treatment included fifteen PGPRs with a control (without inoculation) in six dryland agricultural research stations; including Maragheh, Ghamloo (Kurdistan), Sararood (Kermanshah), Gachsaran, Khodabandeh (Zanjan), Shirvan Chardavol (Ilam). Soil samples collected from 0-25 cm depths before planting time and was characterized through determination of soil available P, K, Fe, Mn, Zn and Cu, soil texture, organic carbon, pH, EC and calcium carbonates equivalent. Dryland wheat Azar2 cultivar was cultivated with 350 seed per m^2 in 5 to 7 cm soil depth. Moreover,plant traits such as grain, straw and biological yields, TKW (1000-

1- Professor, Soil and Water Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
2- Assistant Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran.
3- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kurdistan, Iran.
4- Research member, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Kermanshah, Iran.
5- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), kohgiluyeh and boyer-ahmad, Iran.
6- Scientific member, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zanjan, Iran.
7- Assistant Professor, Research Center for Agriculture and Natural Resources, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ilam, Iran.
(*- Corresponding Author Email: Vfeiziasl@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.68276

kernel weight), number of spikes per m^2, number of seed per spike, harvest index (HI), plant height and spike length, were measured. All research data was analyzed via GenStat14 statistical software.

Results and Discussion

The results showed that, the plant growth promoting bacteria (PGPR) had increased the grain yield of dryland wheat in the Maragheh, Kermanshah, Kurdistan, Ilam, Zanjan and Gachsaran regions. This increase in most experimental dryland stations has been significant statistically. The maximum grain yield increase in Maragheh, Kermanshah, Kurdistan, Ilam, Zanjan and Gachsaran were in the order amount of 19.6 (treatment no. 2), 45.1 (treatments no's 4 and 12), 12.4 (treatment no 8), 18.4 (treatment no 11) 10.2 (treatment no. 11) and 11.6 (treatment no. 11) $kg.ha^{-1}$, which was 382 $kg.ha^{-1}$ for the best average plant growth promoting bacteria in all the study regions. With the use of GGE biplot method, the inoculating treatments of plant growth promoting bacteria had 2 groups, including the high yielding groups with treatments (2, 3, 6, 8, 9 and 10), and low yielding treatments (1, 4, 5, 7, 11, 12. 13, 14, 15 and 16).The study locations were separated in 3 groups, first group including; Gachsaran and Kurdistan regions, second group including; Maragheh, zanjan and Ilam regions, and the third group including; Kermanshah region. The suitable treatments were the treatment numbers 9 and 10 for the first group, treatment numbers 2, 3, 8 and 6 for the second group and treatment numbers 7, 4 and 5 for the third group. Among the mentioned treatments, the most suitable treatments for first, second and third groups are treatment number 9, treatment number 2 and number 5, respectively.. According to these results, if the first aim is introducing the growth promoting bacteria for all the regions, this strain is the inoculating bacteria number 9. In the second order, the treatment numbers 13 and 10had the closest conditions to the estimated ideal treatment.

Conclusion

Therefore, for the plant growth promoting bacteria, we can use them in reducing the effects of environmental stresses, and conducting non-environmental stresses on dryland conditions, as well as increasing in grain yield of dryland wheat.

Keywords: GGE Biplot, Seed inoculation, Yield improvement.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 469-486

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۸۶-۴۶۹

مقاله علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور)

سعید قوام‌سعیدی نوقابی[1*]، مصطفی یعقوب‌زاده[2]، حامد منصوری[3]، حسین حمامی[4]، مختار صالحی طبس[1] و محمدحسین نجفی مود[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱

قوام‌سعیدی نوقابی، س.، یعقوب‌زاده، م.، منصوری، ح.، حمامی، ح.، صالحی طبس، م.، و نجفی مود، م.ح.، ۱۳۹۹. شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی به‌کمک مدل SWAP با استفاده از مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم تغییر اقلیم (مطالعه موردی: مزرعه گندم *Triticum aestivum* L.) فاروب نیشابور). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۴۸۶-۴۶۹.

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی و در نتیجه، تشدید تغییرات پارامترهای اقلیمی، می‌تواند تأثیرات منفی زیادی را بر سیستم‌های مختلف از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه بخش‌های مرتبط با سیستم اقلیم بگذارد. لذا در این تحقیق برای شبیه‌سازی رطوبت ظرفیت زراعی خاک در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.) فاروب واقع در دشت نیشابور استفاده شد. داده‌های اقلیمی به‌کمک شش مدل GCM و دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ برآورد گردید و به‌کمک مدل LARS-WG ریزمقیاس شد و وارد مدل SWAP گردید. همچنین به‌منظور ارزیابی و دقت مدل SWAP از معیارهای آماری RMSE، MAE و R^2 استفاده شد. نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی نشان داد، دمای حداقل، حداکثر و بارش در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است و سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵، دمای بیشتر و بارش کمتری را برآورد کرده است. همچنین رطوبت خاک در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو کاهش یافته است. بررسی دامنه تغییرات مدل‌های GCM نشان داد، برای رطوبت هفتگی تحت هر دو سناریو، مدل CanESM2 و برای رطوبت سالیانه تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵، به‌ترتیب مدل‌های MIROC و IPSL دارای بیشترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی، بررسی دامنه تغییرات سناریوهای انتشار نشان داد، رطوبت هفتگی و سالیانه، به‌ترتیب از کمترین و بیشترین قطعیت نسبت به دوره پایه برخوردار هستند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، سناریو انتشار، مدل GCM، مدل LARS-WG.

مقدمه

با افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های موجود در قرن اخیر، پدیده تغییر اقلیم است (Van Pelt

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
۳- استادیار بخش تحقیقات چغندرقند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران.
۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: saeidghavam@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79665

(Swart, 2011 &. گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم[1] نشان می‌دهد که در صورت ادامه روند کنونی تولید گازهای گلخانه‌ای به‌دلیل مصرف سوخت‌های فسیلی، غلظت این گازها تا قبل از پایان قرن ۲۱ می‌تواند به بیش از ۶۰۰ قسمت در میلیون[2] برسد (IPCC, 2007). حال آن‌که اگر انتشار این گازها کاهش نیابد، تحت چهار سناریو جدید افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای ارائه شده در گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطحی کره زمین تا اواخر قرن ۲۱ بیش از ۱/۵ تا دو درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ میلادی افزایش می‌یابد که این افزایش دما در سال‌ها و دهه‌های مختلف، یکسان نیست (IPCC, 2013). از این رو، بررسی این پدیده برای مقابله، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در دوره‌های آتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

عبارت رطوبت خاک معمولاً به ذخیره موقت بارش در عمق بالای یک تا دو متری از خاکرخ اشاره دارد (Narasimhan & Srinivasan, 2005). نقش رطوبت خاک در منطقه ریشه به‌عنوان یک پارامتر کلیدی در هواشناسی، هیدرولوژی و کشاورزی به‌خوبی شناخته شده است. آگاهی مناسب از رطوبت خاک، برای درک و پیش‌بینی اثرات متقابل بین اقلیم، آب‌وهوا و فرآیند سطح زمین لازم است (Hosseinzadeh et al., 2018). اندازه‌گیری رطوبت خاک به‌طور مستقیم با استفاده از روش‌های درجا مانند نوترون‌متر و TDR یا به‌طور غیرمستقیم به‌وسیله توابع انتقالی و یا سنجش از دور انجام می‌شود (Khanmohammadi et al., 2015). امروزه برای ارزیابی داده‌های رطوبت خاک، مدل‌های زیادی برای شبیه‌سازی حرکت آب و املاح در خاک توسعه یافته‌اند. یکی از این مدل‌ها، مدل SWAP می‌باشد که برای شبیه‌سازی توازن آب و مواد محلول در یک خاک کشت شده با انواع مختلف شرایط مرزی شامل امکان زهکشی و مدیریت‌های مختلف آبیاری به‌کار می‌رود.

در زمینه اثر تغییر اقلیم بر رطوبت خاک، تحقیقاتی در داخل و خارج کشور انجام شده است. محققین با در نظر گرفتن تغییرات درجه حرارت هوا و بارندگی حاصل از سناریوهای اقلیمی A_2 و B_2 برای دوره‌های اقلیمی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۷۰-۲۰۳۹ در منطقه مربوطه و استفاده از مدل BUDGET، تأثیر تغییرات اقلیمی بر میزان رطوبت خاک و عکس‌العمل گندم (*Triticum aestivum* L.) دیم نسبت به آب در غرب اصفهان (داران) را در دوره‌های مذکور مورد بررسی قرار دادند (Khoshhal Dastjerdi et al., 2010). در حوضه ورمیلیون با استفاده از مدل WetSpa، اثر تغییر اقلیم بر روی دبی جریان و رطوبت خاک بررسی شد. در این تحقیق از مدل HADCM3 و دو سناریو A_2 و B_1 و مدل SDSM برای برآورد پارامترهای اقلیمی استفاده شد. نتایج نشان داد که کاهش بارش در فصل تابستان هم‌زمان با افزایش نیاز آبی، منجر به کاهش رطوبت خاک می‌شود که این امر می‌تواند اثر منفی بر روی پوشش گیاهی طبیعی و رشد محصولات دیم بگذارد (Tavakoli & De Smedt, 2012). در کشور آفریقایی مالاوی، اثر تغییر اقلیم بر مقدار رطوبت خاک را با استفاده از شش مدل GCM و سناریو RCP8.5 برای دهه ۲۰۵۰ میلادی به‌کمک مدل SWAT بررسی کردند. نتایج نشان داد که بارش و رطوبت خاک در شمال کشور افزایش، ولی در جهت جنوب مقادیر آن‌ها کاهش می‌یابد (Adhikari & Nejadhashemi, 2016). در تحقیقی دیگر، اثر متقابل رطوبت خاک و تغییرات آب‌وهوا با استفاده از مدل CESM، به‌کمک داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم در کشور سوئیس ارزیابی شد. نتایج حاکی از اهمیت تغییر رطوبت و تأثیر آن بر دمای خاک بود (Huser et al., 2017).

تاکنون تحقیقات زیادی در مورد اثرات تغییر اقلیم بر مدل‌های شبیه‌ساز رواناب انجام شده است، ولی در مورد تأثیرپذیری رطوبت ظرفیت زراعی خاک از تغییر اقلیم، تحقیقات نادری در سطح داخل و خارج کشور انجام شده است. این امر به‌دلیل این است که رطوبت خاک باید به‌وسیله یکی از مدل‌های جامع آب، خاک و گیاه برای دوره پایه و آتی شبیه‌سازی شود. بنابراین، این تحقیق با هدف شبیه‌سازی رطوبت خاک برای دوره آتی نسبت به دوره پایه، با استفاده از داده‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم و به‌کمک مدل SWAP انجام شد.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه مورد مطالعه

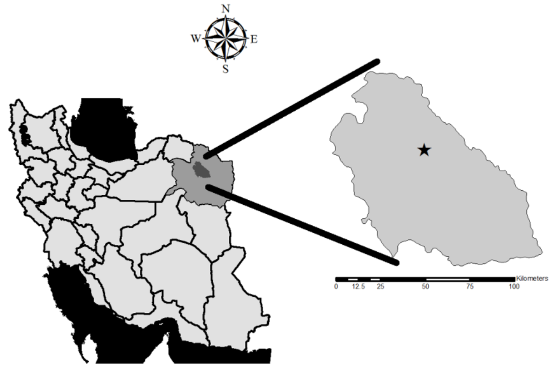
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، مزرعه فاروب دشت نیشابور واقع در استان خراسان رضوی می‌باشد (شکل ۱). وسعت این دشت حدود ۷۲۹۳ کیلومترمربع می‌باشد که ۵۶ درصد آن را دشت و بقیه را ارتفاعات تشکیل می‌دهند. دشت نیشابور از نظر موقعیت جغرافیایی

1- Intergovernmental panel climate change
2- Part per million

در حد فاصل ۵۸° ۱۳′ تا ۵۹° ۳۰′ طول شرقی و ۳۵° ۴۰′ تا ۳۶° ۳۹′ عرض شمالی قرار دارد. اقلیم منطقه نیمه‌خشک و خشک بوده و متوسط درجه حرارت و بارندگی سالیانه آن به‌ترتیب ۱۲ درجه سانتی‌گراد و ۲۹۲ میلی‌متر می‌باشد. میزان تبخیر به‌علت بالا بودن درجه حرارت هوا زیاد بوده و متوسط آن برای کل حوضه ۲۳۳۵ میلی‌متر در سال است (Yaghoobzadeh et al., 2017). مزرعه مورد مطالعه در این تحقیق سطحی حدود ۱۰۰ هکتار دارد. کشت گندم در این منطقه به‌صورت پاییزه بوده و مشخصات کاشت و برداشت گیاه در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی، به‌ترتیب در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است.

مشخصات مزرعه مورد مطالعه

اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت گیاه، خصوصیات خاک و آب مزرعه در جدول‌های ۱ تا ۳ ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور و استان

Fig. 1- Location of study area in the country and province

جدول ۱- مشخصات کاشت و برداشت گیاه مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

Table 1- Planting and harvesting specification used in the experimental farm

تاریخ کاشت Planting date		تاریخ برداشت Harvest data	
تاریخ شمسی Solar data	روز ژولیوسی Julius day	تاریخ شمسی Solar data	روز ژولیوسی Julius day
2008.10.1	275	2009.6.30	181

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

Table 2- Soil physical and chemical characteristics of experimental farm

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع EC of saturation extract ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	پژمردگی دائم PWP	ظرفیت زراعی FC	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0-30	1.06	8	7.3	20.1	1.51	لوم سیلتی Silty-loam	18	52	30

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده در مزرعه آزمایشی

Table 3- Water chemical characteristics used in experimental farm

هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	نسبت جذب سدیم SAR	کاتیون‌ها Cations ($meq.lit^{-1}$)				آنیون‌ها Anions ($meq.lit^{-1}$)			
			Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	K^{+}	Cl^{-}	HCO_3^{-}	CO_3^{2-}	SO_4^{2-}
0.6	7.9	3.5	3.5	1	3.5	1.1	2.5	2.8	0	1

روش انجام تحقیق

روش انجام تحقیق بدین صورت است که ابتدا مدل SWAP با استفاده از داده‌های هواشناسی و زراعی منطقه اجرا شد و رطوبت برای عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعد برای اطمینان از نتایج شبیه‌سازی رطوبت، نتایج رطوبت مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت در سال زراعی ۲۰۰۹-۲۰۰۸ واسنجی و صحت‌سنجی شد. رطوبت در یک یا دو روز بعد از آبیاری توسط دستگاه رطوبت‌سنج TDR اندازه‌گیری شده است که حدوداً مقدار آن معادل ظرفیت زراعی می‌باشد. عمل واسنجی با استفاده از ۶۵ درصد داده‌ها و صحت‌سنجی با استفاده از ۳۵ درصد بقیه داده‌ها در طی دوره رشد گیاه انجام شد. بعد از اطمینان از صحت نتایج مدل، رطوبت خاک برای دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) شبیه‌سازی گردید. سپس برای برآورد مقادیر رطوبت در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) به‌کمک شش مدل و دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵، نسبت مقادیر ماهانه پارامترهای هواشناسی دوره آتی به دوره پایه برآورد گردید. به‌منظور تولید سناریوهای روزانه پارامترهای هواشناسی دوره آتی به‌کمک داده‌های مشاهداتی (۲۰۱۱-۱۹۹۲) ایستگاه سینوپتیک نیشابور، پارامترهای دما و بارش با استفاده از مدل LARS-WG[1] ریزمقیاس شد. در نهایت، مدل SWAP با استفاده از سناریوهای روزانه تغییراقلیم هواشناسی و داده‌های زراعی دوره پایه، رطوبت موجود در خاک را برای دوره آتی شبیه‌سازی نمود. همچنین برای ارزیابی عدم قطعیت نتایج رطوبت، از باندهای عدم قطعیت یا باکس پلات استفاده شد. به‌طوری‌که هر چه دامنه باکس کمتر باشد، نشان‌دهنده قطعیت بیشتر در تخمین رطوبت می‌باشد.

سناریوها و مدل‌های مورد استفاده

در حال حاضر معتبرترین ابزار جهت تولید سناریوهای تغییر اقلیم، مدل‌های GCM می‌باشند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم خوداز سناریوهای جدید تحت عنوان RCP[2] استفاده نموده است. سناریوهای RCP شامل یک سناریو کاهشی سخت‌گیرانه (RCP2.6)، دو سناریو حد واسط (RCP4.5, RCP8.5) و یک سناریو بدبینانه (RCP8.5) با تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا می‌باشند (IPCC, 2013). برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات آن‌ها در دوره آتی، از شش مدل GCM در ترکیب با دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد. پارامترهای اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق شامل دمای حداقل، حداکثر و بارش بوده که یکی از مهم‌ترین موارد تأثیرگذار بر رطوبت خاک می‌باشند. خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق، در جدول ۴ ارائه شده است.

مدل LARS-WG

به‌منظور ریزمقیاس نمایی و تبدیل داده‌ها از مقیاس بزرگ‌تر و ماهانه به مقیاس کوچک‌تر و روزانه از مدل LARS-WG استفاده شد. مدل LARS-WG یکی از پرکاربردترین مدل‌های آماری در کاهش مقیاس خروجی‌های مدل گردش عمومی جو محسوب می‌شود. این مدل از نوع مولدهای آب‌وهوایی است که می‌تواند سری‌های زمانی روزانه دمای حداقل، حداکثر، بارندگی و تابش خورشید را تولید کند. برای این منظور از داده‌های روزانه مشاهده شده یک ایستگاه مشخص استفاده می‌کند تا یک مجموعه از پارامترها را برای توزیع‌های احتمال متغیرهای هواشناسی و همچنین همبستگی بین آن‌ها تولید کند. این مجموعه از پارامترها برای تولید سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی ساختگی با طول دوره دلخواه استفاده می‌شود (Semenov, 2008).

شاخص‌های ارزیابی

به‌منظور ارزیابی و دقت مدل SWAP، از سنجه‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا[3](RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا[4] (MAE) و ضریب تبیین[5] (R^2) استفاده شد (معادلات ۳-۱).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - x_m\right)^2}{n}}$$ معادله (۱)

1- Long Ashton Research Station-Weather Generator
2- Representative concentration pathways
3- Root mean square error
4- Mean absolute error
5- Coefficient of determination

جدول ٤- خصوصیات مدل‌ها و سناریوهای مورد استفاده در این تحقیق
Table 4- Models and scenarios characteristics used in this research

اندازه تفکیک (طول×عرض جغرافیایی، درجه) Horizontal resolution (latitude×longitude, degree)	کشور مؤسس Founder country	نام مدل Model name	سناریوهای انتشار Emotion scenarios
1.25×1.875	کانادا Canada	CanESM2	RCP4.5 & RCP8.5
2.5×2	آمریکا America	GFDL	
1.77×2.81	ژاپن Japan	MIROC	
1.875×3.75	فرانسه France	IPSL	
1.8×1.8	استرالیا Australia	CSIROMK3.6	
2×2	آمریکا America	GISS-ES-R	

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|x_i - x_m|}{n}$$ معادله (۲)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_m - \overline{x_m})^2}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \overline{x_m})^2}$$ معادله (۳)

که در این معادلات، x_i: مقادیر پیش‌بینی شده، x_m: مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده شده)، n: تعداد کل مشاهدات و $\overline{x_m}$: مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است. شاخص R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. از سوی دیگر، RMSE و MAE کمتر نشان‌دهنده آن است که مدل با خطای کمتری نسبت به پیش‌بینی مقادیر اقدام می‌نماید (Dehghan et al., 2011).

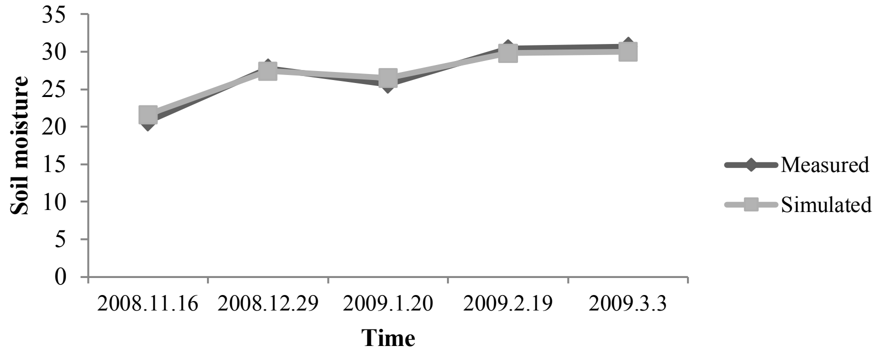
نتایج و بحث

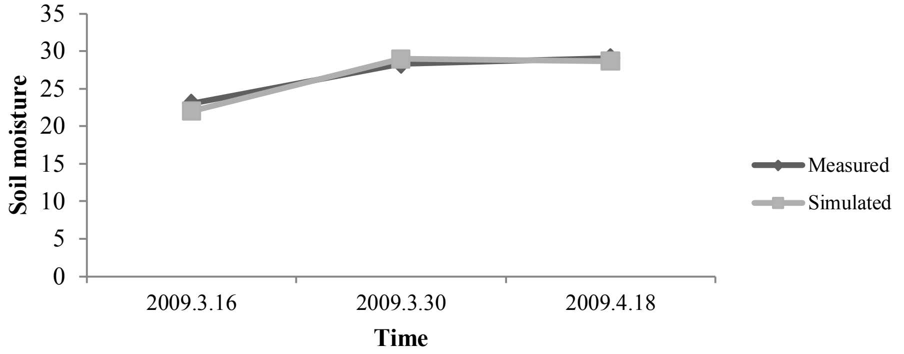
واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP

در این تحقیق، گراف نقطه‌ای بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده رطوبت ظرفیت زراعی خاک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP ترسیم و در شکل ۲ ارائه شده است. وجود ضرایب تبیین (R^2) ۷۹/۵ و ۷۲ درصد بین نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، نشان‌دهنده توانایی مدل SWAP در شبیه‌سازی رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک است (جدول ۵). نتایج این بخش در مقایسه با نتایج تحقیقات دیگر محققین در زمینه واسنجی و صحت‌سنجی مدل SWAP به‌منظور شبیه‌سازی رطوبت خاک، از مقبولیت خوبی برخوردار است (Nahvinia et al., 2018; Yaghoobzadeh et al., 2018).

داده‌های اقلیمی تحت شرایط تغییر اقلیم آتی

جدول ۶ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای دوره آتی نسبت به دوره پایه (baseline) افزایش یافته است. در تحقیق سیاری و همکاران (Sayari et al., 2013) مشابه نتایج این بخش، افزایش اندک در بارش، دمای حداکثر و حداقل برای سال‌های آتی برآورد شده است. از طرفی، به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵، افزایش بیشتری در دما و کاهش بیشتری در بارش را نشان می‌دهد که بیانگر بدبینانه بودن سناریو ۸/۵ می‌باشد. در تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران (Yaghoobzadeh et al., 2017) که با استفاده از داده‌های گزارش چهارم تغییر اقلیم انجام شد، سناریو A_2 نسبت به B_1، افزایش بیشتری در دما و بارش داشت و این امر، بدبینانه بودن سناریو A_2 را آشکارتر می‌کند.





شکل ۲- واسنجی (بالا) و صحت‌سنجی (پایین) مدل SWAP با داده‌های رطوبت عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک

Fig. 2- Calibration (top) and Validation (bottom) of SWAP model with soil moisture data of 30 cm depth

جدول ۵- ارزیابی مقادیر رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده

Table 5- Estimation of simulated and measured soil moisture content

ارزیابی مدل Model estimation	عمق Depth (cm)	MAE (%)	RMSE (%)	R^2 (%)
واسنجی Calibration	0-30	0.045	2.31	79.5
صحت‌سنجی Validation		0.12	2.47	72

جدول ٦- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 6- Daily average values of climate parameters in the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
RCP4.5	8.40	22.22	0.71
RCP8.5	8.64	22.56	0.69

جدول ۷ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد. این

جدول مشخص می‌کند دمای حداقل، حداکثر و بارش برای اکثر مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها در برآورد پارامترهای اقلیمی دوره آتی نسبت به دوره پایه، بیشترین وکمترین افزایش دمای حداقل به‌ترتیب مربوط به مدل‌های IPSL و GFDL و بیشترین و کمترین افزایش دمای حداکثر و بارش به‌ترتیب مربوط به مدل‌های CanESM2 و CSIROMK3.6 بود. همچنین مدل‌های GFDL و GISS-ES-R مقادیر دمای حداکثر را در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمتر برآورد کرده‌اند و مدل MIROC مقدار بارش را در دوره آتی برابر با دوره پایه برآورد کرده است.

جدول ۷- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ٤/٥

Table 7- Daily average values of climate parameters in the base and future periods for GCM models under the scenario 4.5

مدل Model	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
CanESM2	8.31	23.39	0.79
GFDL	7.92	21.37	0.75
MIROC	8.73	22.27	0.63
IPSL	8.78	22.57	0.71
CSIROMK3.6	8.45	22.21	0.65
GISS-ES-R	8.19	21.54	0.74

جدول ۸ مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی را در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای اکثر مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها در برآورد پارامترهای اقلیمی دوره آتی نسبت به دوره پایه، بیشترین و کمترین افزایش دمای حداقل به‌ترتیب مربوط به مدل‌های MIROC و GISS-ES-R، بیشترین و کمترین افزایش دمای حداکثر به‌ترتیب مربوط به مدل‌های CanESM2 و GFDL و بیشترین و کمترین افزایش بارش به‌ترتیب مربوط به مدل‌های GISS-ES-R و IPSL بود. همچنین مدل GISS-ES-R مقدار دمای حداکثر و مدل CSIROMK3.6 مقدار بارش را در دوره آتی نسبت به دوره پایه کمتر برآورد کرده‌اند.

جدول ۸- مقادیر متوسط روزانه پارامترهای اقلیمی در دوره پایه و آتی برای مدل‌های GCM تحت سناریو ۸/۵

Table 8- Daily average values of climate parameters in the base and future periods for GCM models under the scenario 8.5

مدل Model	دمای حداقل Minimum temperature (℃)	دمای حداکثر Maximum temperature (℃)	بارش Precipitation (mm)
Baseline	6.80	22.08	0.63
CanESM2	8.55	23.70	0.74
GFDL	8.49	22.15	0.66
MIROC	8.95	22.57	0.71
IPSL	8.83	22.56	0.64
CSIROMK3.6	8.63	22.54	0.62
GISS-ES-R	8.41	21.82	0.78

وضعیت رطوبت موجود در خاک در دوره پایه و آتی

رطوبت ظرفیت زراعی خاک یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد گیاه و بیلان آب در مزرعه می‌باشد. جدول ۹ مقادیر متوسط حداقل، حداکثر و میانگین رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی را برای هر هفته از ۳۳ هفته دوره رشد گیاه در طی دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، مقادیر رطوبت هفتگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. در تحقیق یعقوب‌زاده و همکاران

(Yaghoobzadeh et al., 2017) نیـز مشـابه نتـایج ایـن بخـش، رطوبت هفتگی در دوره آتی نسبت به دوره پایه کاهش یافتـه اسـت. به‌منظور مقایسه سناریوها در بـرآورد رطوبـت هفتگـی، سـناریو ۴/۵ رطوبت حداقل و میانگین بیشتر و رطوبت حداکثر کمتری را نسبت به سناریو ۸/۵ برآورده کرده اسـت. تفـاوت حـداقل و حـداکثر رطوبـت هفتگی خاک برای سناریو ۸/۵ نسـبت بـه سـناریو ۴/۵ و دوره پایـه بیشتر بوده و ایـن بیـانگر عـدم یکنـواختی توزیـع رطوبـت در طـی هفته‌های پس از رشد گیاه می‌باشد.

جدول ۹- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 9- Average values of weekly moisture in the base and future periods under two scenarios 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	رطوبت هفتگی Weekly moisture		
	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum
Baseline	0.301	0.342	0.233
RCP4.5	0.295	0.338	0.213
RCP8.5	0.294	0.339	0209

جدول ۱۰ مقادیر متوسـط حـداقل، حـداکثر و میـانگین رطوبـت ظرفیت زراعی سالیانه را برای دوره پایه و آتی در طی ۳۳ هفته دوره رشد گیاه تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به جدول، مقادیر رطوبت سالیانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه بـرای هـر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. وینتر و همکاران (Winter et al., 2015) نیز در تحقیق خود به کـاهش رطوبـت در آینـده اشـاره کردند. به‌منظور مقایسه سناریوها در برآورد رطوبت سـالیانه، سـناریو ۴/۵ رطوبت حداقل و میانگین بیشـتر و رطوبـت حـداکثر کمتـری را نسبت به سناریو ۸/۵ برآورده کرده اسـت. تفـاوت حـداقل و حـداکثر رطوبت سالیانه خاک برای دوره پایه نسبت به هـر دو سـناریو ۴/۵ و ۸/۵ بیشتر بـوده و ایـن عـدم یکنـواختی توزیـع رطوبـت را در طـی سال‌های دوره پایه نشان می‌دهد.

جدول ۱۰- مقادیر متوسط رطوبت سالیانه در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 10- Average values of yearly moisture in the base and future periods under two scenarios 4.5 and 8.5

سناریوهای انتشار Emotion scenarios	رطوبت سالیانه Yearly moisture		
	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum
Baseline	0.300	0.316	0.282
RCP4.5	0.295	0.307	0.282
RCP8.5	0.294	0.309	0.279

جدول ۱۱ مقادیر متوسـط حـداقل، حـداکثر و میـانگین رطوبـت ظرفیت زراعی هفتگی را در دوره پایه و آتی برای شش مـدل GCM و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. با توجه به این جدول مشخص می‌شود در چه هفته‌ای گیاه دچار کمبود رطوبت و تنش آبی شده است و یا چه هفته‌ای گیاه از شرایط رطوبتی خوبی برخـوردار بـوده اسـت. برای سناریو ۴/۵، بیشترین و کمترین مقادیر رطوبت هفتگی به‌ترتیب توسط مدل‌های CanESM2 و MIROC، ولی بـرای سـناریو ۸/۵، به‌ترتیب توسط مدل‌های CanESM2 و GFDL برآورد شـده اسـت. به‌منظور مقایسه سناریوها، مقادیر رطوبت هفتگی بـرای سـناریو ۴/۵ نسبت به سناریو ۸/۵ بیشتر بـود. بـرای سـناریو ۸/۵، مـدل GFDL دارای حداقل رطوبت ۰/۲۰۹ بوده که بر طبق این مدل، گیاه در یکی از هفته‌های دوره رشد خود، دچار کمبود رطوبت خواهد شد. همچنین با توجه به جدول مشخص است که اولاً مقادیر رطوبت برای هفتـه-های دوره رشد گیاه در طی دوره پایه، از سایر مدل‌هـا در دوره آتـی بیشتر بوده و ثانیاً تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفته‌ها نیز در دوره پایه کمتر از سایر مدل‌ها در دوره آتی می‌باشد. این امر می‌تواند سبب

شود در مراحلی از رشد گیاه، تنش زیادی به گیاه وارد شود و کـاهش عملکرد را به دنبال داشته باشد. نتایج به‌دست آمده در این بخـش بـا نتایج تحقیق روان و همکاران (Ruane et al., 2013) مطابقت دارد.

جدول ۱۱- مقادیر متوسط رطوبت هفتگی برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 11- Average values of weekly moisture for the six GCM models under two scenarios of 4.5 and 8.5

مدل Model	سناریوهای انتشار Emotion scenarios					
	RCP4.5			RCP8.5		
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean
CanESM2	0.216	0.337	0.298	0.232	0.334	0.297
GFDL	0.215	0.337	0.295	0.209	0.337	0.291
MIROC	0.219	0.335	0.292	0.220	0.335	0.293
IPSL	0.224	0.338	0.295	0.214	0.336	0.292
CSIROMK3.6	0.213	0.336	0.293	0.212	0.337	0.293
GISS-ES-R	0.227	0.337	0.296	0.219	0.339	0.295
Baseline	0.233	0.342	0.301	0.233	0.342	0.301

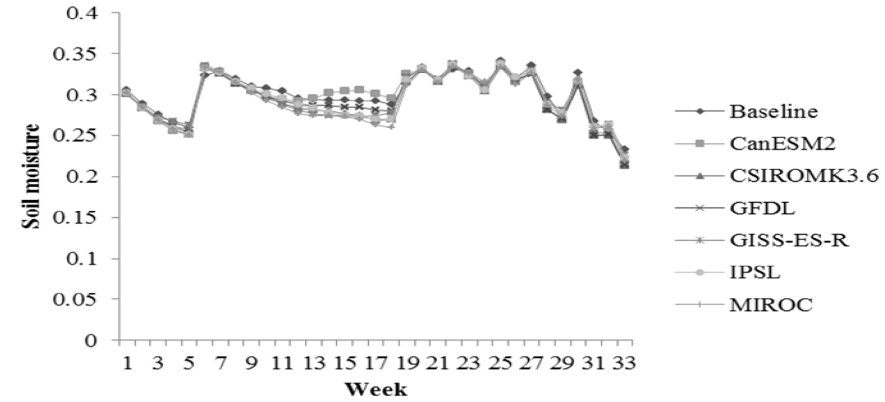
جدول ۱۲ مقادیر متوسـط حـداقل، حـداکثر و میـانگین رطوبـت ظرفیت زراعی سالیانه را در دوره پایه و آتی برای شش مدل GCM و دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. بـرای سـناریو ۴/۵، بیشـترین و کمترین مقادیر رطوبت سالیانه به‌ترتیب توسط مدل‌های Canesm2 و MIROC، ولـی بـرای سـناریو ۸/۵، بـه‌ترتیـب توسـط مـدل‌هـای CanESM2 و GFDL برآورد شده است. به منظور مقایسه سناریوها، مقادیر رطوبت سالیانه برای سناریو ۴/۵ نسبت به سناریو ۸/۵ بیشـتر بود. بـرای سـناریو ۸/۵، مـدل هـای GFDL و IPSL دارای حـداقل رطوبت ۰/۲۷۹ بـوده کـه نشـان از شـرایط کـم‌رطـوبتی در یکـی از سال‌های دوره آتی در مزرعه دارد.

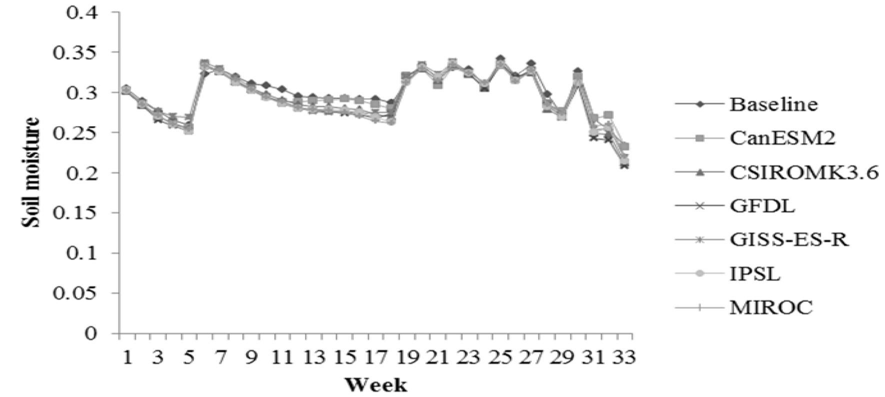
جدول ۱۲- مقادیر متوسط رطوبت سالیانه برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ٤/٥ و ٨/٥

Table 12- Average values of yearly moisture for the six GCM models under two scenarios of 4.5 and 8.5

مدل Model	سناریوهای انتشار Emotion scenarios					
	RCP4.5			RCP8.5		
	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean	حداقل Minimum	حداکثر Maximum	میانگین Mean
CanESM2	0.284	0.307	0.298	0.287	0.304	0.297
GFDL	0.289	0.306	0.295	0.279	0.303	0.291
MIROC	0.282	0.302	0.292	0.284	0.302	0.293
IPSL	0.284	0.305	0.295	0.279	0.301	0.292
CSIROMK3.6	0.286	0.304	0.293	0.286	0.304	0.293
GISS-ES-R	0.288	0.305	0.296	0.283	0.309	0.295
Baseline	0.282	0.316	0.300	0.282	0.316	0.300

شکل ۳ روند تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی را بـرای دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در طی دوره رشد گیاه مشخص می‌کند. با توجه به شکل مشخص می‌شود در هـر یـک از هفتـه‌هـای دوره رشـد گیـاه، رطوبت هفتگی خاک در طی دوره آتی نسبت بـه دوره پایـه چگونـه تغییر می‌نماید و در چه هفته‌هایی گیاه از کمترین رطوبـت برخـوردار بوده است. هفته‌های ۱۰، ۱۱، ۲۷، ۲۸ و ۳۰ در طی دوره رشد گیـاه، هفته‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند.





شکل ۳- تغییرات رطوبت هفتگی خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 3- The weekly moisture variations of the soil in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)

شکل ۴ روند تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه را برای دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در طی دوره پایه و آتی مشخص می‌کند. با توجه به شکل مشخص می‌شود در هر یک از سال‌های دوره آتی نسبت به دوره پایه، رطوبت سالیانه خاک در طی دوره رشد گیاه چگونه تغییر می‌نماید و در چه سال‌هایی گیاه از کمترین رطوبت برخوردار بوده است. سال‌های ۱، ۳، ۶، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ در طی دوره آتی، سال‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند.

عدم قطعیت مدل‌های GCM در برآورد رطوبت خاک

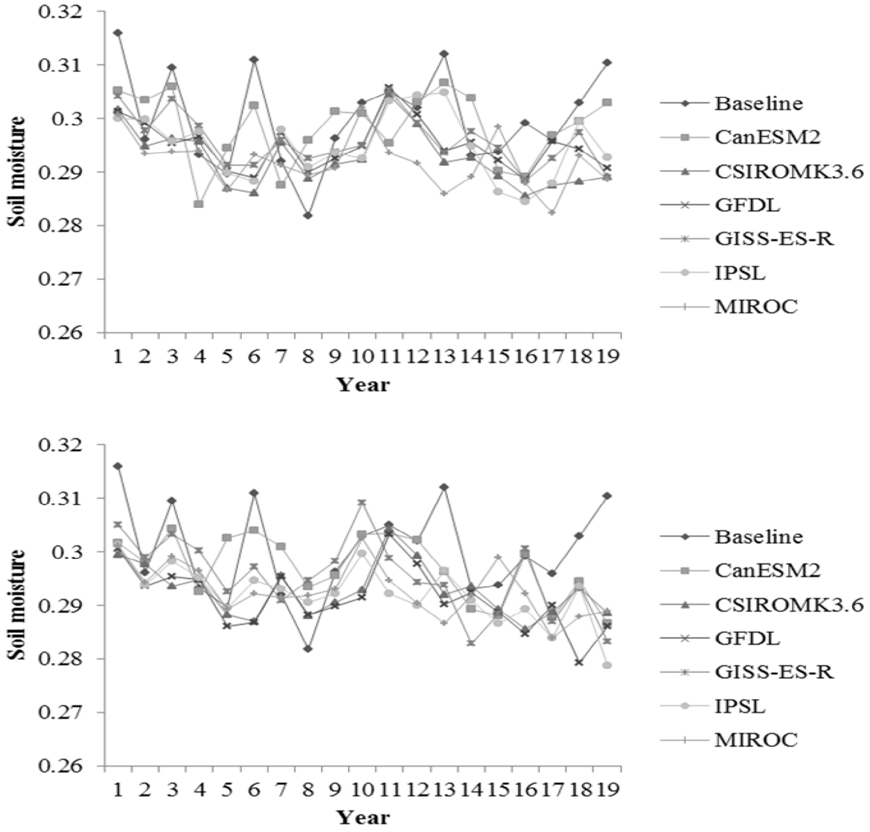
دامنه تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی هفتگی خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در شکل ۵ نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های CanESM2 و GFDL و تحت سناریو ۸/۵، مدل CanESM2 به‌دلیل ضخامت کمتر باند، از قطعیت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. از طرفی، با توجه به شکل برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵، رطوبت در تمامی مدل‌ها روند کاهشی دارد.

دامنه تغییرات رطوبت ظرفیت زراعی سالیانه خاک برای شش مدل GCM تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در شکل ۶ نشان داده شده است. به‌منظور مقایسه مدل‌ها تحت سناریو ۴/۵، مدل MIROC به‌دلیل ضخامت کمتر باند و مدل IPSL به‌دلیل ضخامت بیشتر باند به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین قطعیت، ولی تحت سناریو ۸/۵، مدل IPSL به‌دلیل ضخامت کمتر باند دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های CanESM2 و GISS-ES-R به‌دلیل ضخامت بیشتر باند دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند. از طرفی، مقادیر رطوبت در دوره آتی نسبت به دوره پایه، برای تمامی مدل‌ها و

تحت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کمتر برآورد شده است.

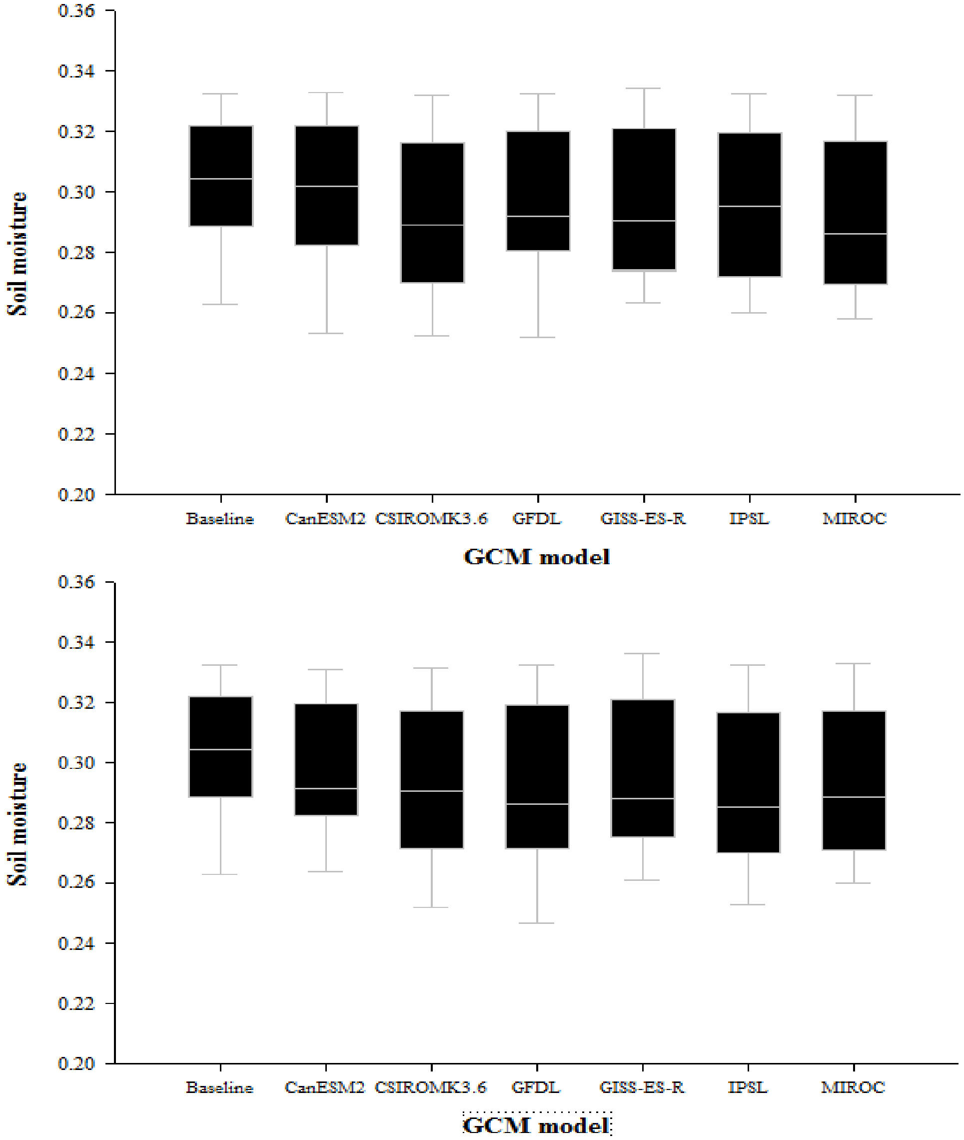
عدم قطعیت سناریوهای انتشار در برآورد رطوبت خاک

برای نشان دادن دامنه تغییرات سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ در تخمین رطوبت ظرفیت زراعی خاک از شش مدل GCM استفاده شد. در شکل ۷ دامنه تغییرات رطوبت هفتگی تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان داده شده است. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه کمتر است و سناریو ۸/۵، رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو ۴/۵ کمتر برآورد کرده است. شکل ۸ دامنه تغییرات رطوبت سالیانه را تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نشان می‌دهد. در این شکل، قطعیت هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه بیشتر است و سناریو ۸/۵، رطوبت را نسبت به دوره پایه و سناریو ۴/۵ کمتر برآورد کرده است.



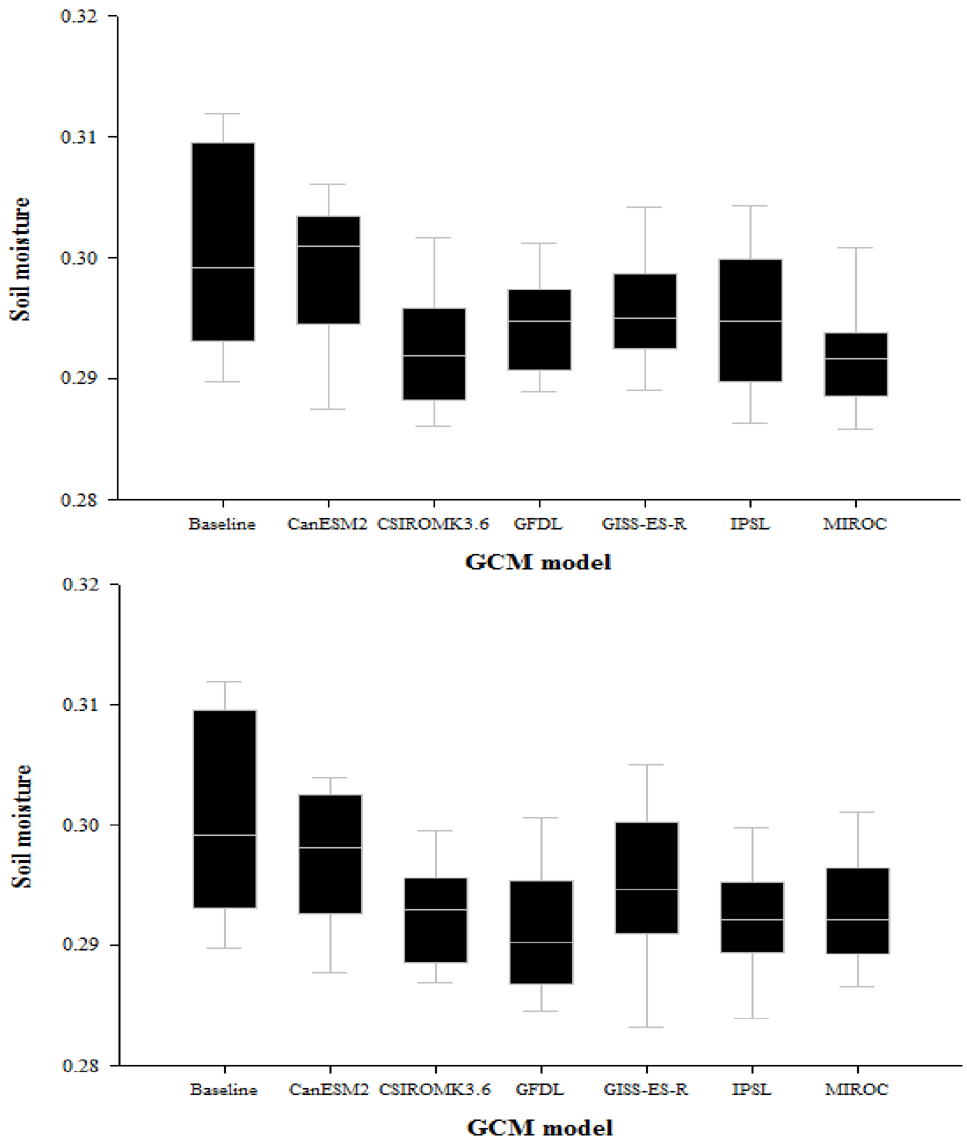
شکل ٤- تغییرات رطوبت سالیانه خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 4- The yearly moisture variations of the soil in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



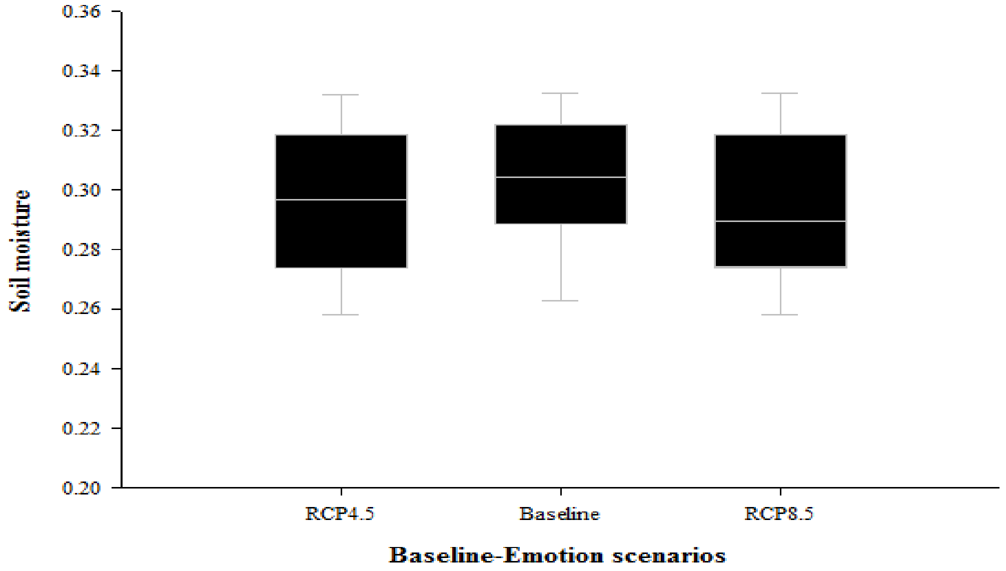
شکل ۵- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ۸/٥ (پایین)

Fig. 5- Box plot of average values of weekly soil moisture in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



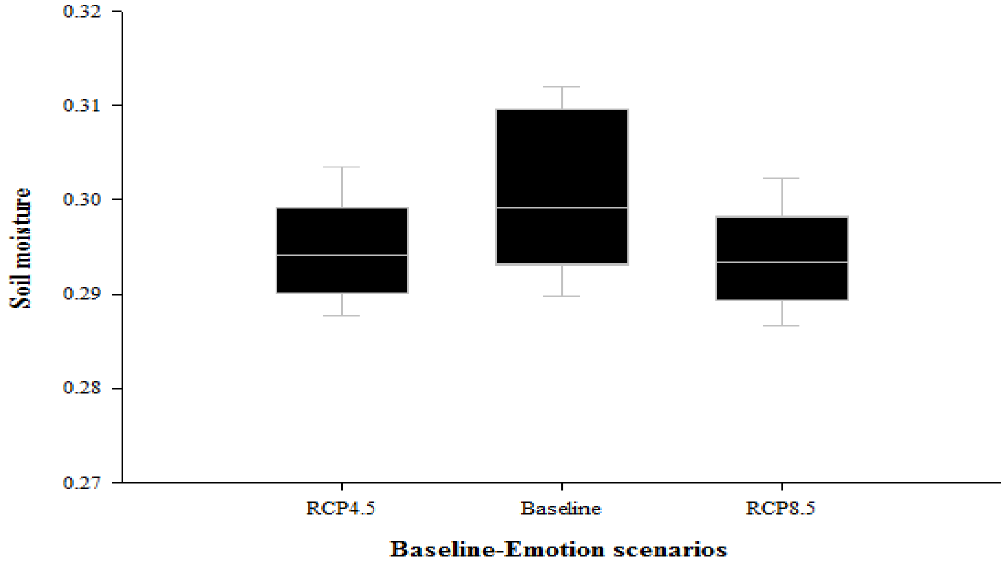
شکل ٦- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت سالیانه خاک در دوره پایه و آتی تحت دو سناریو ٤/٥ (بالا) و ٨/٥ (پایین)

Fig. 6- Box plot of average values of yearly soil moisture in the base and future periods under two scenarios of 4.5 (top) and 8.5 (bottom)



شکل ۷- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت هفتگی در طی دوره پایه و آتی تحت دو **سناریو** ٤/٥ و ٨/٥

Fig. 7- Box plot of average values of weekly moisture during the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5



شکل ۸- نمودار جعبه‌ای مقادیر متوسط رطوبت سالیانه در طی دوره پایه و آتی تحت دو **سناریو** ٤/٥ و ٨/٥

Fig. 8- Box plot of average values of yearly moisture during the base and future periods under two scenarios of 4.5 and 8.5

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، برای تولید داده‌های اقلیمی و مشخص شدن تغییرات پارامترهای هواشناسی در دوره آتی (۲۰۳۹-۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۱۱-۱۹۹۲) از شش مدل GCM تحت تأثیر دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ استفاده شد. به‌منظور ریزمقیاس نمایی داده‌های اقلیمی روزانه، از مدل LARS-WG استفاده شد و پارامترهای اقلیمی برای دوره آتی برآورد گردید. سپس به‌کمک مدل SWAP، مقادیر رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک تعیین شد و در نهایت، وضعیت

رطوبت خاک تحت سناریوهای اقلیمی در دوره پایه و آتی بررسی شد.

نتایج تغییرات پارامترهای اقلیمی نشان داد، دمای حداقل، حداکثر و بارش برای مدل‌های GCM در دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. در مقایسه سناریوها، سناریو ۸/۵ نسبت به ۴/۵، افزایش بیشتری در دما و کاهش بیشتری در بارش را نشان داد.

میانگین رطوبت ظرفیت زراعی خاک در طی دوره پایه و آتی تعیین شد. نتایج نشان داد که رطوبت خاک در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ کاهش یافته است. با این‌وجود، سناریو ۴/۵ مقادیر بیشتری از رطوبت را نسبت به سناریو ۸/۵ برای شش مدل GCM نشان داد. پایین بودن مقدار رطوبت سناریو ۸/۵ به‌دلیل دمای بیشتر و بارش کمتر نسبت به سناریو ۴/۵ بود. تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت هفتگی خاک برای سناریو ۸/۵ نسبت به سناریو ۴/۵ و دوره پایه بیشتر بوده و این بیانگر عدم یکنواختی توزیع رطوبت در طی هفته‌های پس از رشد گیاه می‌باشد. با توجه به روند تغییرات رطوبت هفتگی، هفته‌های ۱۰، ۱۱، ۲۷، ۲۸ و ۳۰ در طی دوره رشد گیاه، هفته‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند. نتایج قطعیت رطوبت هفتگی نشان داد، تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های CanESM2 و GFDL و تحت سناریو ۸/۵، مدل CanESM2 از قطعیت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. همچنین تفاوت حداقل و حداکثر رطوبت سالیانه خاک برای دوره پایه نسبت به سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ بیشتر بوده و این عدم یکنواختی توزیع رطوبت را در طی سال‌های دوره پایه نشان می‌دهد. با توجه به روند تغییرات رطوبت سالیانه، سال‌های ۱، ۳، ۶، ۱۳، ۱۸ و ۱۹ در طی دوره آتی، سال‌های هشداردهنده برای هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه می‌باشند. نتایج قطعیت رطوبت سالیانه نشان داد، تحت سناریو ۴/۵، مدل‌های MIROC و IPSL به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین قطعیت، ولی تحت سناریو ۸/۵، مدل IPSL دارای بیشترین قطعیت و مدل‌های CanESM2 و GISS-ES-R دارای کمترین قطعیت نسبت به سایر مدل‌ها می‌باشند.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از پشتیبانی دانشگاه بیرجند از این تحقیق که در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه ۸۷۵/د/۱۳۹۷مورخ ۱۳۹۷/۱/۲۶ انجام شده است، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Adhikari, U., and Nejadhashemi, A.P., 2016. Impacts of climate change on water resources in Malawi. Journal of Hydrologic Engineering 21(11): 1084-0699.

Dehghan, H., Alizadeh, A., and Haghayeghi, S.A., 2011. Water balance components estimating in farm Scale Using Simulation Model SWAP. Journal of Water and Soil 24(6): 1265-1275. (In Persian with English Summary)

Hauser, M., and Orth, R., 2017. Investigating soil moisture-climate interactions with prescribed soil moisture experiments: An assessment with the Community Earth System Model. Geoscientific Model Development 10(4): 1665-1677.

Hosseinzadeh, J., Tongo, A., Najafifar, A., and Hosseini, A., 2018. Relationship between soil moisture changes and climatic indices in the Mele-Siah Forest Site of Ilam province. Journal of Water and Soil 32(4): 821-830. (In Persian with English Summary)

Khanmohammadi, F., Homaee, M., and Noroozi, A., 2015. Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. Journal of Soil and Water Resources Conservation 4(2): 37-45. (In Persian with English Summary)

Khoshhal Dastjerdi, J., Mostafavi Darani, S.M., and Ghatre Samani, M., 2010. Effects of changes on soil moisture in wheat cultivar (Case study: Daran-Isfahan province). The First International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran, 14-15 November 2010. (In Persian with English Summary)

Nahvinia, M.J., Moaveni, B., and Shahidi, A., 2018. Assessment of SWAP Model in estimating the slinity and soil moisture content (Case study: Birjand). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 12(5): 1174-1188. (In Persian with English Summary)

Narasimhan, B., and Srinivasan, R., 2005. Development and evaluation of Soil Moisture Deficit Index (SMDI) and Evapotranspiration Deficit Index (ETDI) for agricultural drought monitoring. Agricultural and Forest Meteorology

133(1-4): 69-88.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van Der Linden, P.J., and Hanson, C.E., 2007. IPCC, 2007: climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge Uni-versity Press, Cambridge, UK.

Ruane, A.C., Cecil, L.D., Horton, R.M., Gordón, R., McCollum, R., Brown, D., Killough, B., Goldberg, R., Greeley, A.P., and Rosenzweig, C., 2013. Climate change impact uncertainties for maize in Panama: Farm information, climate projections, and yield sensitivities. Agricultural and Forest Meteorology 170: 132-145.

Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., and Farid, A., 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (Case study: Kashafrood basin). Meteorological Applications 20(1): 115-127.

Semenov, M.A., 2008. Impacts of climate change on wheat in England and Wales. Journal of the Royal Society Interface 6(33): 343-350.

Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., and Midgley, B.M., 2013. IPCC, 2013: climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to The Fifth Assessment Report of The Intergovernmental Panel on Climate Change.

Tavakoli, M., and De Smedt, F., 2011. Impact of climate change on streamflow and soil moisture in the Vermilion Basin, Illinois. Journal of Hydrologic Engineering 17(10): 1059-1070.

Van Pelt, S.C., and Swart, R.J., 2011. Climate change risk management in transnational river basins: the Rhine. Water Resources Management 25(14): 3837-3861.

Winter, J.M., Yeh, P.J.F., Fu, X., and Eltahir, E.A.B., 2015. Uncertainty in modeled and observed climate change impacts on American Midwest hydrology. Water Resource Research 51(5): 3635-3646.

Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., and Pourreza-Bilondi, M., 2018. An uncertainty analysis of general circulation models for estimation of soil moisture affected by climate change. Iranian Jornal of Soil and Water Research 48(5): 1109-1119. (In Persian with English Summary)

Yaghoobzadeh, M., Amirabadizadeh, M., Ramezani, Y., and Pourreza-bilondi, M., 2017. The investigation of uncertainty emissions scenarios of climate change in soil moisture estimation during the growing season of wheat. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 11(4): 586-596. (In Persian with English Summary)

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 469-486

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۴۸۶-۴۶۹

Simulation of Soil Moisture for the Upcoming Period by SWAP Model using Climate Change Models and Fifth Report Scenarios (Case Study: Wheat (*Triticum aestivum* L.) Field in Faroub of Neyshabour)

S. Ghavamsaeidi Noghabi[1*], M. Yaghoobzadeh[2], H. Mansoori[3], H. Hammami[4], M. Salehi Tabas[1] and M.H. Najafi Mood[2]

Submitted: 11-03-2019
Accepted: 22-05-2019

Ghavamsaeidi Noghabi, S., Yaghoobzadeh, M., Mansoori, H., Hammami, H., Salehi Tabas, M., and Najafi Mood, M.H., 2020. Simulation of soil moisture for the upcoming period by SWAP model using climate change models and fifth report scenarios (case study: wheat (*Triticum aestivum* L.) field in Faroub of Neyshabour). Journal of Agroecology 12(3):469-486.

Introduction

Climate change is one of the major challenges which society will face during current century. Temperatures are projected to increase up to 2 ºC by 2100, which is expected to result in major changes in the atmosphere's energy balance and the hydrological cycle. The term soil moisture generally refers to temporary storage of precipitation at a depth of 1 to 2 meters from the soil profile). Soil moisture in the root zone well known as a very important factors that severely effects on crop productivity. Hence, the study of soil moisture changes is crucial for the planning and managing water resources in the coming periods. Accordingly, this study was conducted in order to predict and stimulate soil moisture in upcoming period (2020-2039) according to baseline (1992-2011).

Materials and Methods

The study area in this research was Neyshabour plain located in Khorasan Razavi province. At first, SWAP model implemented using meteorological and agronomic data from study area, and soil moisture of field capacity is simulated for 30 cm soil depth. Then, to ensure the results of moisture simulation, the moisture content of the model is calibrated and validated using the measured soil moisture content of the 2008-2009. After ensuring the accuracy of the model results, soil moisture is simulated for the baseline (1992-2011). Then, to estimate moisture content in the upcoming period (2020-2039) six models (CanESM2, GFDL, MIROC, IPSL, CSIROMK3.6, and GISS-ES-R) and two emotion scenarios (RCP4.5 and 8.5) were used, as well as the ratio of the weekly and yearly values of the meteorological parameters of the upcoming period, which estimated using the baseline. In addition, to evaluate SWAP model accuracy, Root Mean-Squared Error (RMSE), Mean Absolute Error (MAE), and Coefficient of Determination (R^2) were used. Data obtained by Neyshabur Synoptic Station (1992-2011) were utilized in order to determine daily weather patterns and future weather parameters. Temperature and precipitation parameters determined by the LARS-WG model.

Results and Discussion

In order to use the SWAP simulated moisture, initially the model calibrated and validated with measured soil moisture data from 2008-2009 growth season. So, after soil moisture simulation for 2008-2009, the measured data by TDR used for calibration and validation model. The coefficient of determination factor (R^2) between simulated and measured results was 79.5%. The climate parameters used in this study include minimum and maximum temperatures and precipitation, which are known as the most important factors affecting the soil

---

1- Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
3- Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
(*- Corresponding Author Email: saeidghavam@birjand.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79665

moisture. According to table 6, the minimum and maximum temperatures and precipitation for the upcoming period will increase compared to the baseline. On the other hand, According to table 9 and table 10, under two scenarios, the means, maximum and minimum soil moisture decrease compared to baseline. The weekly and yearly uncertainty in soil moisture under two scenarios showed in figures 4 and 5, respectively. Under the 4.5 scenario, the MIROC model due to the lower band thickness and the IPSL model, due to the higher bandwidth thickness, have the highest and lowest accuracy, respectively. Whereas, under the 8.5 scenario, the IPSL model has the highest accuracy and the CanESM2 and GISS-ES-R models have the lowest accuracy compared to other models. Results of weekly and yearly uncertainty showed less and more uncertainty for weekly and yearly soil moisture, respectively.

Conclusions

In general, results of this study revealed that minimum, maximum temperature and precipitation will increase in upcoming period compared to baseline. Soil moisture decrease in upcoming period compared to baseline under two scenarios (4.5 and 8.5). Moreover, temperature was higher and precipitation was lower under 8.5 scenario rather than 4.5 scenario. Therefore, 8.5 scenario showed worse condition compared to 4.5 scenario. Results of this study showed lower soil moisture in 1, 3, 6, 13, 18, and 19 years in upcoming period under two scenarios. Therefore, these years known as warning condition compared to baseline.

Keywords: Climate change, Emotion scenarios, GCM model, SWAP model.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 487-505

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۰۵-۴۸۷

مقاله علمی - پژوهشی

پهنه‌بندی اقلیمی- احتمالاتی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم (*Triticum aestivum* L.)

کامی کابوسی[1*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۱

کابوسی، ک.، ۱۳۹۹. پهنه‌بندی اقلیمی- احتمالاتی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیـم (*Triticum aestivum* L.). بـوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۰۵-۴۸۷.

چکیده

تحلیل‌های احتمالاتی می‌تواند ضمن افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها، ضریب اطمینان تصمیم‌ها را نیز افزایش دهد. نقش تأثیرگذار عوامل اقلیمی در پهنه‌بندی اراضی برای کشت گیاه از یک سو و طبیعت احتمالاتی متغیرهای اقلیمی از سوی دیگر، موجب عدم قطعیت درجه‌بنـدی تناسـب اراضی برای کشت یک گیاه به‌ویژه در شرایط دیم می‌شود. برای این منظور در پژوهش حاضر، ابتدا با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دمای کمینه و بیشینه ۳۳ ایستگاه هواشناسی در استان گلستان، تاریخ مناسب کشت گندم دیم (*Triticum aestivum* L.) دیم و زمان وقـوع مراحـل فنولـوژیکی مختلف آن برای دوره آماری مشترک ۲۶ ساله تعیین گردید. سپس با برازش توزیع‌های احتمالاتی مختلف و انتخاب توزیع منتخب، مقدار این متغیرها در پنج سطح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد برآورد شد. در ادامه، میانگین دمای هوا، احتمال رخداد دماهای نامطلوب، میزان بـارش و نسـبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق گندم برای هر یک از مراحل رشد و کل دوره رشد در ایستگاه‌های هواشناسی مـورد بررسـی در سـطوح احتمـال مختلـف محاسبه شد. در نهایت، ضمن تهیه نقشه پهنه‌بندی این متغیرها و ویژگی‌های ارتفاع، درصد شیب، تیپ اراضی و شوری خاک، با هم‌پوشـانی ۲۲ لایـه اطلاعاتی برای هر سطح احتمال، پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم در سطوح احتمال مختلف صورت گرفت. نتایج نشان داد که افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد به‌دلیل تأخیر در تاریخ کشت مناسـب از اواخـر پـاییز بـه ابتـدای زمسـتان و تأثیرگذاری آن بر شرایط اقلیمی- محیطی و طول مراحل بعدی رشد گیاه موجب بهبود درجه تناسب اراضی کشاورزی برای کشت گنـدم دیـم از نظـر میانگین دمای هوا در مرحله‌های گل‌دهی، رسیدگی و کل فصل رشد، احتمال رخداد دمای بیشتر از ۱۴ و کمتر از نه درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در مرحله سبز شدن و مرحله‌های گل‌دهی و رسیدگی و میزان بارش در مرحله سبز شدن شد، ولی از نظر میانگین دمای هوا در مرحله سبز شدن، احتمال رخـداد دمای بیشتر از ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب در مرحله گل‌دهی و رسیدگی و میزان بارش و نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل در مراحل گل‌دهی، رسیدگی و کل فصل رشد موجب کاهش درجه تناسب گردید. نتایج پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی نشان داد که در سطوح احتمال وقوع ۵۰، ۷۵ و ۸۵ درصد پهنه‌های نسبتاً مناسب و مناسب به‌ترتیب بین ۵۶-۵۰ و ۵۰-۴۴ درصد وسعت اراضی کشاورزی را در بر می‌گیرد و سطح احتمال وقوع تأثیر معناداری بر پهنه‌بندی ندارد، در حالی‌که در سطح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد (به‌ترتیب معادل تاریخ کشت زودهنگام و دیرهنگام) به‌ترتیب حدود ۹۱ و ۷۸ درصد وسعت اراضی کشاورزی استان به‌ترتیب در پهنه مناسب و متوسط قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: احتمال وقوع، تناسب اراضی، بارش، بوم‌شناختی، تبخیر- تعرق، دما.

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) مهم‌ترین گیـاه زراعـی جهـان می‌باشد که به سلطان غلات معروف است (Yousefi Moghaddam et al., 2018). ایـن گیـاه بـا دارا بـودن بـیش از ۳۰ درصـد سـطح زیرکشت و نزدیک به ۲۶ درصد از تولید کل غلات جهان، بیشـترین سطح زیرکشت و تولید را در بین غلات به خود اختصاص داده اسـت

۱- دانشیار گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: kkaboosi@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79025

(FAO, 2019). این آمار برای ایران به‌ترتیب بیش از ۷۱ و ۶۴ درصد می‌باشد (FAO, 2019) که نشان می‌دهد در ایران گندم مهم‌ترین گیاه زراعی است. بخش عمده گندم کشور به‌صورت دیم کشت می‌شود (Bidadi et al., 2015; Yousefi Moghaddam et al., 2018)، ولی سهم زراعت آبی از کل تولید گندم، علی‌رغم کمتر بودن سطح زیر کشت، بیشتر از زراعت دیم است (Bidadi et al., 2015). استان گلستان با حدود ۴۰۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و تولید بیش از یک میلیون تن گندم، در بین استان‌های کشور دارای مقام سوم است که از این میزان به‌ترتیب حدود ۵۷ و ۵۰ درصد به کشت دیم اختصاص دارد (Anonymous, 2016).

آگاهی از چگونگی تناسب و انطباق فعالیت‌های کشاورزی هر منطقه با شرایط آب‌وهوایی و ویژگی‌های مؤثر آن لازمه برنامه‌ریزی صحیح است. این موضوع به‌ویژه در شرایط زراعت دیم از اهمیت بیشتری برخوردار است (Amirikia & Naji Domirani, 2017). در بین عوامل مختلف مؤثر بر تولید محصول در شرایط دیم ویژگی‌های اقلیمی تأثیرگذار شامل بارش و دما از مهم‌ترین متغیرهای محیطی است (Amirikia & Naji Domirani, 2017; Hoseini et al., 2018). نقش عوامل اقلیمی در پهنه‌بندی زراعی- بوم‌شناختی[1] اراضی برای کشت گندم دیم بسیار مهم می‌باشد (Kaboosi & Majidi, 2017 a). از نقطه نظر بررسی قابلیت، استعدادیابی و تناسب اراضی برای کشت گندم پژوهش‌های متعددی در مناطق و استان‌های مختلف کشور انجام شده است (Amirikia & Naji Domirani, 2017; Kaboosi & Majidi, 2017 a)، لیکن تحلیل احتمالاتی آن تاکنون صورت نگرفته است. تحلیل‌های احتمالاتی می‌تواند ضمن افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری‌ها، ضریب اطمینان تصمیم‌ها را نیز افزایش دهد (Sharifi Bonab et al., 2015). اگر در طراحی یک سیستم زراعی از میانگین داده‌های هواشناسی استفاده شود، احتمال وقوع آن ۵۰ درصد خواهد بود (اگر داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند) و به این معنا است که در طول یک دوره ۱۰۰ ساله، تنها در ۵۰ سال نیاز اقلیمی توسط سیستم زراعی تأمین خواهد شد و در ۵۰ سال دیگر نیازهای اقلیمی بیشتر از توانایی سیستم خواهد بود (Nikbakht & Mir Latifi, 2002). برای نمونه میزان تبخیر- تعرق مرجع روزانه با احتمال وقوع ۹۵ درصد در ایستگاه‌های هواشناسی مهرآباد تهران و ارومیه به‌ترتیب ۲۷ (Nikbakht & Mir Latifi, 2002) و ۳۰ درصد (Mehdizadeh et al., 2011) و نیاز آبی گندم در ماه‌های مختلف در احتمال وقوع ۸۰ درصد بین ۲۹-۲۲ درصد (Sharifi Bonab et al., 2015) بیشتر از میزان متناظر آن‌ها در احتمال وقوع ۵۰ درصد برآورد شد. استفاده از میانگین داده‌ها در کشت آبی مناسب به نظر می‌رسد، ولی در کشت دیم که عملکرد مناسب محصول متکی به بارش است، این سطح احتمال کافی نمی‌باشد. لذا در کشت دیم بسته به درجه حساسیت گیاه به تنش آبی، عموماً سطح احتمال ۶۰ تا ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود (Sys et al., 1991). انتخاب سطح احتمال به نوع گیاه، بافت خاک، میزان ریسک و مرحله رشد گیاه و شدت حساسیت آن به تنش آبی قابل پذیرش بستگی دارد (Mehdizadeh et al., 2011; Nikbakht & Mir Latifi, 2002; Sharifi Bonab et al., 2015). در همین راستا، طبیعت احتمالاتی متغیرهای اقلیمی در انتخاب تاریخ کشت مناسب گندم دیم (Ahmadali et al., 2016; Kaboosi & Majidi, 2019; Khoshal Dastjerdi et al., 2015)، نیاز آبی گندم (Sharifi Bonab et al., 2015)، تاریخ وقوع اولین و آخرین یخبندان (Sobhani et al., 2017; Ziaee et al., 2006) و وقوع سرمای بهاره، زمستانه و پاییزه (Kaviani et al., 2002; Mianabadi et al., 2009) مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است.

با عنایت به طبیعت احتمالاتی متغیرهای اقلیمی بارش و دما، درجه تناسب اراضی برای کشت گندم دیم در سال‌های مختلف تحت تأثیر طبیعت احتمالاتی شرایط آب‌وهوایی متفاوت خواهد بود. به بیان دیگر، عدم قطعیت موجود در پدیده‌های اقلیمی به‌دلیل طبیعت احتمالاتی آن‌ها موجب عدم قطعیت در درجه‌بندی تناسب اراضی برای کشت یک محصول به‌ویژه در کشت دیم می‌شود. یکی از روش‌های کاهش این عدم قطعیت، پهنه‌بندی اراضی کشاورزی در سطوح احتمالاتی مختلف می‌باشد. با عنایت به فقدان چنین مطالعاتی، پژوهش حاضر ضمن بررسی تغییر متغیرهای اقلیمی مختلف مؤثر بر رشد گندم دیم تحت تأثیر سطح احتمال وقوع، به پهنه‌بندی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم تحت این شرایط خواهد پرداخت.

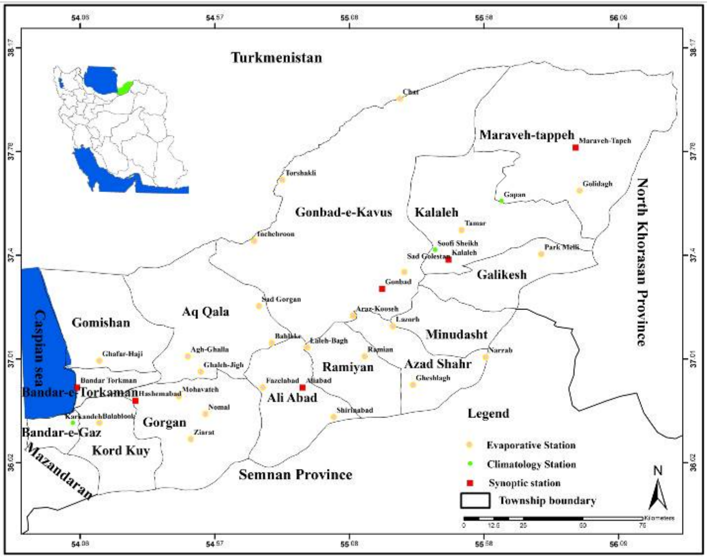
مواد و روش‌ها

دوره آماری و ایستگاه‌های هواشناسی منتخب

با بررسی پراکندگی جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی استان

1- Agro-ecological zoning or AEZ

گلستان و طول دوره آماری آن‌ها، داده‌های روزانه بارش و دمای کمینه و بیشینه ۳۳ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱) شامل ۲۴ ایستگاه تبخیرسنجی (وزارت نیرو) و به‌ترتیب شش و سه ایستگاه سینوپتیک و اقلیم‌سنجی (متعلق به سازمان هواشناسی) در دوره آماری مشترک ۹۵-۱۳۷۰ (۲۶ سال) اخذ شد. همگنی و نرمال بودن داده‌ها به‌ترتیب با استفاده از آزمون دنباله‌ها (Run Test) و کلموگروف- اسمیرنوف (Kolmogorov- Smirnow) توسط بسته نرم‌افزاری SPSS نسخه ۲۱ در سطح احتمال ۹۵ درصد تأیید گردید.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در استان گلستان
Fig. 1- Location of used weather stations in Golestan province

تاریخ کشت مناسب و طول مراحل رشد

تاریخ کشت بر اساس معیار اولین تاریخ وقوع بارش برابر و بیشتر از ۲۵ میلی‌متر طی یک دوره ۱۰ روزه متوالی در ماه آذر انتخاب شد (Kaboosi & Majidi, 2019). لازم به ذکر است که اگر چه بارش ماه‌های مهر و آبان در ذخیره رطوبتی به‌ویژه در لایه‌های پایین خاک تأثیر دارد، ولی برای جوانه‌زنی بذر وقوع حداقل بارش در ماه آذر جهت تأمین رطوبت لایه سطحی خاک ضروری است (Kaboosi & Majidi, 2019). برای تعیین تاریخ دقیق وقوع مراحل مختلف نموی گندم دیم از معیار درجه- روز رشد با در نظر گرفتن دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد استفاده شد (Kaboosi & Majidi, 2017 a).

سطوح احتمال، متغیرهای مؤثر و روش محاسبات

پس از تعیین تاریخ‌های کشت مناسب، سبز شدن، گل‌دهی و رسیدگی گندم دیم در هر یک از سال‌ها برای همه ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه با استفاده از داده‌های روزانه بارش و دمای کمینه و بیشینه مطابق توضیح بالا، تاریخ‌های به‌دست آمده به تاریخ ژیلیوسی تبدیل شد. سپس این داده‌ها به محیط ماژول DISTRIB از بسته نرم‌افزاری SMADA 6 (Anonymous, 1999) وارد و توزیع‌های احتمالاتی مختلف بر آن‌ها برازش داده شد. در مرحله بعد، با استفاده از توزیعی که بر اساس آزمون نکویی برازش بیشترین تطابق را با داده‌ها داشت، مقدار این متغیرها در پنج سطح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد برای همه ایستگاه‌های هواشناسی برآورد شد (Kaboosi & Majidi, 2019; Ziaee et al., 2006). پس از مشخص شدن زمان شروع و پایان مراحل نموی گندم دیم در تمام ایستگاه‌های هواشناسی استان برای سطوح احتمال وقوع مختلف، متغیرهای اقلیمی میزان بارش، میانگین دمای هوا، احتمال رخداد دماهای بالاتر و پایین‌تر از آستانه قابل تحمل گندم و نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق برای هر یک از مراحل رشد و کل دوره رشد گندم دیم در ۳۳ ایستگاه هواشناسی استان در طول دوره آماری برای همه پنج سطح احتمال وقوع مورد بررسی محاسبه شد. در نهایت،

میانگین هر یک از ویژگی‌های در طول دوره آماری در هر ایستگاه برای هر سطح احتمال برآورد و در بانک اطلاعاتی GIS جهت پهنه-بندی ثبت گردید. همچنین در این پژوهش لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای زمینی مختلف شامل ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب، شوری خاک و تیپ اراضی همراه با لایه‌های اطلاعاتی متغیرهای اقلیمی برای استعدادیابی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم مورد استفاده قرار گرفت. لایه شوری خاک بر اساس داده-های اندازه‌گیری شوری عصاره اشباع خاک در ۵۰۵ نقطه از اراضی کشاورزی استان گلستان به‌دست آمد (Kazemi et al., 2013).

برای محاسبه نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق گندم، ابتدا میزان بارش مراحل مختلف گندم منطبق بر تاریخ وقوع آن‌ها برای هر سطح احتمال به‌صورت ماهانه در هر ایستگاه در طول دوره آماری محاسبه شد. سپس بارش مؤثر مراحل مختلف در مقیاس ماهانه به‌روش سرویس حفاظت خاک[1] (SCS) در هر ایستگاه در طول دوره آماری محاسبه گردید و حاصل‌جمع مقادیر ماهانه هر مرحله به‌عنوان بارش مؤثر آن مرحله رشد منظور شد. علت استفاده از این روش برتری آن نسبت به دیگر روش‌های تجربی در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب است (Rahimi et al., 2013). تبخیر- تعرق گندم نیز بر مبنای تاریخ کشت هر سطح احتمال وقوع در هر ایستگاه در طول دوره آماری به‌روش فائو- پنمن- مانتیث (FAO, 1998) با استفاده از نرم‌افزار CROPWAT 8.0 و تشت تبخیر برآورد گردید. جهت محاسبه نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق گندم دو حالت وجود داشت. در حالت اول می‌توان این نسبت را از تقسیم مقادیر فوق در هر مرحله محاسبه نمود، ولی در حالت دوم می‌توان در ایستگاه‌هایی که بارش مؤثر یک مرحله رشد از تبخیر- تعرق گندم در همان مرحله رشد بیشتر است، مازاد بارش مؤثر را به بارش مؤثر مرحله بعد افزود. با توجه به این که حالت دوم به واقعیت نزدیک‌تر بود، در پژوهش حاضر از این روش استفاده شد.

پهنه‌بندی متغیرها و هم‌پوشانی آن‌ها

نقشه پهنه‌بندی متغیرهای مورد بررسی در سطوح احتمال وقوع مختلف با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۳ و به‌روش وزن‌دهی معکوس فاصله[2] (IDW) ترسیم شد. روش‌های مختلفی برای درون-یابی وجود دارد. تفاوت روش‌های مختلف در وزن اختصاص داده شده به هر نقطه است. در روش IDW مقدار مجهول یک کمیت در هر نقطه بر اساس مقدار آن در نقاط معلوم و وزن فاصله به‌دست می‌آید به‌طوری‌که هر چه فاصله نقطه مجهول از معلوم کمتر باشد، وزن فاصله آن بیشتر است و برعکس (Khosravi et al., 2014). این روش توسط پژوهشگران متعددی برای درون‌یابی و پهنه‌بندی متغیرهای محیطی- اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار گرفته است (Kaboosi & Majidi, 2019). متغیرهای اقلیمی و زمینی مورد استفاده در پنج طبقه خیلی مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب مطابق جدول ۱ پهنه‌بندی شدند. این طبقه‌بندی بر اساس بررسی طیف گسترده‌ای از مقالات و منابع صورت گرفته است (Kaboosi & Majidi, 2017 a). در نهایت، با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی فوق (۲۲ لایه برای هر سطح احتمال) به‌روش هم‌پوشانی ساده نقشه پهنه‌بندی اراضی کشاورزی استان برای کشت گندم دیم در سطوح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد به‌دست آمد.

نتایج و بحث

تاریخ کشت مناسب

نقشه‌های پهنه‌بندی تاریخ کشت مناسب گندم دیم در سطوح احتمال وقوع مختلف (شکل ۲) نشان می‌دهد که با افزایش سطح احتمال، تاریخ کشت مناسب گندم دیم به تأخیر می‌افتد که این مفهوم با نتایج پژوهش احمدالی و همکاران (Ahmadali et al., 2016)، خوشحال‌دستجردی و همکاران (Khoshal Dastjerdi et al., 2015)، نوحی (Noohi, 2005) و محمدی (Mohammadi, 2005) مطابقت دارد. بر این اساس، زودترین و دیرترین تاریخ کشت مناسب کشت گندم دیم به‌ترتیب در سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد به‌دست آمد. تاریخ کشت مناسب گندم دیم در بیش از ۹۰ درصد وسعت استان گلستان برای سطوح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد قبل از ۲۰ آذر می‌باشد، در حالی که برای سطح احتمال وقوع ۸۵ و ۹۵ درصد به‌ترتیب در ۷۸ و ۹۰ درصد وسعت استان بین ۳۰-۱۱ آذر و ۲۰-۱ دی است. این نتایج با یافته‌های کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017 b) که نشان دادند تاریخ کاشت مناسب گندم دیم در حدود ۹۱ درصد وسعت استان گلستان به‌احتمال ۷۵ درصد در فاصله زمانی ۲۵-۱۶ آذر می‌باشد، مطابقت نزدیکی دارد.

1- Soil conservation service
2- Inverse distance weighting

جدول ۱ - طبقه‌بندی متغیرهای اقلیمی و زمینی مختلف برای پهنه‌بندی استعداد اراضی برای کشت گندم دیم

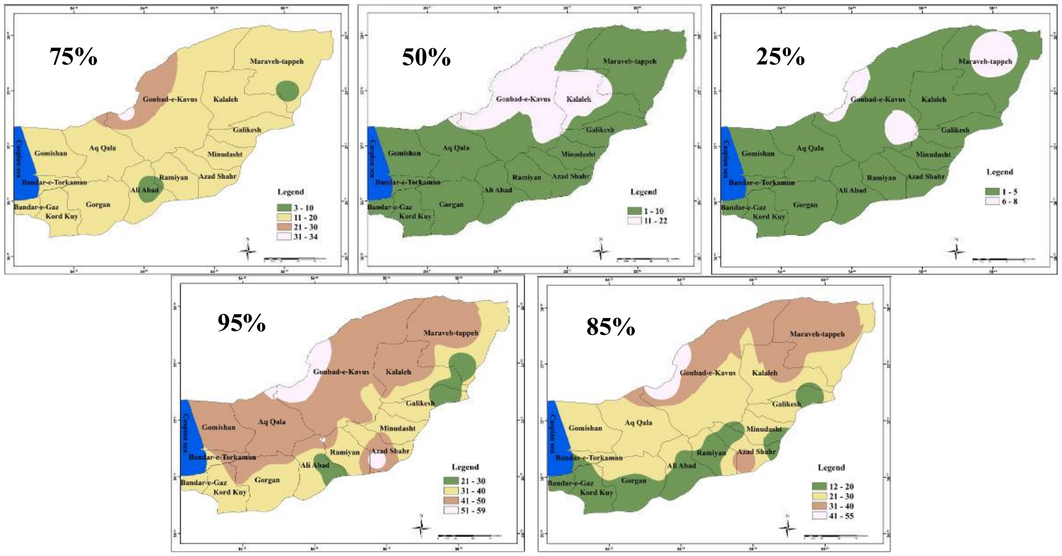
Table 1- Classification of different climatic and land properties for rainfed wheat land suitability zoning

ویژگی Property	مرحله رشد Growth stage	بسیار مناسب Highly suitable	مناسب Suitable	نسبتاً مناسب Moderate	ضعیف Marginally	نامناسب Unsuitable
میانگین دمای هوا Mean air temperature (°C)	سبز شدن Germination	12-14	10-12	8-10	6-8	< 6 and > 14
	گل‌دهی Flowering	14-16	12-14	10-12	8-10	< 8 and > 16
	رسیدگی Maturity	26-30	22-26	18-22	14-18	< 14 and > 30
	کل فصل رشد Total season	13-15	11-13	9-11	7-9	< 7 and > 15
احتمال رخداد دمای بیشینه بیشتر از ۱۴ درجه سانتی-گراد یا دمای کمینه کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد Probability of maximum air temperature greater than 14 °C or minimum temperature less than 10 °C	سبز شدن Germination	< 20	20-40	40-60	60-80	80-100
احتمال رخداد دمای بیشینه بیشتر از ۲۵ درجه سانتی-گراد یا دمای کمینه کمتر از نه درجه سانتی‌گراد Probability of maximum air temperature greater than 25 °C or minimum temperature less than 9 °C	گل‌دهی Flowering	< 30	30-45	45-60	60-75	75-100
احتمال رخداد دمای بیشینه بیشتر از ۳۰ درجه سانتی-گراد یا دمای کمینه کمتر از نه درجه سانتی‌گراد Probability of maximum air temperature greater than 30 °C or minimum temperature less than 9 °C	رسیدگی Maturity	< 20	20-35	35-50	50-65	65-100

ادامه جدول ۱- طبقه‌بندی متغیرهای اقلیمی و زمینی مختلف برای پهنه‌بندی استعداد اراضی برای کشت گندم دیم

CntinueTable 1- Classification of different climatic and land properties for rainfed wheat land suitability zoning

ویژگی **Property**	مرحله رشد **Growth stage**	بسیار مناسب **Highly suitable**	مناسب **Suitable**	نسبتاً مناسب **Moderate**	ضعیف **Marginally**	نامناسب **Unsuitable**
میزان بارندگی Precipitation (mm)	سبز شدن Germination	> 70	50-70	30-50	10-30	< 10
	گل‌دهی Flowering	> 300	250-300	200-250	100-200	< 100
	رسیدگی Maturity	> 80	60-80	40-60	20-40	< 20
	کل فصل رشد Total season	> 450	350-450	250-350	150-250	< 150
نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق Rate of effective rainfall to evapotranspiration	سبز شدن Germination	> 0.75	0.60-0.75	0.45-0.60	0.30-0.45	< 0.30
	گل‌دهی Flowering	> 0.95	0.75-0.95	0.55-0.75	0.35-0.55	< 0.35
	رسیدگی Maturity	> 0.85	0.65-0.85	0.45-0.65	0.30-0.45	< 0.30
	کل فصل رشد Total season	> 0.90	0.70-0.90	0.50-0.70	0.30-0.50	< 30
ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	-	< 500	500-1000	1000-1500	1500-2000	> 2000
شیب زمین Slope (%)	-	< 5	5-8	8-10	10-12	> 12
شوری عصاره اشباع خاک Soil saturation extraction salinity ($dS.m^{-1}$)	-	< 6.0	6.0-7.4	7.4-9.5	9.5-13.0	> 13
تیپ اراضی Land type	-	دشت‌های رسوبی و رودخانه‌ای و دشت‌های دامنه‌ای Sedimentary and river flood plains and hillside plains	فلات‌ها و تراس‌های فوقانی Plateaus and the upper terraces	تپه Hill	کوه‌ها Mountains	اراضی پست و شور، دریاچه طبیعی، واریزه‌های بادبزنی شکل Saline-low lands, natural lake, Fan-shaped debris



شکل ۲- پهنه‌بندی تاریخ کشت مناسب (از مبدأ اول آذر) گندم دیم در سطوح احتمال وقوع مختلف

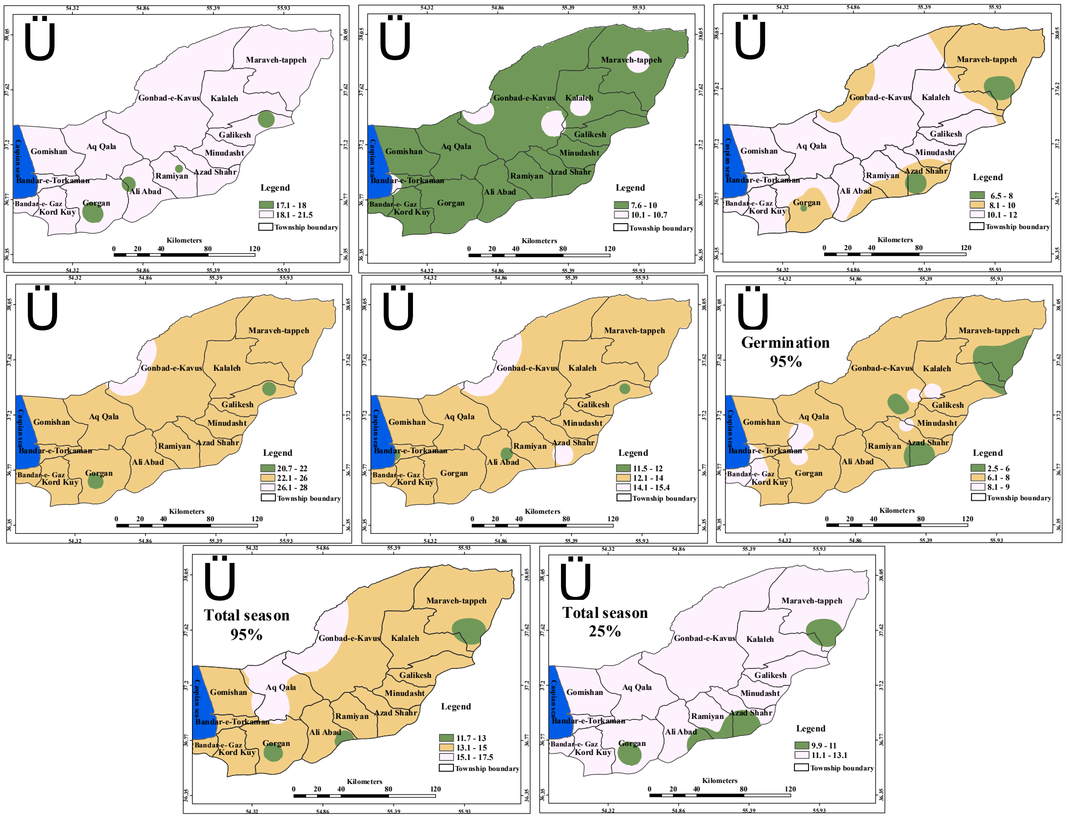
Fig. 2- Zoning of suitable planting date (days after 22 Nov.) of rainfed wheat in diffrenet probability levels

نظر به وقوع بیشتر و زودتر بارش‌های پائیزه در نیمه جنوبی استان گلستان (به‌دلیل شرایط کوهستانی و تراز ارتفاعی بالا) در مقایسه با مناطق دشتی نیمه شمالی استان، تاریخ کشت مناسب گندم دیم در مناطق واقع در نوار جنوبی زودتر از نوارهای میانی و شمالی استان می‌باشد. نتایج یک پژوهش میدانی در سطح مزارع گندم شهرستان گرگان نشان داد که تاریخ کشت در ۵۰ درصد از مزارع مورد بررسی بین ۱۵ تا ۲۶ آذر بود (Torabi et al., 2012) در حالی که بر اساس نتیجه پژوهش حاضر تاریخ کشت مناسب گندم شهرستان گرگان بر مبنای چهار ایستگاه هواشناسی این شهرستان (زیارت، محوطه امور آب، نومل و هاشم‌آباد) بین ۱۰ تا ۲۱ آذر است. همچنین در بررسی مدیریت زراعی مزارع شهرستان بندرگز (Nekahi et al., 2014) تاریخ کشت گندم در ۵۰ درصد مزارع بین ۱۵ تا ۱۸ آذر به‌دست آمد که بسیار نزدیک به تاریخ کشت مناسب گندم در ایستگاه هواشناسی کارکنده شهرستان بندگز (۱۷ آذر) است.

پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی

با توجه به تعداد بسیار زیاد نقشه‌های پهنه‌بندی متغیرهای اقلیمی (۹۰ نقشه حاصل از ۱۸ لایه اطلاعاتی در پنج سطح احتمال)، در ادامه ضمن تحلیل نتایج، فقط نقشه‌های مربوط به کمترین و بیشترین سطح احتمال وقوع (به‌ترتیب ۲۵ و ۹۵ درصد) ارائه می‌شود.

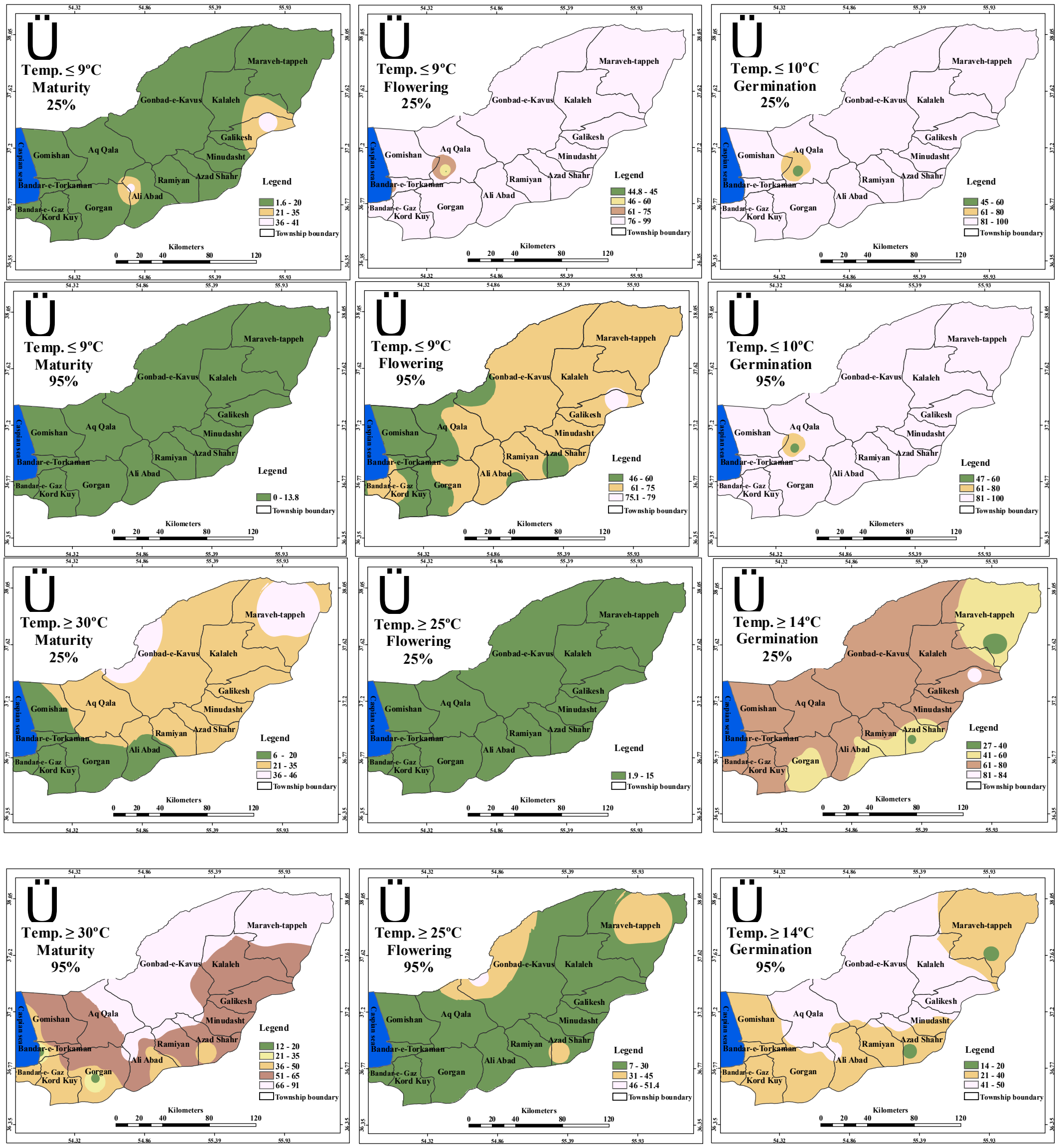
الف- میانگین دمای هوا: نقشه پهنه‌بندی متوسط دمای هوا در مراحل مختلف رشد گندم دیم در استان گلستان برای سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد در شکل ۳ ارائه شده است. با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد به‌دلیل تأخیر در کشت از اواخر پاییز به ابتدای زمستان و افزایش طول دوره سبز شدن به‌واسطه مواجهه گیاه در مرحله سبز شدن با سردی هوا، پهنه غالب میانگین دمای هوا در مرحله سبز شدن از طبقه مناسب به ضعیف تغییر کرد، در حالی که این جابه‌جایی در مراحل گل‌دهی و رسیدگی موجب بهبود طبقه‌بندی میانگین دمای هوا برای رشد گندم دیم در استان گلستان گردید، به‌طوری‌که با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد پهنه غالب میانگین دمای هوا در مرحله گل‌دهی از طبقه ضعیف به مناسب، در مرحله رسیدگی از طبقه متوسط به مناسب و در کل فصل رشد از طبقه مناسب به خیلی مناسب تغییر کرد که نشان می‌دهد افزایش سطح احتمال همراه با تأخیر در تاریخ کشت به مناسب‌تر شدن وضعیت دمای هوا برای کشت گندم دیم در استان گلستان منجر می‌گردد.



شکل ۳- پهنه‌بندی میانگین دمای هوا در مراحل مختلف رشد گندم دیم در سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد

Fig. 3- Zoning of mean air temperature (°C) at different growth stages in probability levels 25 and 95 percent

ب- احتمال رخداد دمای نامطلوب: نقشه پهنه‌بندی احتمال رخداد دمای هوای پایین‌تر یا بالاتر از آستانه قابل تحمل در مراحل مختلف رشد گندم دیم در استان گلستان برای سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد (شکل ۴) نشان می‌دهد که الگوی تغییر این ویژگی همانند ویژگی میانگین دمای هوا است، به‌طوری‌که اثر افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد، به‌واسطه تأثیر بر تاریخ مناسب کشت و زمان وقوع و طول مراحل نموی گندم، در مرحله سبز شدن نسبت به مراحل گل‌دهی و رسیدگی متفاوت بود. در مرحله سبز شدن با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد تغییر معنی‌داری در احتمال رخداد دمای کمتر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد دیده نشد، به‌طوری‌که در همه سطوح احتمال وقوع از ۲۵ تا ۹۵ درصد، احتمال رخداد دمای نامطلوب کمتر از نه درجه سانتی‌گراد تقریباً در کل استان بین ۱۰۰-۸۰ درصد بود که نشان‌دهنده کلاس نامناسب برای کشت گندم است، در حالی که افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد منجر به کاهش احتمال رخداد دمای بیشتر از ۱۴ درجه سانتی‌گراد گردید، به‌طوری‌که پهنه غالب استان از کلاس ضعیف (احتمال رخداد ۸۰-۶۰ درصد) به کلاس‌های مناسب (احتمال رخداد ۴۰-۲۰ درصد) و نسبتاً مناسب (احتمال رخداد ۵۰-۴۰ درصد) با مساحت نسبتاً برابر تغییر کرد. این تغییر با توجه به اثر تأخیری افزایش احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد بر تاریخ مناسب کشت از اواخر پاییز به ابتدای زمستان و در نتیجه، کاهش احتمال رخداد دمای نامطلوب کران بالا قابل توجیه می‌باشد.



شکل ٤- پهنه‌بندی احتمال رخداد دمای نامطلوب در مراحل مختلف رشد در سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد

Fig. 4- Zoning of possibility of unfavorable temperature occurrence at different growth stages in occurrence probability levels 25 and 95 percent

در مرحله گل‌دهی با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد کاهش معنی‌داری در احتمال رخداد دمای کمتر از نه درجه سانتی‌گراد دیده شد، به‌طوری‌که پهنه غالب استان از کلاس نامناسب (احتمال رخداد ۱۰۰–۷۶ درصد) به کلاس‌های نسبتاً مناسب (احتمال رخداد ۶۰–۴۶ درصد) و ضعیف (احتمال رخداد ۷۹–۶۰ درصد) تغییر کرد که البته پهنه ضعیف غالب بود. این در حالی بود که در این مرحله رشد، با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد احتمال رخداد دمای بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت، به‌طوری‌که پهنه کل استان از کلاس بسیار مناسب (احتمال رخداد ۱۵–۰ درصد) در برخی بخش‌های شمالی و شرقی به کلاس مناسب (احتمال رخداد ۴۵–۳۰ درصد) تغییر کرد. اثر مثبت افزایش احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد بر کاهش احتمال رخداد دمای کران پایین (نه درجه سانتی‌گراد) و اثر منفی آن بر افزایش احتمال رخداد دمای کران بالا (۲۵ درجه سانتی‌گراد) با توجه به جابه‌جایی زمان وقوع مراحل نموی از انتهای

زمستان به فصل بهار قابل انتظار بود.

در مرحله رسیدگی با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد، احتمال رخداد دمای کمتر از نه درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، به‌طوری‌که بخش‌های کمی از استان که در کلاس مناسب (احتمال رخداد ۳۵-۲۰ درصد) بودند به کلاس خیلی مناسب (احتمال رخداد ۱۴-۰ درصد) تغییر کردند. این در حالی بود که در این مرحله رشد با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد افزایش احتمال رخداد دمای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد، به‌طوری‌که پهنه غالب استان از کلاس مناسب (احتمال رخداد ۳۵-۲۰ درصد) به کلاس‌های ضعیف (احتمال رخداد ۶۵-۵۰ درصد) و نامناسب (احتمال رخداد ۹۱-۶۵ درصد) تغییر کرد. اثر جزئی مثبت افزایش احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد بر کاهش احتمال رخداد دمای کران پایین (نه درجه سانتی‌گراد) و اثر منفی آن بر افزایش احتمال رخداد دمای کران بالا (۳۰ درجه سانتی‌گراد) با توجه به جابه‌جایی زمان وقوع مراحل نموی گندم از انتهای بهار به فصل تابستان قابل توجیه است. نتایج نشان داد که تأخیر در کشت گندم دیم همراه با افزایش سطح احتمال وقوع در غالب موارد احتمال رخداد دمای کران بالا را افزایش داد که منجر به کاهش درجه تناسب اراضی کشاورزی برای کشت گندم دیم گردید. این نتایج با یافته‌های حسینی و همکاران (Hoseini et al., 2018) که نشان دادند تأخیر در کشت به‌دلیل مواجهه گیاه با دمای بازدارنده رشد موجب کاهش تناسب اراضی استان خراسان جنوبی برای کشت پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) می‌شود، هم‌خوانی بسیار نزدیکی دارد.

ج- میزان بارش: نقشه پهنه‌بندی میزان بارش در مراحل مختلف در شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد، به‌دلیل تأخیر در کشت از اواخر پاییز به ابتدای زمستان و افزایش طول دوره سبز شدن به‌واسطه مواجهه گیاه در مرحله سبز شدن با سردی هوا، پهنه غالب بارش در مرحله سبز شدن از طبقه نسبتاً مناسب (۵۰-۳۰ میلی‌متر) به طبقات خیلی مناسب (بیشتر از ۷۰ میلی‌متر) و مناسب (۷۰-۵۰ میلی‌متر) تغییر کرد، در حالی که این جابه‌جایی در مراحل گل‌دهی، رسیدگی و کل فصل رشد موجب کاهش تناسب طبقه‌بندی بارش برای رشد گندم دیم در استان گلستان گردید، به‌طوری‌که افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد پهنه غالب بارش در مرحله گل‌دهی را از طبقه‌های مناسب و نسبتاً مناسب به طبقه‌های ضعیف و نسبتاً مناسب، در مرحله رسیدگی از طبقه‌های مناسب و نسبتاً مناسب به طبقه ضعیف و در کل فصل رشد از طبقه‌های مناسب و نسبتاً مناسب به طبقه‌های مناسب، نسبتاً مناسب و ضعیف تغییر داد که نشان می‌دهد افزایش سطح احتمال همراه با تأخیر در تاریخ کشت به کاهش تناسب پهنه‌های مختلف استان برای کشت گندم دیم در استان گلستان در همه مراحل رشد، به‌جز دوره سبز شدن منجر می‌گردد.

د- نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل: نقشه پهنه‌بندی نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل گندم در مراحل مختلف رشد گندم دیم در استان گلستان برای سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد در شکل ۶ ارائه شده است. افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد تأثیر معنی‌داری بر پهنه‌بندی نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل گندم در مرحله سبز شدن نداشت، به‌طوری‌که در همه سطوح احتمال وقوع غالب استان در طبقه بسیار مناسب قرار داشت. این در حالی بود که این موضوع در مراحل گل‌دهی، رسیدگی و کل فصل رشد موجب کاهش تناسب طبقه‌بندی نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل برای رشد گندم دیم در استان گلستان گردید، به‌طوری‌که افزایش سطح احتمال وقوع از ۲۵ به ۹۵ درصد پهنه غالب این ویژگی در مرحله گل‌دهی را از طبقه مناسب به طبقه نسبتاً مناسب، در مرحله رسیدگی از طبقه خیلی مناسب به طبقه‌های نسبتاً مناسب و مناسب و در کل فصل رشد از طبقه خیلی مناسب به طبقه‌های مناسب و نسبتاً مناسب تغییر داد که نشان می‌دهد افزایش سطح احتمال همراه با تأخیر در تاریخ کشت به کاهش تناسب پهنه‌های مختلف استان از نظر نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل برای کشت گندم دیم در استان گلستان در همه مراحل رشد، به‌جز دوره سبز شدن منجر می‌گردد.

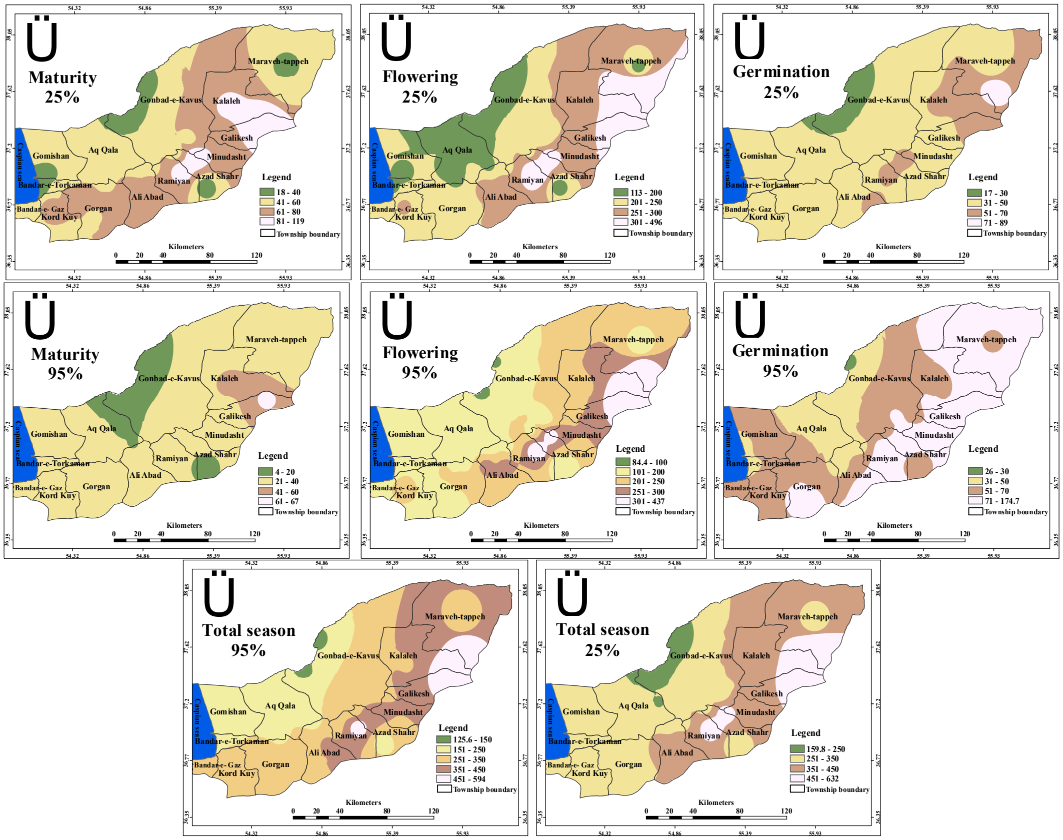
پارامترهای منابع زمین

پهنه‌های مختلف طبقات ارتفاع، شیب، تیپ اراضی و شوری خاک در پتانسیل‌یابی مناطق مستعد کشت گندم دیم در استان گلستان و مساحت آن‌ها به‌ترتیب در شکل ۷ و جدول ۲ ارائه شده است. نتایج نشان داد که حدود ۸۵/۵ و ۶/۵ درصد از وسعت اراضی کشاورزی استان به‌ترتیب دارای تراز کمتر از ۵۰۰ متر (کلاس خیلی مناسب) و ۱۰۰۰-۵۰۰ (کلاس مناسب) است. همچنین ۳۹ درصد از وسعت اراضی کشاورزی استان دارای شیب بیشتر از ۱۲ درصد که برای کشت گندم دیم نامناسب است، می‌باشد. وسعت اراضی کشاورزی

دارای کلاس میزان شیب خیلـی مناسـب، مناسـب و نسـبتاً مناسـب به‌ترتیب ۲۱/۴، ۲۰/۴ و ۱۱/۲ درصد بود. شوری عصاره اشباع خـاک در اراضی کشاورزی استان بین ۰/۱۹ تا ۶۹/۸ دسی‌زیمـنس بـر متـر (کلاس نسبتاً مناسب) است. در عین حال ۷۲ درصد از وسعت اراضی کشاورزی استان دارای شوری کمتر از شـش دسـی‌زیمـنس بـر متـر (تناسب خیلی مناسب برای کشت گندم دیم) می‌باشد. همچنیـن بـر اساس نتایج تیپ اراضی حدود ۴۹، ۶، ۱۵، ۹ و ۲۱ درصـد از وسـعت اراضی کشاورزی استان برای کشت گندم دیم به‌ترتیب دارای تناسب خیلی مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب می‌باشد.

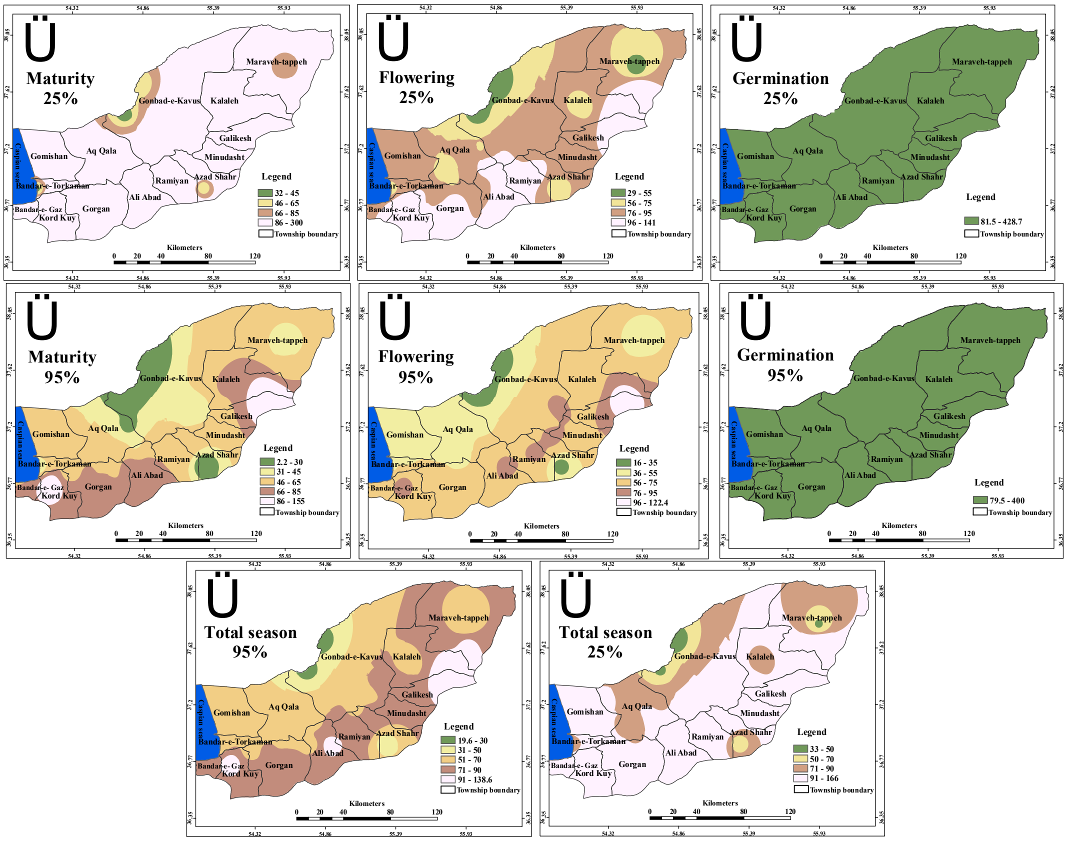
پهنه‌بندی اراضی برای کشت گندم دیم

مساحت پهنه‌های مختلف مستعد کشت گندم دیـم در محـدوده اراضی کشاورزی استان گلستان در سـطح احتمـال وقـوع ۲۵ تـا ۹۵ درصد در جدول ۳ و نقشه‌های پهنه‌بندی آن در شـکل ۸ ارائـه شـده است. نتایج نشان داد که در هیچ یک از سطوح احتمـال وقـوع پهنـه نامناسب برای کشت گندم دیم در استان گلستان وجود ندارد. از سوی دیگر، پهنه خیلی مناسب برای کشت گندم دیم فقط در سطح احتمال وقوع ۲۵ درصد در بخش‌هایی از استان گلستان (حدود هشت درصـد وسعت اراضی کشاورزی اسـتان) وجـود دارد، ولـی در سـایر سـطوح احتمال وقوع این پهنه در استان وجود ندارد. همچنین اگر چه در تمام سطوح احتمال وقوع، به‌جز ۲۵ درصد، پهنه ضعیف برای کشت گنـدم دیم وجود دارد، وسعت این پهنه بسیار کم (کمتر از یک درصد وسعت اراضی کشاورزی استان) و محدود به بخش‌های مرزی شمال اسـتان است.



شکل ۵- پهنه‌بندی بارش (میلی‌متر) مراحل مختلف رشد گندم دیم در سطوح احتمال وقوع ۲۵ و ۹۵ درصد

Fig. 5- Zoning of different growth stages rainfall (mm) of rainfed wheat in probability levels 25 and 95 percent



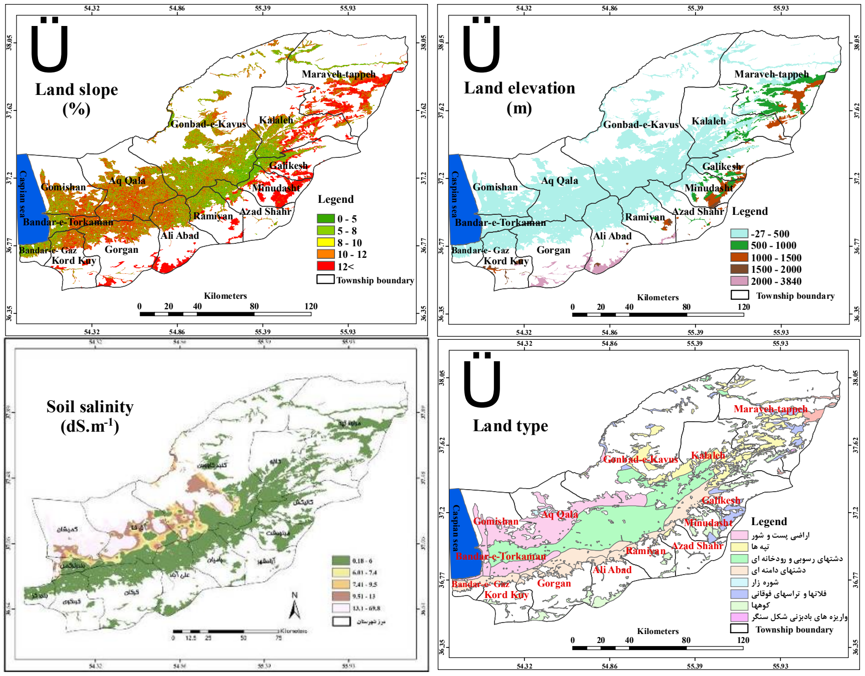
شکل ٦- پهنه‌بندی نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل در مراحل مختلف رشد در سطوح احتمال ۲۵ و ۹۵ درصد

Fig. 6- Zoning of ratio of effective rainfall to potential evapotranspiration of rainfed wheat in different growth stages in occurrence probability levels 25 and 95 percent

جدول ۲- مساحت (کیلومترمربع) پهنه‌های مختلف اراضی کشاورزی استان گلستان از نظر قابلیت اراضی و خاک

Table 2- Extent (km^2) of different zones of Golestan province agricultural land in terms of from land and soil capability

درجه تناسب Suitability class	ویژگی Property	وسعت Extent	درصد %	ویژگی Property	وسعت Extent	درصد %	ویژگی Property	وسعت Extent	درصد %	ویژگی Property	وسعت Extent	درصد %
بسیار مناسب Highly suitable	ارتفاع از سطح دریا Elevation (m)	6256	85.6	شیب زمین Land slope (%)	1564	21.4	شوری خاک Soil salinity ($dS.m^{-1}$)	5092	71.9	تیپ اراضی Land type	3590	49.1
مناسب Suitable		473	6.4		1494	20.4		255	3.6		460	6.3
نسبتاً مناسب Moderate		325	4.4		817	11.2		359	5.1		1109	15.2
ضعیف Marginally		72	1		619	8.5		481	6.8		619	8.4
نامناسب Unsuitable		187	2.6		2820	38.6		896	12.6		1535	21.0
کل Total		7313	100.0		7313	100.0		7083	100		7313	100



شکل ۷- پهنه‌بندی اراضی کشاورزی از نظر ارتفاع، درصد شیب، تیپ اراضی و شوری خاک برای کشت گندم دیم

Fig. 7- Zoning of elevation, slope percent, land type and soil salinity for rainfed wheat cultivation

در سطوح احتمال وقوع ۵۰، ۷۵ و ۸۵ درصد پهنه نسبتاً مناسب بین ۵۶-۵۰ درصد و پهنه مناسب بین ۵۰-۴۴ درصد وسعت اراضی کشاورزی را در برمی‌گیرد و سطح احتمال وقوع تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آن ندارد. این در حالی است که در سطح احتمال وقوع ۲۵ درصد (معادل تاریخ کشت زودهنگام) بخش غالب اراضی کشاورزی استان (حدود ۹۱ درصد) در پهنه مناسب و بخش کمی از آن (حدود هشت درصد) در پهنه خیلی مناسب قرار دارد، امّا در سطح احتمال وقوع ۹۵ درصد (معادل تاریخ کشت دیرهنگام) بخش غالب اراضی کشاورزی استان (حدود ۷۸ درصد) در پهنه متوسط و بخشی از آن (حدود ۲۱/۵ درصد) در پهنه مناسب واقع شده است. این نتایج نشان می‌دهد تاریخ کشت زودهنگام (معادل احتمال وقوع ۲۵ درصد) به‌دلیل برخوردار نمودن دوره‌های بعدی رشد گندم با شرایط اقلیمی مساعدتر منجر به افزایش قابل توجه مساحت پهنه‌های مستعد (خیلی مناسب و مناسب) برای کشت گندم دیم در استان گلستان می‌شود، در حالی‌که تاریخ کشت دیرهنگام (معادل احتمال وقوع ۹۵ درصد) به‌دلیل مواجهه گیاه با برخی شرایط اقلیمی نامساعد کاهش قابل توجه وسعت پهنه‌های مساعد را موجب می‌گردد. در همین راستا یافته‌های حسینی و همکاران (Hoseini et al., 2018) نشان داد که بیشترین مساحت پهنه‌های مناسب کشت پنبه در استان خراسان جنوبی در تاریخ کشت‌های زودهنگام بود و تأخیر در کشت به‌مقدار قابل ملاحظه‌ای از وسعت پهنه‌های مستعد کاست که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی بسیار نزدیکی دارد.

با توجه به این که اراضی کشاورزی استان گلستان عمدتاً در نوار میانی استان واقع شده است، بیشتر تغییرات استعداد اراضی برای کشت گندم دیم تحت تأثیر درصد احتمال وقوع نیز در این نوار رخ داده است. با این‌حال، در یک دید کلی می‌توان دریافت که نواحی جنوبی نوار میانی استان از تناسب بیشتری برای کشت گندم دیم نسبت به نواحی شمالی نوار میانی استان برخوردار است، به‌طوری‌که، پهنه خیلی مناسب در احتمال وقوع ۲۵ درصد و پهنه مناسب در سایر سطوح احتمال وقوع در نواحی جنوبی نوار میانی استان واقع شده است. دلیل این امر آن است که نیمه شمالی نوار میانی استان علی‌رغم برخورداری از شرایط دمایی، ارتفاعی و شیب مناسب به‌لحاظ شوری خاک، میزان بارش و نسبت بارش مؤثر به تبخیر- تعرق پتانسیل عموماً نسبت به نیمه جنوبی نوار میانی استان در پهنه‌های نامساعدتری قرار گرفته دارد. نتایج پژوهش کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017 a) نشان داد که درصد مساحت پهنه

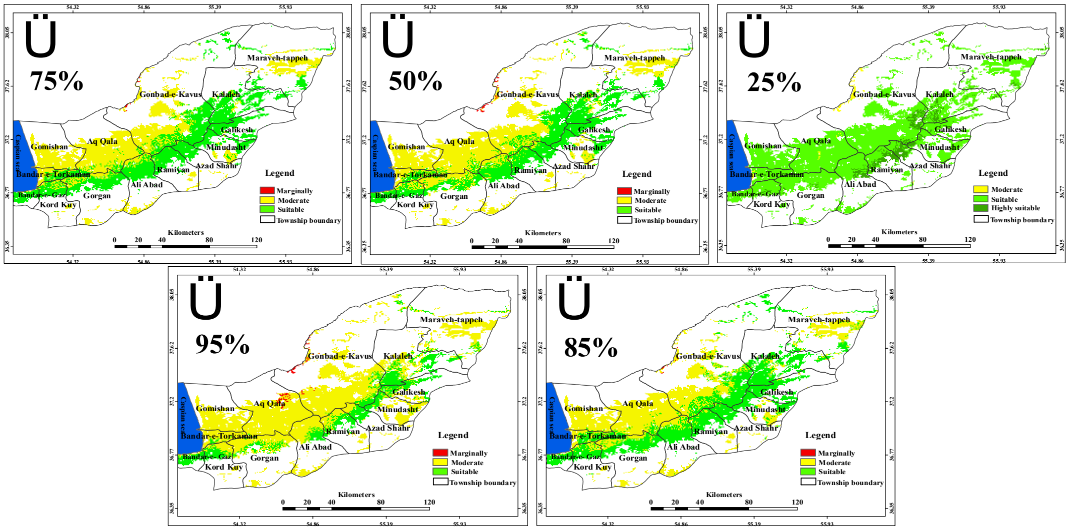
خیلی مناسب، مناسب، نسبتاً مناسب، ضعیف و نامناسب کشت گندم دیم در استان گلستان نسبت به اراضی کشاورزی با احتمال وقوع ۷۵ درصد به‌ترتیب ۲۶، ۳۰/۳، ۲۸/۷، ۱۲/۶ و ۲/۴ درصد می‌باشد که با نتایج پژوهش حاضر چندان مطابقت ندارد. این در حالی است که بر اساس یافته‌های بیابانی و همکاران (Biabani et al., 2017) حدود ۷۴ و ۲۴ درصد از اراضی کشاورزی حوضه گرگانرود استان گلستان از نظر ویژگی‌های اقلیمی و توپوگرافی به‌ترتیب در پهنه مناسب و نسبتاً مناسب کشت گندم دیم واقع گردیده بود که با نتایج این پژوهش در همین محدوده مطابقت خوبی دارد.

نتایج نشان داد که مجموع مساحت پهنه‌های خیلی مناسب و مناسب کشت گندم دیم در اراضی کشاورزی استان در سطوح احتمال وقوع ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۸۵ و ۹۵ درصد به‌ترتیب ۷۲۲۸، ۳۲۰۹، ۳۶۶۷، ۳۵۲۸ و ۱۵۷۵ کیلومترمربع می‌باشد که این میزان به‌ترتیب ۱۸۱، ۸۰، ۹۲، ۸۸ و ۳۹ درصد کل سطح زیر کشت گندم استان و به‌ترتیب ۳۱۸، ۱۴۱، ۱۶۲، ۱۵۵ و ۶۹ درصد کل سطح زیر کشت گندم دیم استان است که نشان می‌دهد وسعت فعلی اراضی زیر کشت گندم دیم در استان گلستان در همه سطوح احتمال، به‌جز ۹۵ درصد، کمتر از مساحت پهنه‌های بسیار مناسب و مناسب استان است. این نشان می‌دهد که ضمن احتمال رعایت تناوب در اراضی مستعد کشت گندم توسط کشاورزان، پتانسیل استان گلستان از نظر توسعه سطح زیر کشت گندم بیشتر از وضع موجود می‌باشد که با نتایج کابوسی و مجیدی (Kaboosi & Majidi, 2017 a) هم‌خوانی دارد. لازم به ذکر است که عدم اختصاص پهنه‌های مستعد گندم به کشت این محصول به‌معنای اختصاص نادرست آن به سایر محصولات نیست، زیرا ممکن است همان عرصه برای گیاه دیگر نیز مطلوب باشد (Bidadi et al., 2015; Kaboosi & Majidi, 2017). گزارش شده است که مجموع وسعت پهنه‌های مناسب (۶۲/۳ هزار هکتار) و نسبتاً مناسب (۲۲/۲ هزار هکتار) کشت گندم دیم در حوضه گرگانرود استان گلستان حدود ۱۸۸ و ۸۷ درصد متوسط سطح زیر کشت دیم (۴۵ هزار هکتار) و کل (۹۶/۹ هزار هکتار) گندم در این حوضه (Biabani et al., 2017) و مجموع مساحت پهنه‌های خیلی مناسب و مناسب گندم دیم در حوضه قره‌سو استان گلستان حدود ۳/۳ برابر کل سطح زیر کشت گندم در این حوضه (Bidadi et al., 2015) است. مطابق نتایج نصراللهی و همکاران (Nasrollahi et al., 2016) حدود ۱۴، ۲۶، ۴۵ و ۱۶ درصد از وسعت اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا و بر اساس یافته‌های بنی‌عقیل و همکاران (Baniaghil et al., 2017) حدود ۹/۵، ۵۴/۵، ۲۹/۷ و ۶/۲ درصد از وسعت کل اراضی استان گلستان به‌ترتیب در پهنه بسیار مستعد، مستعد، نیمه‌مستعد (ضعیف) و نامستعد برای کشت گندم دیم قرار دارد که به‌ترتیب با نتایج این پژوهش که نشان داد در سطح احتمال ۲۵ و ۵۰ تا ۹۵ درصد به‌ترتیب ۹۹ و ۹۷-۹۰ درصد از وسعت اراضی کشاورزی شهرستان آق‌قلا به‌ترتیب در پهنه مناسب و نسبتاً مناسب واقع شده است و نتایج مربوط به اراضی کشاورزی کل استان نسبتاً هم‌خوانی دارد.

جدول ۳- مساحت (کیلومترمربع) پهنه‌های مختلف استعداد اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم

Table 3- Extent (km²) of different zones of Golestan province agricultural land for cultivation of rainfed wheat

سطح احتمال Probability level	25%		50%		75%		85%		95%	
درجه تناسب Suitability class	وسعت Extent	درصد %	وسعت Extent	درصد %	وسعت Extent	درصد %	وسعت Extent	درصد %	وسعت Extent	درصد %
بسیار مناسب Highly suitable	581	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0
مناسب Suitable	6647	90.9	3209	43.9	3667	50.1	3528	48.2	1575	21.5
نسبتاً مناسب Moderate	85	1.2	4079	55.8	3638	49.7	3778	51.7	5673	77.6
ضعیف Marginally	0	0	25	0.3	8	0.1	7	0.1	65	0.9



شکل ۸- پهنه‌بندی اراضی کشاورزی استان گلستان جهت کشت گندم دیم در سطوح احتمال وقوع مختلف

Fig. 8- Zoning of agricultural land of Golestan province for rainfed wheat in different probability levels

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که در همه سطوح احتمال وقوع (ریسک) نـواحی جنوبی نوار میانی استان از تناسب بیشتری بـرای کشـت گنـدم دیـم نسبت به نواحی شمالی نوار میانی استان برخـوردار اسـت. همچنـین کاهش اندک ریسک زراعـت (افـزایش احتمـال وقـوع از ۲۵ بـه ۵۰ درصد) موجب تغییر قابل ملاحظه درجه تناسب اراضی بـرای کشـت گندم در استان گلستان گردید، در حالی کـه کـاهش بیشـتر ریسـک زراعت (افزایش احتمال وقوع تا ۸۵ درصد) تـأثیر معنـی‌داری بـر آن نداشت. با این حال، اگر حداقل ریسـک (احتمـال وقـوع ۹۵ درصـد) به‌عنوان یک تصمیم مـدیریتی بـرای زراعـت گنـدم انتخـاب شـود، کمترین سطح تناسب اراضی برای کشت گندم به‌دست خواهد آمد. با عنایت به این کـه در پـژوهش حاضـر پهنـه‌بنـدی اسـتعداد اراضـی کشاورزی تنها بر مبنای متغیرهای مؤثر بر رشد گندم صورت گرفتـه است، پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های آتی عملکرد محصول بـا استفاده از یک مدل شبیه‌سازی رشد در مناطق مختلف استان بـرآورد گردد تا قابلیت اراضی بر اساس میزان عملکـرد قابـل دسـتیابی نیـز پهنه‌بندی شود.

سپاس‌گزاری

این مقاله حاصل طرح پژوهشی نویسنده مقاله با عنوان پهنه‌بندی اقلیمی- احتمالاتی اراضی کشاورزی استان گلستان برای کشت گندم دیم است که با حمایت‌های مالی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان به انجام رسیده است. لذا بدین‌وسیله از این حمایت‌ها قدردانی می‌گردد.

References

Ahmadali, K., Hosseini Pajouh, N., and Liaghat, A.M., 2016. Determination of optimal planting date of rainfed wheat in Kurdistan province, Iran. Pajouhesh and Sazandegi (Agronomy) 108: 9-18. (In Persian with English Summary)

Amirikia, F., and Naji Domirani, S., 2017. Land suitability evaluation for dryland wheat production in Fars province based on climatic and physiographic factors and integrated TOPSIS-AHP model in GIS environment. Journal of Applied Research in Field Crops 30(4): 74-92. (In Persian with English Summary)

Anonymous., 2016. Agricultural Statistical Book (2014-2015). Available online: www.maj.ir. (In Persian)

Anonymous., 1999. SMADA for window (stormwater management and design aid). Available online: University of Central Florida.

Baniaghil, A.S., Rahemi Karizki, A., Biabani, A., and Faramarzi, H., 2017. Potential climatic zoning of wheat (*Triticum*

aestivum L.) Golestan province. Journal of Agroecology 9(3): 821-833. (In Persian with English Summary)

Biabani, A., Ahansaz, S., Kamkar, B., and Roumani, A., 2017. Assessment of land suitability of Gorganrood watershed for wheat cultivation by GIS. Research Achievement for Improvement Crop Production 3(1): 83-101. (In Persian with English Summary)

Bidadi, M.J., Kamkar, B., Abdi, O., and Kazemi, H., 2015. Land suitability analysis on rainfed wheat cropping using geospatial information systems (A case study: Qaresoo basin). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 25(1): 131-143. (In Persian with English Summary)

FAO., 1998. Crop Evapotranspiration (Guidelines for Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation and Drainage Paper, Italy.

FAO., 2019. FAOSTA. http://www.fao.org/faostat/en/#home

Hoseini, S.S., Behdani, M.A., and Khashei Siuki, A., 2018. Spatial and temporal zoning of suitable lands for cotton cultivation using analytical hierarchy process (Case study: South Khorasan province). Journal of Agroecology 9(4): 1136-1148. (In Persian with English Summary)

Kaboosi, K., and Majidi, O., 2019. Determination and zoning of suitable planting date of rainfed wheat in Golestan province based on different levels of occurrence probability of autumn rainfall. Journal of Agroecology 11(1): 217-229. (In Persian with English Summary)

Kaboosi, K., and Majidi, O., 2017 a. Agro-ecological zoning of rainfed wheat in Golestan province based on meteorology, agronomy, soil and land properties. Journal of Agroecology 7(2): 134-154. (In Persian with English Summary)

Kaboosi, K., and Majidi, O., 2017 b. Zoning of planting and harvesting dates and length of growth stages of rainfed wheat based on precipitation and temperature data in Golestan province. Iranian Journal of Dryland Agriculture 6(1): 103-120. (In Persian with English Summary)

Kaviani, M.R., Hosseini Abri, S.H., and Asadi Broujeny, E., 2002. Probability of occurrence and return period of minimal temperature in almond orchards at Semnan region during March, April and May. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources 9(3): 49-57. (In Persian with English Summary)

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, H., Kamkar, B., Shataei, S., and Sadeghi, S., 2013. Agro-ecological zoning of Golestan province lands for soybean cultivation using geographical information system (GIS). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 23(4): 21-40. (In Persian with English Summary)

Khoshal Dastjerdi, J., Nazari, A., Ghangharmeh, A., and Fallahi, H.A., 2015. Predicting isometropia- rainfall in dry wheat implantation and cultivation in Gonbad Kavoos province. Geographical Planning of Space 5(16): 169-184. (In Persian with English Summary)

Khosravi, R., Hemami, M.R., and Malekian, M., 2014. Comparison of geostatistical methods to determine the best bioclimatic data interpolation method for modelling species distribution in central Iran. Iranian Journal of Applied Ecology 3(8): 55-68. (In Persian with English Summary)

Mehdizadeh, S., Behmanesh, J., and Nikbakht, J., 2011. Estimation of reference evapotranspiration with various occurrence probability levels (Case study: Urmia). Water and Soil Science 20(4): 171-183. (In Persian with English Summary)

Mohammadi, H., 2005. The determining suitable dry farming wheat time in Ilam provience. Geographical Research. 37(51): 15-31. (In Persian with English Summary)

Nasrollahi, N., Kazemi, H., Kamkar, B., and Sadeghi, S., 2016. Agroecological evaluation of Aq-Qala township (Golestan province) for Dryland wheat cultivation using geographical information system (GIS). Journal of Applied Field Crops Research 29(1): 83-94. (In Persian with English Summary)

Nekahi, M.Z., Soltani, A., Siahmarguee, A., and Bagherani, N., 2014. Yield gap associated with crop management in wheat (Case study: Golestan province- Bandargaz). Crop Production 7(2): 135-156. (In Persian with English Summary)

Nikbakht, J., and Mir Latifi, S.M., 2002. Effects of ET_0 computing method, probability level and length of peak water requirement period on daily reference evapotranspiration. Iranian Journal of Soil and Waters Sciences 16(2): 222-230. (In Persian with English Summary)

Noohi, K., 2005. Rainfall analysis of Karaj for determination of rainfed wheat sowing date. Nivar 58: 95-103. (In Persian with English Summary)

Rahimi, J., Bazrafshan, J., and Khalili, A., 2013. A comparative study on empirical methods for estimating effective

rainfall for rainfed wheat crop in different climates of Iran. Physical Geography Research 45(3): 31-46. (In Persian with English Summary)

Sharifi Bonab, S.S., Nazemi, A.H., Ashraf Sadraddini, A., Fakheri Fard, A., and Salmasi, F., 2015. Estimation of irrigation water requirement using probability distribution functions. Iranian Journal of Irrigation and Drainage 5(9): 720-730. (In Persian with English Summary)

Sobhani, B., Ganji, M., and Goldoust, A., 2017. Determination and investigation about beginning and end dates of early and late freezes and possibility of its continuity, intensity and succession in Ardabil province. Physical Geography Research Quarterly 49(1): 39-53. (In Persian with English Summary)

Sys, I.C., Van Ranst, E., and Debaveye, J., 1991. Land evaluation- part I: Principle in land evaluation and crop production calculations. General Administration for Development Cooperation, Agricultural Publication No. 7, Brussels, Belgium, 274 pp.

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E., 2012. Documenting the process of wheat production in Gorgan. Journal of Plant Production 19(4): 19-42. (In Persian with English Summary)

Yousefi Moghaddam, R., Khoramdel, S., Bannayan Aval, M., and Nassiri Mahallati, M., 2018. Comparison of old and new dryland wheat cultivars in response to different planting dates. Applied Research in Field Crops 31(2): 46-72. (In Persian with English Summary)

Ziaee, A.R., Kamgar-Haghighi, A.A., Sepaskhah, A.R., and Ranjbar, S., 2006. Development of Fars province probable minimum temperature atlas using meteorological data. Journal of Water and Soil Science (Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources) 10(3): 13-27. (In Persian with English Summary)

Zoning of Golestan Province Agricultural Land for Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) Based on Climatic- Stochastical Analysis

K. Kaboosi[1*]
Submitted: 03-02-2019
Accepted: 22-05-2019

Kaboosi, K., 2020. Zoning of Golestan province agricultural land for rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) based on climatic- stochastical analysis. Journal of Agroecology 12(3):487-505.

Introduction

Stochastical analysis can increase decision-making reliability, meanwhile increasing the flexibility of decisions. The critical role of climatic factors in land zoning on the one hand and the stochastical nature of climatic variables, on the other hand, causes the uncertainty of land suitability grading for plant cultivation, especially in dryland conditions. Golestan province has the third rank among the Iran provinces with about 400,000 hectares of cultivated land and production of more than one million tons of wheat, of which about 57 and 50 percent are allocated to rainfed cultivation, respectively. The present study was conducted to examine changes in various climate variables affecting wheat growth under the influence of different occurrence probabilities and zoning agricultural land in Golestan province for the rainfed wheat cultivation under these conditions.

Materials and Methods

First, dates of planting and occurrence of each phenological stage of rainfed wheat were determined by daily data of precipitation and minimum and maximum temperatures for 33 weather stations in Golestan province in a 26-year typical statistical period. Then, by fitting different probability distribution functions and selecting the best distribution, the values of these variables were estimated at five occurrence probability levels of 25, 50, 75, 85, and 95 percent. Next, the average air temperature, the possibility of occurrence of adverse temperatures, precipitation and ratio of effective precipitation to potential evapotranspiration of wheat for each growth stage and total growth period were calculated for whole weather stations at different occurrence probability levels. Finally, by providing zoning maps of these variables and other features including elevation, land slope, land type, soil salinity and overlaying 22 layers for each occurrence probability level, agro-ecological zoning of agricultural lands of Golestan province for rainfed wheat cultivation at different occurrence probability levels was performed.

Results and Discussion

Results showed that increasing occurrence probability level from 25 to 95 percent due to delaying suitable planting date from late autumn to early winter and its effect on the climatic-environmental conditions and the length of the plant growth stages improved the degree of land suitability grade for rainfed wheat cultivation in terms of mean air temperature in stages of flowering, maturity and total growth season, the occurrence possibility of temperatures higher than 14 and less than 9 °C in germination and flowering and maturity stages, respectively, and the amount of precipitation in the germination stage. Adversely, it resulted in degradation in the degree of land suitability in term of mean air temperature in the germination stage, the occurrence possibility of temperatures higher than 25 and 30 °C in flowering and maturity stages, respectively, and the amount of precipitation and ratio of effective precipitation to potential evapotranspiration in stages of flowering and maturity and the entire season. The results of agro-ecological zoning showed that the extent of suitable and moderate zones was between 50-56 and 44-50 percent of the agricultural land, respectively, for the occurrence probability levels of 50, 75 and 85 percent and the occurrence probability did not have a significant effect on zoning. In comparison, at the occurrence probability levels of 25 and 95 percent (equal to the early and late

1- Associate Professor, Department of Agriculture, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: kkaboosi@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79025

planting dates, respectively), about 91 and 78 percent of the province's agricultural land was located in a suitable and moderate zone, respectively. These results are accordant with the findings of Hoseini et al. (2018), who showed that the maximum extent of suitable land for cotton cultivation in Southern Khorasan province occurred in the early planting date. Considering the majority of agricultural land of Golestan province is located in the middle strip of the province, most changes of zoning maps by occurrence probability level have also occurred in this region.

Conclusion

A low reduction in cultivation risk (increasing the occurrence probability from 25 to 50 percent) significantly degraded the land suitability for rainfed wheat in Golestan province while more reduction in the farming risk (increasing the occurrence probability up to 85 percent) led to no significant effect on land suitability. However, if the minimum risk (95% probability) be selected as a management decision for rainfed wheat farming, the lowest land suitability for rainfed wheat cultivation will occur.

Keywords: Agro-ecology, Air temperature, Evapotranspiration, Land suitability, Occurrence probability, Precipitation.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 507-522

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۲۲-۵۰۷

مقاله علمی - پژوهشی

تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

امید حیدرپور[1]، بهروز اسماعیل‌پور[2]*، علی اشرف سلطانی[3] و سرور خرم‌دل[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷

حیدرپور، ا.، اسماعیل‌پور، ب.، سلطانی، ع.، و خرم‌دل، س.، ۱۳۹۹. تأثیر ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۲۲-۵۰۷.

چکیده

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده در تولید محصولات کشاورزی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است. به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تنش خشکی، آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (S_1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S_2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و S_3: قطع آبیاری در اوایل گل‌دهی و ورمی‌کمپوست در چهار سطح (صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن در هکتار) بودند. صفات مورد بررسی شامل ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه جانبی، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید، پرولین، پروتئین، آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، میزان نشت یونی و پرولین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی مانند تعداد شاخه جانبی، آنزیم پراکسیداز، آنزیم کاتالاز، پروتئین و کلروفیل‌کل معنی‌دار نبود. با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست شاخص‌های مورفوفیزیولوژیک از قبیل ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه، تعداد شاخه جانبی، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، کاروتنوئید و پروتئین افزایش یافت و مقدار نشت یونی، کاتالاز، پراکسیداز و پرولین در شرایط تنش خشکی کاهش یافت. بر اساس نتایج می‌توان بیان کرد که مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار می‌تواند باعث تولید پایدار و بهبود رشد و عملکرد گیاه دارویی مرزه در شرایط تنش خشکی شدید مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کاتالاز، کلروفیل a، گیاه دارویی، نشت یونی.

مقدمه

مرزه با نام علمی *Satureja hortensis* L. گیاهی دارویی، علفی و یک‌ساله متعلق به خانواده نعناعیان می‌باشد. این گیاه بومی منطقه مدیترانه بوده و در سطح وسیعی در فرانسه، مجارستان، اسپانیا و ایران مورد کشت‌وکار قرار می‌گیرد (Hornok, 1986; Omidbaigi, 1997). قسمت‌های هوایی مرزه به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان مواد ادویه‌ای در انواع غذاها و نیز برای درمان بیماری‌های معده و روده استفاده می‌شود. قطره دنتول[5] از اسانس این گیاه به‌دست می‌آید که برای درمان درد دندان استفاده می‌شود (Sefidkon & Ahmadi, 2002; Sefidkon & Jamzad, 2000).

۱- دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۲- دانشیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۳- دانشیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۴- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email:behsmaiel@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79634

5- Dentol

گیاهان در طی دوره رشد با تنش‌های زیستی زیادی مواجه می‌شوند که می‌توانند بر رشد، متابولیسم و عملکرد آن‌ها بسته به حساسیت گونه‌ها و مرحله نمو تأثیر بگذارد. کمبود آب یکی از مهم‌ترین عوامل محدودیت تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Reddy, 2004). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مسئول کاهش تولید و عملکرد جهانی به‌خصوص در مناطق با بارندگی‌های کم و نامنظم می‌باشد (Kadam et al., 2014). تنش خشکی برخی از شاخص‌های مورفولوژیک، عملکرد و بسیاری از صفات رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ikemura, 2007). کمبود آب همچنین اثرات نامطلوبی بر فرآیند های فیزیولوژیکی مانند فتوسنتز، جذب عناصر غذایی، توسعه و تقسیم سلولی، تجمع و انتقال مواد غذایی دارد (Devnarain et al., 2016). بررسی اثرات سطوح مختلف رطوبت خاک بر خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع گیاه، اندام‌هوایی، تعداد برگ، کلروفیل برگ، وزن خشک و تر ریشه، طول ریشه، تعداد شاخه، محتوای رطوبت نسبی برگ و عملکرد شد (Mirakalaei et al., 2013). در تحقیقی که توسط نوشکام و همکاران (Nooshkam et al., 2014) روی گونه‌های مرزه صورت گرفت، مشخص شد که افزایش فواصل آبیاری و کشت دیم در مقایسه با شاهد، عملکرد تر، عملکرد خشک، عملکرد برگ و سرشاخه‌های گل‌دار، عملکرد اسانس و شاخص سطح برگ را به‌طور معنی‌داری کاهش داد. نتایج مطالعه‌ای روی گیاه فلفل (*Capsicum annum* L.) نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش رشد و عملکرد این گیاه شد، در حالی که بر میزان پرولین موجود در برگ‌های آن افزود (Kok et al., 2010). در تحقیقی که به‌منظور مطالعه تنش خشکی (۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) روی گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L.) انجام گرفت، بروز تنش خشکی (۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) موجب کاهش رشد و کلروفیل a و افزایش پرولین و کلروفیل b شد (Safi-Khani et al., 2006). هنگامی‌که پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، گیاهان نیز بایستی قادر به کاهش پتانسیل آب باشند تا از این طریق توانایی جذب آب را از خاک داشته باشند. از طریق مکانیسم تنظیم اسمزی گیاهان با تجمع برخی یون‌های فعال و یا ترکیبات آلی سبب کاهش پتانسیل اسمزی شده و از این طریق حرکت جریان آب از خاک به ریشه‌ها صورت می‌گیرد (Gholamhoseini et al., 2013). ترکیبات آلی همچون پرولین و کربوهیدرات‌ها نقش مهمی در تنظیم اسمزی گیاهان دارند (Gholamhoseini et al., 2013). از آن‌جا که مقدار زیادی از آب در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، بنابراین ضروری است که توجه ویژه‌ای به افزایش بهره‌وری مصرف آب شود (Huang et al., 2012).

ورمی‌کمپوست یک کود بیوارگانیک و شامل یک مخلوط بیولوژیکی بسیار فعال از باکتری‌ها، آنزیم‌ها، بقایای گیاهی، کود حیوانی و کپسول‌های کرم خاکی می‌باشد که سبب عمل تجزیه خاک و پیشرفت فعالیت‌های میکروبی در بستر کشت می‌شود (Atiyeh et al., 2001). ورمی‌کمپوست از طریق تأمین مواد مغذی تأثیر مستقیم بر رشد، نمو و عملکرد گیاهان دارد و همچنین با اصلاح خصوصیات فیزیکی خاک و بهبود محیط اطراف ریشه باعث تحریک رشد گیاهان می‌شود (Singh et al., 2010). اثرات مثبت ورمی‌کمپوست در بسیاری از گیاهان گزارش شده است (Anwar et al., 2005; Prabha et al., 2007). مطالعات نشان داده است که کاربرد ورمی‌کمپوست می‌تواند باعث تحریک گل‌دهی، افزایش رشد و نمو و عملکرد گیاهان شود (Arancon et al., 2008). مطالعات نشان دادند که کاربرد ورمی‌کمپوست منبع خوبی از عناصر غذایی ضروری و کم‌مصرف را فراهم می‌کند و همچنین جذب آن‌ها توسط ریشه در گیاهان را فزایش می‌دهد (Karmegam & Daniel, 2000; Zhang et al., 2015). در برخی مطالعات، تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست بر فراهمی، بهبود دسترسی و محتوای عناصر غذایی (Kucukyumuk et al., 2014) و به تبع آن بهبود رشد (Atiyeh et al., 2001) و افزایش عملکرد (Kizilkaya et al., 2012) گزارش شده است.

از آن‌جا که خشکسالی و بروز تنش‌های آبی در بسیاری از مناطق دنیا می‌تواند رشد و عملکرد و از طرفی، تولید پایدار گیاهان دارویی را تحت تأثیر قرار دهد، لذا یافتن راهکارهایی جهت تعدیل اثرات تنش روی گیاه مرزه با بهره‌گیری از کودهای آلی همچون ورمی‌کمپوست ضروری می‌باشد. لذا با توجه به موارد ذکر شده این پژوهش با هدف بررسی اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست و رژیم‌های آبیاری بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی، عملکرد و خصوصیات بیوشیمیایی گیاه دارویی مرزه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل سه رژیم آبیاری (S_1: آبیاری کامل (۱۰۰ درصد)، S_2: قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و S_3: قطع آبیاری در اوایل گل‌دهی و چهار سطح ورمی-کمپوست شامل صفر (V_1)، یک تن در هکتار (V_2)، ۱/۵ تن در هکتار (V_3) و دو تن در هکتار (V_4) بود. قبل از اعمال تیمارها نمونه‌برداری خاک از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر انجام شد و برای تعیین خصوصیات شیمیایی به آزمایشگاه خاک منتقل شد که نتایج آزمایش خاک در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی خاک و ورمی‌کمپوست

Table 1- Some chemical characteristics of the soil and vermicompost

خصوصیات Properties	خاک Soil	ورمی‌کمپوست Vermicompost
ماده آلی Organic matter (%)	0.068	35
نیتروژن کل Total nitrogen (%)	0.014	3.51
فسفر قابل دسترس Available phosphorus (%)	0.08	1.15
پتاسیم قابل دسترس Available K (%)	0.03	1.25
آهن Fe (ppm)	11.48	550
منگنز Mn (ppm)	10	300
روی Zn (ppm)	3.5	250
مس Cu (ppm)	0.82	45
اسیدیته pH	7.1	7
هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	1.2	1.1

عملیات آماده‌سازی بستر کاشت شامل شخم و دیسک قبل از کاشت انجام شد. بعد از شخم زدن زمین، کرت‌های مورد نظر آماده گردید و سطح کرت‌ها صاف شدند و ورمی‌کمپوست بر اساس مقادیر موردنظر به کرت‌ها اضافه گردید و با استفاده از شن‌کش کود ورمی-کمپوست به‌آرامی با خاک کاملاً مخلوط گردید. جهت اجرای آزمایش کرت‌هایی به ابعاد یک در یک متر در نظر گرفته شد. بذر مورد استفاده از مؤسسه تحقیقات گیاهان دارویی دانشگاه شهید بهشتی تهیه گردید. بذر مرزه به‌صورت ردیفی در فاصله بین ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری کشت گردید. برای جوانه‌زنی و سبز شدن بذرها آبیاری به‌فاصله یک روز در میان و بعد از سبز شدن و تا قبل از اعمال تنش خشکی، آبیاری به‌طور منظم انجام شد. بوته‌ها در مرحله چهار تا شش برگی برای دست‌یابی به تراکم مطلوب تنک شدند و وجین علف‌های هرز به تعداد دفعات مورد نیاز انجام شد. تمامی کرت‌های آزمایشی تا هشت هفته بعد از کاشت به‌طور یکسان و هم‌زمان آبیاری شدند. برای اعمال تیمار آبیاری، خاک مزرعه در افق ریشه‌های گیاه تا عمق ۲۰ سانتی‌متر با حفر پروفیل، مورد بررسی قرارگرفت. برای کنترل آب از روش وزنی استفاده گردید. ظرفیت مزرعه‌ای(FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) با استفاده از نمونه‌های دست‌نخورده در حالت ۲۴ ساعت پس از اشباع خاک برای ظرفیت مزرعه‌ای و قرار دادن در دستگاه

مکش با ۱۵ اتمسفر فشار منفی برای نقطه پژمردگی دائم، مقادیر مربوطه برای خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر با توجه به لایه‌بندی خاک و از تفاضل آن‌ها میزان آب قابل استفاده خاک (AW) تعیین شد. در طول آزمایش آب قابل استفاده (بسته به مرحله رشدی گیاه) توسط سیلندر نمونه‌برداری خاک و انتقال به آون به‌صورت درصد وزنی رطوبت تعیین شد(De Ridder & Van Keulen, 1995) . سپس تنش خشکی به‌صورت قطع آبیاری در اوایل مرحله گل‌دهی و قطع آبیاری در مرحله ۵۰ درصد گل‌دهی اعمال گردید. بوته‌ها در مرحله گل‌دهی کامل در ۱۵ شهریور ماه برداشت شدند و صفات مورد نظر شامل، ارتفاع گیاه، وزن خشک ساقه و تعداد شاخه جانبی اندازه‌گیری شد. ساقه گیاهان به آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت جهت خشک شدن قرار داده شد و با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی، شامل کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها، از برگ‌های تازه گیاهها بر اساس روش آرنون (Arnon, 1975) استفاده شد. طبق این روش با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Jenway مقدار جذب نوری محلول‌ها در طول موج ۴۷۰، ۶۴۵ و ۶۶۳ نانومتر قرائت و مقدار کلروفیل a و b بر اساس معادله‌های ۱ تا ۴ محاسبه گردید. میزان کلروفیل فلورسانس توسط دستگاه فلورومتر مدل (PAM 2500-Walz, Germany) اندازه گیری شد.

معادله (۱)	$Chl_a = (12.25)\ (A_{663.2}) - (2.0798)\ (A_{646.8})$
معادله (۲)	$Ch_b = (21.21)\ (A_{646.8}) - (5.1)\ (A_{663.02})$
معادله (۳)	$Chl_T = Chl_a + Chl_b$
معادله (۴)	$Carotenoids=(1000A_{4701.8}-Chl_a-85.02Chl_b)/19$

محتوای نسبی آب برگ: برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ ۰/۵ گرم از جوان‌ترین برگ توسعه یافته هر گیاه (FW) جدا کرده و سپس نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر شناور گردید. پس از گذشت این مدت وزن اشباع برگ با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه‌گیری گردید (TW). سپس برگ‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت و بعد از گذشت این مدت وزن خشک برگ‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم اندازه گرفته شد (DW). در نهایت، محتوای آب نسبی با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (Barrs & Weatherly, 1962).

معادله (۵)
$$\%RWC = \frac{FW - DW}{TW - DW} \times 100$$

نشت یونی: از برگ کاملاً توسعه یافته دیسک‌هایی تهیه و سه بار با آب دیونیزه شست‌وشو شد. نمونه‌ها در ظرف سربسته حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه قرار گرفت و سپس به‌مدت ۲۴ ساعت و در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر تکان داده شد. پس از پایان زمان مورد نظر نمونه‌ها در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت شد (L_t). سپس نمونه و محلول را در اتوکلاو قرار داده و مجدداً در طول موج ۲۸۰ نانومتر قرائت انجام شد (L_0). برای محاسبه نشت یونی از معادله ۶ استفاده شد (Korkmaz et al., 2010).

معادله (۶) درصد نشت مواد محلول= $L_t / L_0 \times 100$

پرولین: اندازه‌گیری پرولین با استفاده از جوان‌ترین برگ‌ها انجام گرفت. بدین صورت که مقدار ۰/۵ گرم بافت برگ تازه را به قطعات کوچک‌تر از پنج میلی‌لیتر بریده و همراه با ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد در یک هاون چینی به‌مدت سه دقیقه سائیده شده، و محلول هموژنیزه شده توسط کاغذ صافی واتمن شماره دو صاف شده و با دو میلی‌لیتر از محلول صاف شده با دو میلی‌لیتر نین‌هیدرین و دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال خالص در یک لوله آزمایش ریخته شده و لوله‌ها به‌مدت یک ساعت در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد بن‌ماری قرار گرفت. پس از سرد شدن به محلول واکنش در لوله آزمایش و پس از سرد شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن اضافه گردید. به هرکدام از لوله‌ها، به‌مدت ۱۵ تا ۲۰ ثانیه ورتکس گردید. پس از تشکیل دو فاز جداگانه، فاز رنگی بالایی با دقت جدا و مقدار جذب در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد و مقدار پرولین با استفاده از منحنی استاندارد به‌دست آمد (Bates et al., 1973).

پروتئین: برای اندازه‌گیری غلظت پروتئین از روش برادفورد شد. طبق این روش، ۰/۲ گرم نمونه برگی را وزن کرده در هاون چینی ریخته و هم‌زمان نیتروژن مایع اضافه شد. در حین خرد کردن برگ، ۲۰ میلی‌گرم (پلی‌وینیل پروپیلیدین) اضافه گردید و هم‌زمان با هم‌زدن ۱/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم حاوی سدیم متابای‌سولفیت (۰/۰۱۹ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر بافر) به آن اضافه شد. ترکیب حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه با سرعت ۱۵۰۰۰ دور و در دمای چهار درجه سانتی‌گراد در سانتریفیوژ

یخچال‌دار سانتریفیوژ گردید. پس از اتمام سانتریفیوژ، فاز رویی حاوی پروتئین‌های محلول نمونه، با نمونه‌بردار خارج نموده و ۵۰۰ میکرولیتر از عصاره با ۱۷۵ میکرولیتر گلیسرول ۵۰٪ مخلوط شد. برای اندازه‌گیری پروتئین، ۳۰ میکرولیتر عصاره برگ را به‌همراه ۷۲۰ میکرولیتر محلول برادفورد مخلوط نموده و پس از پنج دقیقه، میزان جذب نوری محلول در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. با توجه به منحنی استاندارد و میزان جذب نوری در طول موج ۵۹۵ نانومتر، پروتئین نمونه‌ها برحسب میلی‌گرم بر گرم وزن تر ارائه شد (Bradford, 1976).

فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم با استفاده از روش کار و میشرا (Kar & Mishra, 1976) اندازه‌گیری شد، به این ترتیب که ۶۰ میکرولیتر از عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر تریس ۵۰ میلی‌مولار با pH=۷ و ۰/۳ میلی‌لیتر آب‌اکسیژنه پنج میلی‌مولار در حمام یخ اضافه نموده و منحنی تغییرات جذب در طول موج ۲۴۰ نانومتر قرائت شد. فعالیت آنزیم به‌ازای هر میکروگرم بر میلی‌گرم پروتئین بافت تازه گیاهی به‌دست آمد.

فعالیت آنزیم پراکسیداز: اندازه‌گیری فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به‌روش کار و میشرا (Kar & Mishra, 1976) انجام شد، به این صورت که ۵۰ میکرولیتر عصاره پروتئینی را در ۲/۵ میلی‌لیتر بافر استخراج که شامل بافر تریس ۱۰۰ میلی‌مولار و آب اکسیژنه پنج میلی‌مولار و پیروگالل ۱۰ میلی‌مولار بود، در حمام یخ افزوده و منحنی تغییرات در طول موج ۴۲۵ نانومتر قرائت شد.

پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS 9.1 صورت گرفت. مقایسه میانگین تیمارها به‌روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

صفات مورفولوژیکی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر ارتفاع بوته و وزن خشک ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی روی تعداد شاخه جانبی تأثیر معنی‌داری نداشت. همچنین تأثیر متقابل تنش خشکی و تیمار کودی ورمی‌کمپوست تنها روی ارتفاع گیاه و وزن خشک ساقه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم آبیاری و ورمی‌کمپوست نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته (۵۲/۳ سانتی‌متر)، وزن خشک ساقه (۲۴گرم) در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار و کمترین ارتفاع بوته (۲۲/۳ سانتی‌متر) و وزن خشک ساقه (هشت گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) مشاهده شد (جدول ۵). کاهش شاخص‌های رشد در شرایط تنش خشکی در گیاه مرزه تابستانه (Esmaielpour et al., 2013)، گل مکزیکی (*Agastache* Omidbaigi & Mahmoudi Sourestani,) (*foeniculum* L. 2010)، فلفل دلمه‌ای (*Capsicum annuum* L.) (Alaboz et al., 2017) و ترخون (*Artemisia dracunculus* L.) (Lotfi et al., 2014) نیز گزارش شده است. در شرایط تنش خشکی، جذب مواد غذایی موجود در خاک کاهش یافته و رشد و نمو برگ‌ها محدود می‌شود. لذا در اثر کاهش سطح برگ، جذب نور توسط گیاه نیز به‌طور محسوس کاهش یافته و ظرفیت فتوسنتزی کل کاهش می‌یابد که با کاهش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش خشکی، رشد گیاه و در نهایت، عملکرد گیاه کاهش می‌یابد (Ashraf & Foolad, 2007). گیاهان برای مقابله با تنش خشکی و زنده ماندن در شرایط تنش، مواد غذایی و انرژی تولید شده در گیاه را به‌جای استفاده در رشد اندام‌های هوایی به‌سمت مولکول‌های نگهداری‌کننده در برابر تنش همچون پرولین هدایت می‌کنند تا از این طریق با رشد کم حالت سازگار با تنش خشکی ایجاد کنند (Khalid, 2006).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات مورفوفیزیولوژیکی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) for the effect of different levels of vermicompost on morphophysiological traits of summer savory under water stress conditions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه جانبی Lateral branches	وزن خشک ساقه Stem dry weight	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence	محتوای نسبی آب برگ Relative water content
تکرار Replication	2	20.33	524.33	4.78	0.00019	138.194
رژیم آبیاری (S) Irrigation regime (S)	2	1151.58*	116.33 ns	343.69*	0.2028*	125.28*
ورمی‌کمپوست (V) Vermicompost (V)	3	158.69*	70.63 ns	87.93*	0.029*	210.250*
S × V	6	3.58*	10.41 ns	4.06*	0.018*	14.03*
خطا Error	22	1.24	8.33	1.47	0.00039	2.46
ضریب تغییرات C.V. (%)		2.82	11.95	7.19	2.70	2.06

ns و *: به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

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

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 3 - Analysis of variance (mean of squares) for the effect of different levels of vermicompost on physiological and biochemical traits of summer savory under water stress conditions

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	نشت یونی Electrolyte leakage	پرولین Proline	پراکسیداز Peroxidase	کاتالاز Catalase	پروتئین Protein	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid
تکرار Replication	2	83.53	0.00029	0.00066	0.0008	0.0022	1.98	1.018	1.488	0.631
رژیم آبیاری (S) Irrigation regime (S)	2	653.861*	0.02*	0.0031*	0.0025*	0.00061 ns	22.34*	22.33*	88.873*	*5.324
ورمی‌کمپوست (V) Vermicompost (V)	3	377.735*	0.0063*	0.0089*	0.0094*	0.0086*	25.75*	67.89*	178.519*	6.425*
S × V	6	10.824*	0.00086*	0.000٠36 ns	0.00099 ns	0.000045 ns	1.79*	1.70*	1.237 ns	0.448*
خطا Error	22	2.49	0.00017	0.00017	0.00013	0.000093	0.37	0.62	0.92	0.175
ضریب تغییرات C.V. (%)		6.33	7.95	6.16	5.36	8.63	3.11	6.33	2.99	6.41

ns و *: به‌ترتیب به مفهوم غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر ساده سطوح مختلف ورمی‌کمپوست بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه تحت تنش خشکی

Table 4- Mean comparison for the simple effect of different levels of vermicompost on morphophysiological and biochemical traits of summer savory under water stress

تیمار Treatment	تعداد شاخه جانبی Lateral branches	پراکسیداز Peroxidase ($unit.mgpro^{-1}$)	کاتالاز Catalase ($unit.mgpro^{-1}$)	پروتئین Protein ($mg.g^{-1}$)	کلروفیل کل Total Chlorophyll ($mg.g^{-1}$)
رژیم‌های آبیاری Irrigation regimes					
S_1	27.50 a*	0.196 c	0.197 c	34.62 a	34.62 a
S_2	23.66 b	0.212 b	0.214 b	32.53 b	32.53 b
S_3	21.33 b	0.229 a	0.226 a	29.23 c	29.23 c
ورمی‌کمپوست Vermicompost ($t.ha^{-1}$)					
V_1	20.00 b	0.250 a	0.249 a	29.61 d	29.61 d
V_2	25.11 a	0.224 b	0.227 b	30.68 c	30.68 c
V_3	25.55 a	0.198 c	0.198 c	33.55 b	33.55 b
V_4	26.00 a	0.177 d	0.176 d	37.55 a	37.55 a

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بیان‌کننده آبیاری کامل و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و اوایل گل‌دهی و V_1، V_2، V_3 و V_4: به‌ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار است.

S_1, S_2, and S_3: indicate full irrigation and irrigation cut-off at 50% flowering stage and early-flowering stage and V_1, V_2, V_3 and V_4 represent 0, 1, 1,5 and 2 tone vermicompost per ha, respectively.

* در هر ستون و برای هر تیمار حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letter(s) in each column and for each treatment are not significantly different based on Duncan's test at p≤0.05 probability level.

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رژیم‌های آبیاری و سطوح ورمی‌کمپوست بر برخی صفات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه مرزه

Table 5- Mean comparison Interaction between drought stress and vermicompost on morphophysiological and biochemical traits of summer savory

تیمار Treatment		ارتفاع بوته Plant height (cm)	وزن خشک ساقه Stem dry weight(g)	کلروفیل فلورسانس Chlorophyll fluorescence	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.g^{-1})	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.g^{-1})	کاروتنوئید Carotenoid (mg.g^{-1})	پرولین Proline (µg.g^{-1})	محتوای نسبی آب برگ Relative water content (%)	نشت یونی Electrolyte leakage (%)
S_1	V_1	33.44^{c}*	18.33^{dc}	0.836^{b}	17.43^{gh}	11.44^{def}	5.49^{ef}	0.137^{ghi}	81.66^{bcd}	23.00^{ef}
	V_2	47.00^{bc}	20.33^{bc}	0.876^{a}	20.65^{cd}	12.83^{bcd}	7.21^{b}	0.132^{hi}	84.33^{abc}	19.00^{fgh}
	V_3	66.49^{a}	22.33^{ab}	0.856^{ab}	22.02^{b}	13.65^{bc}	7.67^{ab}	0.122^{hi}	87.00^{ab}	15.33^{h}
	V_4	52.33^{ab}	24.00^{a}	0.836^{b}	23.23^{a}	17.24^{a}	8.08^{a}	0.115^{i}	90.66^{a}	12.33^{i}
S_2	V_1	36.66^{e}	13.00^{e}	0.710^{e}	18.54^{fg}	9.63^{g}	5.72^{def}	0.203^{bc}	73.33^{e}	32.66^{bc}
	V_2	39.66^{d}	17.00^{d}	0.752^{cd}	19.31^{ef}	11.24^{ef}	6.14^{de}	0.183^{cde}	75.66^{de}	28.00^{cde}
	V_3	44.33^{c}	21.66^{ab}	0.767^{c}	۲۰.57^{cd}	13.29^{bc}	7.08^{bc}	0.159^{efg}	78.33^{cde}	28.66^{def}
	V_4	45.00^{c}	22.33^{ab}	0.745^{cd}	21.45^{bc}	16.10^{a}	7.63^{ab}	0.142^{fgh}	81.33^{bcd}	17.00^{ghi}
S_3	V_1	22.33^{h}	8.00^{f}	0.405^{g}	16.73^{h}	6.96^{h}	5.05^{fg}	0.266^{a}	58.33^{g}	41.00^{a}
	V_2	27.33^{g}	9.66^{f}	0.556^{f}	17.52^{gh}	10.49^{fg}	5.67^{def}	0.213^{b}	62.33^{fg}	36.33^{ab}
	V_3	32.33^{f}	12.00^{e}	0.718^{de}	18.50^{fg}	12.61^{cde}	6.39^{cd}	0.189^{bcd}	66.00^{f}	29.00^{dc}
	V_4	34.00^{fe}	14.00^{e}	0.692^{e}	19.88^{de}	14.21^{b}	6.16^{de}	0.165^{def}	75.33^{de}	22.33^{fg}

S_1، S_2 و S_3: به‌ترتیب بیان‌کننده آبیاری کامل و قطع آبیاری در ۵۰ درصد گل‌دهی و اوایل گل‌دهی و V_1، V_2، V_3 و V_4: به‌ترتیب نشان‌دهنده صفر، ۱، ۱/۵ و ۲ تن ورمی‌کمپوست در هکتار است.

S_1, S_2, and S_3: indicate full irrigation and irrigation cut-off at 50% flowering stage and early-flowering stage and V_1, V_2, V_3 and V_4 represent 0, 1, 1,5 and 2 tone vermicompost per ha, respectively.

* در هر ستون و برای هر تیمار حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

* Means with the same letter(s) in each column and for each treatment are not significantly different based on Duncan's test at $p \leq 0.05$ probability level.

اثر ورمی‌کمپوست در بهبود رشد گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.) (Bender Ozenc, 2008; Pritam & Garg, 2010)، لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Beyk Khurmizi et al., 2010) و ذرت (*Zea mays* L.) (Samiran et al., 2010) در شرایط تنش خشکی گزارش شده است. ورمی‌کمپوست با بهبود خواص فیزیکی محیط رشد، افزایش فعالیت ریزجانداران موجود در خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در شرایط تنش خشکی باعث بهبود صفات مورفولوژیکی می‌شود (Bender Ozenc, 2008). در این پژوهش به نظر می‌رسد که ورمی‌کمپوست از طریق افزایش جذب آب توسط گیاه و همچنین جذب عناصر غذایی موجود در خاک باعث افزایش میزان فتوسنتز و افزایش تولید فرآورده‌های فتوسنتزی شده و از این طریق باعث بهبود خصوصیات مورفولوژیکی گیاه شده است.

رنگیزه‌های فتوسنتزی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر متقابل تنش خشکی و تیمار کودی ورمی‌کمپوست روی کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئید در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد، ولی روی کلروفیل کل تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳). بیشترین میزان کلروفیل a (۲۳/۳۳ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (۱۷/۲۴ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۸/۰۸ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری کامل و دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین میزان کلروفیل a (۱۷/۷۳ میلی‌گرم بر گرم)، کلروفیل b (۶/۹۶ میلی‌گرم بر گرم) و کاروتنوئید (۵/۰۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) به‌دست آمد. همچنین، بیشترین مقدار کلروفیل فلورسانس (۰/۸۷۸) از تیمار آبیاری کامل و یک تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۰/۴۰۵) حاصل شد (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات ساده تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان کلروفیل کل در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل آن‌ها بر میزان کلروفیل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل کل (۳۴/۶۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و کمترین میزان کلروفیل (۲۹/۲۳ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) حاصل شد. با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست میزان کلروفیل کل افزایش یافت، به‌طوری‌که بیشترین میزان کلروفیل کل (۳۷/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و کمترین میزان کلروفیل کل (۲۹/۶۱ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) به‌دست آمد (جدول ۴). نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی میزان کلروفیل a، کلروفیل b، میزان کلروفیل کل، میزان کلروفیل فلورسانس و کاروتنوئید نیز کاهش یافت، که با نتایج سایر محققان مطابقت داشت. بررسی اثر تنش خشکی بر میزان کلروفیل a و b برگ ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (Hassani & Omidbaigi, 2002) و نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) (Izadi et al., 2009) تأثیرگذار بود. در اثر تنش رطوبتی محتوای کلروفیل گیاه ریحان بنفش کاهش یافت (Alishah et al., 2006). کاهش محتوای کلروفیل در برگ گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) (Dhanda et al., 2004; Shao et al., 2007) و مرکبات (Wu & Xia, 2006) در نتیجه کمبود آب و تنش خشکی گزارش شده است. گزارش شده است با کاربرد ورمی‌کمپوست محتوای کلروفیل در لیلیوم (*Lilium longiflorum* L.) (Mirakalaei et al., 2013) و تاج‌خروس (*Amaranthus* sp.) (Uma & Malathi, 2009) افزایش یافت. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که ورمی‌کمپوست می‌تواند محتوای کلروفیل و کاروتنوئید را از طریق افزایش مقدار نیتروژن قابل دسترس برای گیاه افزایش دهد و پس از آن گیاه نیز با توانایی جذب بیشتر نورخورشید و تولید بیشتر فراورده‌های فتوسنتزی باعث افزایش رشد و عملکرد گیاه شود (Salehi et al., 2016).

محتوای نسبی آب برگ: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر محتوای نسبی آب برگ گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طوری‌که، بیشترین درصد محتوای نسبی آب برگ در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و مصرف ورمی‌کمپوست به‌میزان دو تن در هکتار (۹۰/۶۶ درصد) و کمترین آن در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۵۸/۳۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). از محتوای نسبی آب به‌منزله شاخصی مناسب از وضعیت آب برگ‌ها یاد می‌شود که در صورت پیشرفت تنش خشکی کاهش می‌یابد و سبب تغییر در غشای یاخته‌ای و درنتیجه، افزایش نشت الکترولیتی از یاخته‌ها می‌شود (Izadi et al., 2009). در تحقیقی گزارش شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه مرزه محتوای

نسبی آب بـرگ کـاهش یافـت (Esmaeilpour et al., 2013). در تحقیقی روی گیاه بادرنجبویه مشخص شد که با اعمال تنش خشکی محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت، ولی با کاربرد ورمی‌کمپوست در محیط رشد گیاه میزان محتوای نسبی آب برگ افـزایش معنـی‌داری پیدا کـرد (Kazeminasab et al., 2016). در گیاهـان تحـت تـنش خشکی، سلول‌ها کوچک‌تر شده، برگ‌ها کمتـر توسـعه پیـدا کـرده و عملکرد ماده خشک به‌طور معنـی‌داری کـاهش مـی‌یابـد. همچنـین کاهش سرعت فتوسنتز برگ‌ها با کاهش محتوی نسبی آب و پتانسیل آبی برگ همـراه اسـت (Lawlor, 2002). اسـتفاده از کـود ورمـی-کمپوست باعث افزایش معنی‌داری در محتوای نسبی آب-بـرگ گیـاه مرزه نسبت به تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) شد. به نظر می‌رسد استفاده از کود ورمی‌کمپوسـت باعـث مـی‌شـود کـه شـرایط فیزیکی و شیمیایی خاک بهبود یافته و با افزایش ظرفیـت نگهـداری آب در خاک گیاه در شرایط خشکی از خود مقاومـت بیشـتری نشـان دهد.

نشت یونی: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابـل تـنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان نشت یـونی گیـاه مـرزه در سـطح احتمال پنج درصد معنی‌دارشد (جدول ۳). به‌طوری‌که، بیشترین میزان نشت یونی در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحلـه گـل‌دهـی (تـنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۴۱ درصـد) و کمتـرین میـزان نشت یونی در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و ورمی‌کمپوست دو تـن در هکتار (۱۲/۳۳ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). با افزایش تنش خشکی میزان نشت یونی از غشاهای سلولی مرزه افـزایش یافـت، همچنـین نتایج نشان داد که کود ورمی‌کمپوست اثر مثبتی را در کاهش میـزان نشت یونی طی تنش خشکی دارد (جدول ۵). گزارش شده است کـه در گیاهان دو ساله کیوی (*Actinidia delicious* L.) در اثر تـنش خشکی میزان نشت یونی افزایش یافت و با آبیاری مجدد این مقـدار کـاهش یافـت (Wang et al., 2011). نتـایج بررسـی روی خیـار (*Cucumis sativus* L.) و هندوانه (*Citrullus lanatus* L.) نشان دادکه میزان نشت یونی در شاهد به‌ترتیـب حـدود ۱۰۲/۳۱ درصـد و ۴۷/۷۵ درصد نسبت به بستر حاوی ورمی‌کمپوست بالاتر بود (Zangh & Shang, 2007). پایداری غشـای سـلولی تحـت تـنش رطـوبتی به‌منزله یک شاخص مهم تحمل به خشکی ذکر شده است. در حقیقت نشت یونی نیز می‌تواند به‌منزله یک شاخص مناسب دیگر از چگونگی آسیب‌های وارده به یاخته‌های برگی طی دوره تنش خشـکی مطـرح باشد (Fu & Huang, 2001).

پرولین: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر میزان پرولین گیاه مرزه در سـطح احتمـال پـنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد با افزایش میزان تنش خشکی مقدار پرولین در برگ بیشتر شد، ولی با کاربرد کـود ورمـی-کمپوست میزان پرولین برگ کاهش یافت، بـه‌طـوری‌کـه بیشـترین میزان پرولین در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهـی (تـنش شدید) و بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (۰/۲۲۶ میکروگرم بـر گـرم) و کمترین میزان پرولین در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و ورمی‌کمپوست دو تن در هکتار (۰/۱۱۵ میکروگرم بر گرم) به‌دست آمـد (جـدول ۵). محققان با بررسی تنش خشکی روی گیاه بابونـه آلمـانی (*Matrica recutica* L.) گزارش کردند که تنش خشکی باعث افـزایش تجمـع پرولین در بـرگ شـد (Ghaedi Jeshni et al., 2017). در تحقیقـی مشخص شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه مـرزه میـزان پرولین در برگ افزایش یافت (Esmaeilpour et al., 2013). نتایج حاصـل از آزمـایش روی گیـاه ریحـان (*Ocimum basilicum* L.) نشان داد که مقدار پرولین با افزایش تنش خشـکی بـه‌میـزان قابـل توجهی افزایش یافت و با مصرف سطوح مختلف ورمـی‌کمپوسـت از تجمـع پـرولین در گیـاه کاسـته شـد (Ghavami et al., 2017). در گل‌گاوزبان (*Echium amoenum* L.) تیمار شده با ورمی‌کمپوسـت مشخص شد که بیشترین تجمع پرولین در تیمار تنش خشکی بود که با افزایش مقدار ورمی‌کمپوست میزان پرولین در برگ گیاه کاهش پیدا کرد (Golinezhad et al., 2016). برای مقاومت در برابر تنش‌هـای محیطی به‌ویژه تنش خشکی، بسیاری از گیاهان با افـزایش سـنتز و ذخیره‌سازی پرولین پتانسیل اسمزی خود را افزایش می‌دهند (Liu et al., 2013). محتوای پرولین با افزایش تنش خشکی افزایش می‌یابد. مولکول‌های پرولین شامل بخش‌های آب‌دوست و آب‌گریـز هسـتند. پرولین قابل حل می‌تواند روی حلالیـت پـروتئین‌هـای مختلـف اثـر بگذارد و از اختلالات آلبومین جلوگیری کند. احتمـالاً رابطـه متقابـل بین پرولین و پروتئین‌هـای آب‌گریـز باعـث افـزایش مولکـول‌هـای پروتئین‌های آب‌دوست شده و از این طریق منجـر بـه ثبـات گیـاه و افزایش پرولین گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌شوند (Kuzntsov & Shevyakov, 1999).

پروتئین: بر اساس نتایج تجزیـه واریـانس اثـر تیمـار ورمـی-کمپوست بر میزان پروتئین گیاه مرزه در سطح احتمـال پـنج درصـد

معنی‌دار بود، ولی اثر ساده تنش خشکی و اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر این صفت معنی‌دار نبود(جدول ۳). نتایج نشان داد با کاربرد کود ورمی‌کمپوست میزان پروتئین برگ افزایش یافت و به‌طوری‌که، بیشترین مقدار پروتئین (۰/۱۴۶ میلی‌گرم بر گرم) و کمترین مقدار (۰/۰۷۷ میلی‌گرم بر گرم) به‌ترتیب در تیمارهای دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و عدم کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) حاصل شد (جدول ۴). محققان با بررسی اثر تنش خشکی و ورمی‌کمپوست گزارش کردند که پروتئین با افزایش تنش خشکی در همه سطوح ورمی‌کمپوست کاهش یافت که با افزایش ورمی‌کمپوست میزان پروتئین افزایش یافت که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Boyer et al., 1997; Good & Stonet, 1994). زیرا با افزایش ورمی‌کمپوست تنش خشکی کاهش می‌یابد و گیاهان نیازی به افزایش مقدار پرولین برای تنظیم اسمزی ندارند.

پراکسیداز و کاتالاز: بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و تیمار ورمی‌کمپوست بر میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز گیاه مرزه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر این صفات معنی‌دار نبود (جدول ۴). نتایج نشان داد که با افزایش سطح تنش خشکی میزان پراکسیداز و کاتالاز افزایش یافت که کاربرد ورمی‌کمپوست به‌طور قابل توجهی میزان فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را کاهش داد. بیشترین مقدار پراکسیداز و کاتالاز در تیمار قطع آبیاری در ابتدای مرحله گل‌دهی (تنش شدید) و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۲۲۹ و ۰/۲۲۶ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و کمترین آن‌ها در تیمار آبیاری کامل (شاهد) و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۱۹۶ و ۰/۱۹۷ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد. همچنین، بیشترین میزان پراکسیداز و کاتالاز در تیمار بدون کاربرد ورمی‌کمپوست (شاهد) با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۲۵۰ و ۰/۲۴۹ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و کمترین آن‌ها در تیمار دو تن در هکتار ورمی‌کمپوست و با میانگین‌های به‌ترتیب ۰/۱۷۷ و ۰/۲۴۹ تغییرات جذب در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین به‌دست آمد (جدول ۴). در تحقیقی مشخص شد که با افزایش میزان تنش خشکی در گیاه ریحان میزان پراکسیداز و کاتالاز در برگ افزایش یافت که با کاربرد کود ورمی‌کمپوست میزان این آنزیم‌ها کاهش یافت که با نتایج پژوهش ما مطابقت داشت (Ghavami et al., 2017; Khalid, 2006).گیاهان برای مقابله با اثرات نامطلوب تنش خشکی و گونه‌های اکسیژن فعال، میزان آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز را افزایش می‌دهند که فعالیت این آنزیم‌ها نقش کلیدی را در بقای گیاه در شرایط تنش خشکی ایفا می‌کند (Wu et al., 2012).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه روی اثر اعمال رژیم‌های آبیاری بر صفات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد مرزه در سطوح ورمی‌کمپوست مشاهده گردید که اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی از قبیل ارتفاع بوته، وزن خشک ساقه، محتوای نسبی آب برگ، کلروفیل فلورسانس، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید، میزان نشت یونی و پرولین در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل تنش خشکی و ورمی‌کمپوست بر صفاتی مانند تعداد شاخه جانبی، آنزیم پراکسیداز، آنزیم کاتالاز، پروتئین و کلروفیل‌کل معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج این پژوهش، کاربرد دو تن در هکتار کود ورمی‌کمپوست در شرایط تنش خشکی به‌ویژه در تنش‌های شدید خشکی می‌تواند برای بهبود صفات مورفوفیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و عملکرد گیاه مرزه مؤثر باشد.

References

Alaboz, P., Isildar, A.A., Mujdeci, M., and Senol, H., 2017. Effects of different vermicompost and soil moisture levels on pepper (*Capsicum annuum* L.) grown and some soil properties. Journal of Agricultural Sciences 27(1): 30-36.

Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A., and Dizaji, A.A., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum* L.). International Journal of Biological Sciences 6(4): 763-767.

Anwar, M., Patra, D.D., Chand, S., Kumar, A., Naqvi, A.A., and Khanuja, S.P.S., 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(1-14): 1737-1746.

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Babenko, A., Cannon, J., Galvis, P., and Metzger, J.D., 2008. Influences of

vermicomposts, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse, Applied Soil Ecology 39: 91-99.

Arnon, D.I., 1975. Physiological Principles of Dry Land Crop Production. In: U.S.Gupta (Ed.) Physiological Aspects of Dry Land Farming. pp. 3-14. Oxford Press.

Ashraf, M., and Foolad, M.R., 2007. Roles of glycine, betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.

Atiyeh, R.M., Arancon, N., Edwards, C.A., and Metzger, J.D., 2001. The influence of earthworm processed pigmanure on the growth and productivity of marigolds. Bioresource Technology 81(2): 103-108.

Barrs, H.D., and Weatherley, P.E., 1962. A re-examination of the relative turgidity techniques for estimating water deficits in leaves. Australian Journal of Biological Sciences 15: 413-428.

Bates, L.S., Waldern, R.P., and Teave, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil 39: 205-107.

Bender ÖzençOzenç, D., 2008. Growth and transpiration of tomato seedlings grown in hazelnut husk compost under water-deficit stress. Compost Science and Utilization 16: 125-13.

Beyk Khurmizi, A., Ganjeali, A., Abrishamchi, P., and Parsa, M., 2010. The effect of vermicompost on salt tolerance of bean seedlings (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal of Agroecology 23: 474-485. (In Persian with English Summary)

Boyer, J.S., Wong, S.C., and Farquhar, G.D., 1997. Gas exchange across leaf cuticule at various water potentials. Plant Physiology 114: 185-191.

Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Annual Biochemistry 72: 248-254.

De Ridder, N., and Van Keulen, H., 1995. Estimating biomass through transfer functions based on a simulation model results: A case study for Sahel. Agricultural Water Management 28: 57-71.

Devnarain, N., Crampton, BG., Chikwamba, R., Becker, J.V.W., and O'Kennedy, M.M., 2016. Physiological responses of selected African sorghum landraces to progressive water stress and re-watering. South African Journal of Botany 103: 61-69.

Dhanda, S.S., Sethi, G.S., and Behl, R.K., 2004. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. Journal of Agronomy and Crop Science 190(1): 6–12.

Esmaielpour, B., Hadian, J., and Jalilvand, P., 2013. Effects of drought stress and mycorizha on morpho-physiological and yield of summer savory (*Satureja hortensis* L.). Journal of Agroecology 5(2): 169-177. (In Persian with English Summary)

Fu, J., and Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. Journal of Environmental and Experimental Botany 45: 105-114.

Ghaedi Jeshni, M., Mousavinik, M., Khammari, I., and Rahimi, M., 2017. The changes of yield and essential oil components of german chamomile (*Matricaria recutita* L.) under application of phosphorus and zinc fertilizers and drought stress conditions. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 16: 60–65.

Ghavami, A., Abdossi, V., Rafiee, M., and Khalighi, A., 2017. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. Ukrainian Journal of Ecology 7(4): 325–329.

Ghavami, A., Abdossi, V., Rafiee, M., and Khalighi, A., 2017. The effect of mycorrhiza and vermicompost bio-fertilizers on some physiological characteristics of sweet basil plant (*Ocimum basilicum* L.) under the stress condition caused by water deficit. Ukrainian Journal of Ecology 7(4): 325–329.

Gholamhoseini, M., Ghalavand, A., Dolatabadian, A., Jamshidi, E., and Khodaei-Joghan, A., 2012. Effects arbuscular mycorrhizal inoculation of on growth, yield, nutrient uptake and irrigation water productivity of sunflowers grown under drought stress. Agricultural Water Management 117: 106-114.

Gholinezhad, R., Sirousmehr, A.R., and Fakheri, B., 2016. Evaluation of irrigation regimes and use of organic fertilizers on qualitative and quantitative yield of borage (*Borago officinalis* L.). Journal of Crop Ecophysiology 10(3): 683-696. (In Persian with English Summary)

Good, J., and Stonet, D., 1994. The effects of drounght Stress free amino in acids accumlation and prolien suntesis in (*Brassica napus*). Physiology Plantarum 20(1): 9-14.

Hassani, A., and Omidbaigi, R., 2002. Effect of water stress on some morphological, physiological and metabolical characteristics in basil (*Ocuimm basilicum* L.). Journal of Agricultural Sciences 12(3): 47-59. (In Persian with English Summary)

Hornok, L., 1986. Effect of environmental factors on growth, yield and on active principal of som spice plants. Acta Horticulturae 168: 169-176.

Huang, J., Ridoutt, B.G., Xu, C.C., Zhang, H.L., and Chen, F., 2012. Cropping pattern modifications change water

resource demands in the Beijing metropolitan area. Journal of Integrative Agriculture 11(11): 1914-23.

Ikemura, Y., 2007. Remote sensing of drought and salinity stressed turfgrass. Ph.D. Dissertation. New Mexico State University.

Izadi, Z., Asnaashari, M., and Ahmadvand, G., 2009. Influence of drought tension on yield, proline contents, soluble sugars, chlorophyll, relative water contents and essential oil in peppermint (*Mentha piperita* L). Iranian Journal of Horticultural Sciences 10(3): 223-234. (In Persian with English Summary)

Kadam, N.N., Xiao, G., Melgar, R.J., Bahuguna, R.N., QuiñonesQuinones, C., Tamilselvan, A., 2014. Agronomic and physiological responses to high temperature, drought, and elevated CO_2 interactions in cereals. Advances in Agronomy 127: 111-56.

Kar, M., and Mishra, D., 1976. Catalase, peroxidase, and polyphenoloxidase activities during rice leaf senescence. Plant Physiology 57(2): 315-319.

Karmegam, N., and Daniel, T., 2000. Effect of biodigested slurry and vermicompost on the growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). Environment and Ecology 18(2): 367-70.

Kazeminasab, A., Yarnia, M., Lebaschy, M.H., Mirshekari, B., and Rejali, F., 2016. The effect of vermicompost and pgpr on physiological traits of lemon balm (*Melissa officinalis* L.) plant under drought stress. Journal of Medicinal Plants and By-products 2: 135-144.

Kçukyumuk, Z., Gultekin, M., and Erdal, I., 2014. Vermikompost ve mikorizanın biber bitkisinin gelisimi ile mineral beslenmesi Uzerine etkisi. Suleyman Demirel Universitesi Ziraat Fak. Dergisi 9: 51-58.

Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). International Agrophysics 20: 289-296.

Koc, E., IslekIslek, C., and UstunUstun, A.S., 2010. Effect of cold on protein, proline, phenolic compounds and chlorophyll content of two pepper (*Capsicum annuum* L.) varieties. Gazi University Journal of Science 23: 1-6.

Korkmaz, A., Korkmaz, Y., Demirkiran, A.R., 2010. Enhancing chilling stress tolerance of pepper seedling by exogenous application of 5- aminolevolinic acid. Environmental and Experimental Botany 67: 495-501.

Kuznetsov, V.V., and Shevyakova, N.I., 1999. Proline under stress: biological role, metabolism, and regulation. Russian Journal of Plant Physiology 46:274-287.

Lawlor, D., and Cornic, G., 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. Plant, Cell and Environment 25(2): 275-294.

Liu, H., Zhang, Y.H., Yin, H., Wang, W.X., Zhao, X.M., and Du, Y.G., 2013. Alginate oligosaccharides enhanced *Triticum aestivum* L. tolerance to drought stress. Plant Physiology and Biochemistry 62: 33-40

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., and Mirza, M., 2014. The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(1): 19-29. (In Persian with English Summary)

Mirakalaei, S., Ardebill, Z., and Mostafavi, M., 2013. The effects of different organic fertilizers on the growth of lilies (*Lilium longiflorum*). International Research Journal of Applied and Basic Sciences 4: 181-186.

Nooshkam, A., Majnoun Hoseini, N., Hadian, J., Jahansooz, M., and Khavazi, K., 2014. The effects of irrigated and rainfed conditions on vegetative and essential oil yield of two medicinal species, *Satureja khuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad in North of Khuzestan. Electronic Journal of Crop Production 7(2): 61-75. (In Persian with English Summary)

Omidbaigi, O., and Mahmoudi Sourestani, M., 2010. Effect of drought stress on some morphological traits, amount and yield essential oil of Mexican flower (*Agastache foeniculum* L.). Iranian Journal of Horticulture 41(2): 153-161. (In Persian with English Summary)

Omidbaigi, R., 1997. Approaches to Production and Processing of Medicinal Plants. Vol. 2, Tarrahan-E-Nashr Publication, Tehran, Iran. 424 pp. (In Persian)

Prabha, M.L., Jayraay, I.A., Jayraay, R., and Rao, D.S. 2007. Effect of vermicompost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences 9(2): 321-326.

Pritam, S.V.K., and Garg, C.P.K., 2010. Growth and yield response of marigold to potting media containing vermicompost produced from different wastes. Environmentalist 30: 123-130.

Reddy, A.R., Chaitanya, K.V., and Vivekanandan, M., 2004. Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. Journal of Plant Physiology 161: 1189-1202.

Safi-Khani, F., Heidari Sharif Abad, H., Siadat, S.A., Sharifi, Ashorabadi, E., Seyednejad, S.M., and Abaszadeh, B., 2006. Drought effects on yield and morphological traits of *Dracocephalum moldavica* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 36(2): 183-190. (In Persian with English Summary)

Salehi, A., Tasdighi, H., and Gholamhoseini, M., 2016. Evaluation of proline, chlorophyll, soluble sugar content and uptake of nutrients in the German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under drought stress and organic fertilizer

treatments. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine 6(10): 886–891.

Samiran, R., Kusum, A., Biman, K.D., and Ayanadar, A., 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. Applied Soil Ecology 45: 78-84.

Sefidkon, F., and Ahmadi, S., 2002. Essential oil of *Satureja khuzistanica* Jamzad. Journal of Essential Oil Reviews 12: 427-428.

Sefidkon, F., and Jamzad, Z., 2000. Essential oil of *Satureja bachtiarica* Bunge. Journal of Essential Oil Research 12: 545-546.

Shao, H.B., Chu, L.Y., Wu, G., Zhang, J.H., Lu, Z.H., and Hu, Y.C., 2007. Changes of some antioxidative physiological indices under soil water deficits among 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at tillering stage. Colloids and Surfaces B: 54: 143–149.

Singh, R., Gupta, R.K., Patil, R.T., Sharma, R.R., Asrey, R., and Kumar, A., 2010. Sequential foliar application of vermicompost leachates improves marketable fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria* × *Ananassa* Duch.). Scientia Horticulturae 124: 34-9.

Uma, B., and Malathi, M., 2009. Vermicompost as a soil supplement to improve growth and yield of *Amaranthus* species. Research Journal of Agriculture and Biological Sciences 5: 1054-1060.

Wang, Y., Ma, F., Li, M., Liang, D., and Zou, J., 2011. Physiological responses of kiwifruit plants to exogenous ABA under drought conditions. Plant Growth Regulation 64: 63-74.

Wu, H., Wu, X., Li, Z., Duan, L., and Zhang, M., 2012. Physiological evaluation of drought stress tolerance and recovery in cauliflower (*Brassica oleracea* var Botrytis.) seedlings treated with methyl jasmonate and coronatine. Journal of Plant Growth Regulation 31: 113-123.

Wu, Q.S., and Xia, R.X., 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well watered and water stress conditions. Journal of Plant Physiology 163: 417–425.

Zhang, X., Dong, W., Dai, X., Schaeffer, S., Yang, F., and Radosevich, M., 2015. Responses of absolute and specific soil enzyme activities to long term additions of organic and mineral fertilizer. Science of the Total Environment 536: 59-71.

Zhang, Z., and Shang, Q., 2007. Studies on heat tolerance of cucumber and watermelon plug seedling with vermicompost-based substrate. Chinese Academy of Agricultural Sciences 25: 164-168.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 507-522

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۲۲-۵۰۷

Effect of Vermicompost on Morphophysiological, Biochemical and Yield Characteristics of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Different Irrigation Regimes

O. Heidarpour[1], B. Esmaielpour[2], A. Soltani Toolarood[3] and S. Khorramdel[4]
Submitted: 10-03-2019
Accepted: 27-04-2019

Heidarpour, O., Esmaielpour, B., Soltani Toolarood, A., and Khorramdel, S., 2020. Effect of vermicompost on morphophysiological, biochemical and yield characteristics of summer savory (*Satureja hortensis* L.) under different irrigation regimes. Journal of Agroecology 12(3):507-522.

Introduction

Summer savory (*Satureja hortensis* L.) is an annual medicinal herb, belonging to the family of Labiatae. This plant is native to the Mediterranean region and is cultivated extensively in France, Hungary, Spain, and Iran. Drought is one of the most important environmental factors responsible for decreasing global production and performance, especially in areas with low and irregular rainfall. Morphological indices such as plant height, stem length, yield, leaf area, and many of the growth traits of the plant are affected by drought stress.

Materials and Methods

A factorial layout based on a randomized complete block design with three replications was conducted at the Research Farm at the Mohaghegh Ardabili University, Iran, during 2016-2017. Treatments included three levels of drought stress (Full irrigation (s_1), Water cut at 50% of flowering (s_2), and Water cut in early stages of flowering (s_3) and four vermicompost levels (including 0, 1, 1.5 and 2 t. ha^{-1}). Plants were fully irrigated until eight weeks after seeding, and then drought stress was started at the early stage of flowering and 50 % flowering of plants. Fully irrigated plants throughout the growing season considered as control. The sampling was performed from cultivated plants, by the random collection of 3 individual samples. Samples to evaluate the morphophysiological, biochemical, and yield characteristics were taken at the full flowering stage. Traits such as plant height, dry stem weight, lateral branches, relative water content, electrolyte leakage, chlorophyll fluorescence, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoid, proline, protein, Catalase, and peroxidase antioxidant enzymes were measured and assessed. Data were analyzes using SAS V9.2. Mean comparison of results was made using Duncan's multiple range test at $p<0.05$ levels.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance the effects of various vermicompost levels and drought stress and their interaction have been presented. The results showed that the effect of drought stress and vermicompost on plant height and shoot dry weight were significant at the 5% probability level. However, no significant effect was observed on the number of lateral branches. Also, the interaction of drought stress and vermicompost fertilizer treatments was substantial for plant height and dry weight of stem at a 5% probability level. The results of the analysis of variance showed that the interaction of drought stress and vermicompost on chlorophyll fluorescence,

---

1- Ph.D. Student of Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
2- Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture Science, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
3-Associate Professor, Soil science Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
4- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad , Iran.
(*- Corresponding Author Email: behsmaiel@yahoo.com)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79634

chlorophyll a, chlorophyll b, and carotenoid was significant at 5% probability level, but the total chlorophyll has a considerable effect. The highest chlorophyll a (23.33 $mg.kg^{-1}$), chlorophyll b (17.24 $mg.g^{-1}$) and carotenoid (8.08 $mg.g^{-1}$) in full irrigation treatment and two tons per hectare of vermicompost and minimum chlorophyll a (17.73 $mg.kg^{-1}$), chlorophyll b (96.6 $mg.g^{-1}$) and carotenoid (5.5 $mg.g^{-1}$) in Water cut in early stages of flowering and without the application of vermicompost (control). Based on the results of the analysis of variance, the effect of drought stress and vermicompost on the proline content of Satureja plant was significant at 5% probability level. The results showed that with increasing drought stress, the amount of proline in leaf was raised. However, with the use of vermicompost, leaf proline decreased, with the highest amount of proline (0.226 $\mu g.g^{-1}$) in Water cut in early stages of flowering (severe stress) and without application of vermicompost (control) and low proline (0.15 $\mu g.g^{-1}$) in Full irrigation (control) and vermicompost treatment (2 $t.ha^{-1}$) were obtained. Investigating the drought stress on German chamomile plant, researchers reported that drought stress increased proline accumulation in the leaf (Ghaedi Jeshni et al., 2017). It was reported that increasing the amount of drought stress in sorghum increased the amount of proline in the leaf (Esmaeilpour et al., 2013).

Conclusion

Based on the results, it can be concluded that vermicompost 2 $t.ha^{-1}$ can improve the medicinal plant growth and yield under severe drought irrigation regimes.

Keywords: Catalase, Chlorophyll a, Electrolyte leakage, Medicinal Plant, Proline.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 523-540

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۴۰-۵۲۳

مقاله علمی - پژوهشی

ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران

حمیدرضا توکلی کاخکی[1]، مهدی نصیری محلاتی[2*]، علیرضا کوچکی[2]، محسن جهان[3] و علیرضا بهشتی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۹

توکلی کاخکی، ح.، نصیری محلاتی، م.، کوچکی، ع.، جهان، م.، و بهشتی، ع.، ۱۳۹۹. ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران. بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۴۰-۵۲۳.

چکیده

پایداری و توسعه نظام‌های زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به حضور نیتروژن وابسته است، از سوی دیگر، نظام‌های زراعی و باغی از جمله مسیرهای اصلی تلفات نیتروژن به‌شکل تصعید و شستشو می‌باشند که پیامدهای زیست‌محیطی نامطلوبی را به‌همراه خواهد داشت. این پژوهش با هدف ارزیابی بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم (*Triticum aestivum* L.) ایران با استفاده از مدل CENTURY اجرا شد. این مدل قادر است با تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیستم‌های مختلف از جمله بوم‌نظام‌های زراعی شبیه‌سازی کند. در این ارتباط پس از تهیه بانک اطلاعاتی مورد نیاز مدل شامل داده‌های جغرافیایی، اقلیمی، مدیریت زراعی و خصوصیات خاک، روند تغییرات بیلان نیتروژن و سهم هر یک از اجزای تشکیل‌دهنده بیلان با استفاده از مدل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین نیتروژن ورودی در دامنه (۹/۵- ۱۲/۵ گرم در متر مربع) مربوط به بوم‌نظام‌های زراعی گندم شمال غرب، غرب و جنوب غرب و کمترین مقدار آن در دامنه (۷/۳- ۹/۴ گرم در متر مربع) مربوط به نظام‌های زراعی گندم در شرق و جنوب شرقی کشور بود. همچنین بررسی نتایج به‌دست‌آمده در رابطه با سهم نسبی اجزای نیتروژن ورودی و خروجی نشان داد که نیتروژن حاصل از مصرف کود به‌عنوان اصلی‌ترین متغیر ورودی و نیتروژن دانه به‌عنوان مؤثرترین متغیرخروجی توانستند به‌ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۷۳ و ۰/۹۲۸ تغییرات کل موجود در نیتروژن ورودی و خروجی را توصیف کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، هم‌زمانی زمان مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی هستند، حائز اهمیت می‌باشد. امّا در خصوص خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی گندم علاوه بر مدیریت زراعی بقایا، تناوب و بهره‌گیری از ارقام اصلاح شده که از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند، اهمیت بیشتری دارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، کود، نیتروژن خروجی، نیتروژن دانه، نیتروژن ورودی.

مقدمه

تولید و ثبات عملکرد در نظام‌های زراعی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم به حضور نیتروژن وابسته است (Delgado & Shaffer, 2008). سهم نیتروژن از کل حجم گازهای تشکیل‌دهنده اتمسفر ۷۹/۰۸ درصد است، از این رو منشأ اولیه نیتروژن موجود در خاک عمدتاً اتمسفری است (Stevenson and Cole, 1985). اصولاً چرخه

۱- مربی، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات،آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد، ایران.
۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۳- دانشیار، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.
۴- دانشیار، بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی،مشهد ، ایران.

(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74308

خاک، گیاه و نیتروژن از فرآیندهای پیچیده و مرتبط با یکدیگر تشکیل شده و این فرآیندها از نظر فرم شیمیایی و نحوه چرخش نیتروژن، در داخل و یا حتی خارج ازسیستم خاک وگیاه، شکل می‌گیرند (Stockadle, 1997). این چرخه در حقیقت توالی تغییرات بیوشیمیایی نیتروژن می‌باشد که در طی آن ابتدا نیتروژن توسط ریزجانداران استفاده می‌شود و سپس به سایر اجزا و بقایای تجزیه‌کنندگان منتقل شده و در نهایت، به‌شکل نهایی و اصلی قابل جذب برای گیاه تبدیل می‌شود (Fageria & Baligar, 2005). خاک منبع اصلی تأمین نیتروژن برای اغلب گیاهان است و اکثر گونه‌های زراعی ۵۰ الی ۸۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز خود را از خاک جذب می‌کنند. یکی از راه‌های ورود نیتروژن به بوم‌نظام‌های زراعی تثبیت بیولوژیکی توسط باکتری‌های هم‌زیست با گیاهان خانواده بقولات می‌باشد. مطالعات انجام شده در این رابطه نشان داده که میزان تثبیت بیولوژیکی توسط ریزجانداران خاک به‌طور متوسط سالانه بیش از ۱۰۰ کیلوگرم در هر هکتار می‌باشد (Butterbach-Bahl et al., 2011). فرآیندهای طبیعی متعددی در رابطه با خروج نیتروژن از بوم‌نظام‌های زراعی مؤثر می‌باشند، خروج به‌صورت گاز نیتروژن ناشی ازآتش‌سوزی (Barbosa et al., 2008)، دنیتریفیکاسیون (Bateman & Baggs, 2005) و تلفات نیتروژن ناشی از آب‌شویی (Di & Cameron, 2002) از مهم‌ترین این فرآیندها به‌شمار می‌روند.

اصولاً نیتروژن بیش از عناصر غذایی دیگر در بوم‌نظام‌های زراعی تلف می‌شود و مقدار بازیافت آن حدود نصف مقدار استفاده شده است (Boswell et al., 1985). جذب، انتقال و تلفات نیتروژن در سیستم خاک و گیاه می‌تواند فراهمی نیتروژن برای گیاه و انتقال آن به محیط را تحت تأثیر قرار دهد. سیستم‌های زراعی و باغی از جمله مسیرهای اصلی تلفات نیتروژن به‌شکل تصعید آمونیاکی، شستشو (تلفات از طریق آب) و دنیتریفیکاسیون (اتلاف به‌شکل گاز) می‌باشند (Cameron et al., 2013).

تصعید آمونیاکی به‌دلیل تلفات نیتروژن از سیستم خاک - گیاه و پیامدهای زیست‌محیطی آن فرآیندی نامطلوب تلقی می‌شود. تخمین زده می‌شود که در مقیاس جهانی ۵۰ درصد آمونیاک تصعید شده متأثر از فعالیت‌های کشاورزی باشد (Sommer et al., 2004). به‌عنوان مثال، میزان تصعید آمونیاکی ناشی از مصرف کود اوره می‌تواند بین صفر تا ۶۵ درصد، بسته به شرایط خاک و اقلیم متفاوت باشد (Bishop & Manning, 2010). قرار دادن کود نیتروژنی در عمق سه الی پنج سانتی‌متری سطح خاک (Sommer et al., 2004)، تقسیط مصرف کود (Black et al., 1985) و مصرف کود قبل از بارندگی می‌تواند در کاهش تصعید آمونیاکی مؤثر باشد.

از طرفی، شستشوی نیترات از خاک نه‌تنها کاهش حاصلخیزی را به‌همراه دارد، بلکه مخاطرات زیست‌محیطی و پیامدهای آن برای سلامت انسان قابل‌توجه می‌باشد (Di & Cameron, 2002). البته مقدار شستشو به غلظت نیترات در محلول خاک، مقدار کود نیتروژنی به‌کار رفته و سرعت نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون بستگی دارد (Cameron et al., 2013). در این رابطه، نتایج بیش از ۸۰۰ پژوهش نشان داده است که کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی غلات به‌طور متوسط بیشتر از ۵۰ درصد است و مقادیر بالای مصرف کود نیتروژنی کارایی جذب کمتری را به‌همراه خواهد داشت (Chien et al., 2009). به‌منظور کاهش شستشوی نیترات علاوه‌بر مصرف متعادل کودهای نیتروژنی، تقسیط آن در بوم‌نظام‌های زراعی و آماده‌سازی بستر بذر در بهار از جمله راهکارهای پیشنهاد شده می‌باشند (Di & Cameron, 2002).

تلفات گازی نیتروژن به‌صورت مونواکسید نیتروژن (N_2O) و گاز نیتروژن (N_2) نه تنها از مهم‌ترین راه‌های هدررفت نیتروژن از سیستم‌های خاک و گیاه هستند، بلکه این گازها در رابطه با تغییر اقلیم و تخریب لایه ازون نیز مؤثر می‌باشند. غلظت N_2O از ۲۷۰ در ابتدای انقلاب صنعتی به ۳۲۰ قسمت در میلیارد در سال ۲۰۰۷ میلادی افزایش یافته است (Parry et al., 2007). از طرفی، پتانسیل گرمایشی N_2O ۳۰۰ برابر بیشتر از CO_2 است، در این رابطه گزارش شده است که حدود ۶۲ درصد از N_2O انتشار یافته ($۴/۲ \times ۱۰^۵$ تن نیتروژن در سال) ناشی از فعالیت‌های کشاورزی است (Thomson et al., 2012). از جمله روش‌های کلیدی که می‌تواند در جهت کاهش انتشار N_2O از بوم‌نظام‌های زراعی مؤثر باشند، می‌توان از بهبود بخشیدن کارایی مصرف نیتروژن، انطباق بین زمان مصرف کود با حداکثر نیاز گیاه، استفاده شیوه‌های صحیح آبیاری به‌منظور جلوگیری ازغرقابی شدن، احداث زهکش و جلوگیری از فشرده شدن خاک ناشی از تردد ماشین‌آلات نام برد.

ارزیابی بیلان نیتروژن[1] در بوم‌نظام‌های زراعی اغلب با محاسبه مقدار نیتروژن ورودی و خروجی در سیستم خاک- گیاه انجام می‌شود (Sogbedji et al., 2000) و بر این اساس بیلان نیتروژن برای یک

1- Nitrogen balance

بازه زمانی مشخص از معادله ۱ به‌دست می‌آید

معادله (۱)

$$N = N_p + N_b + N_f + N_u + N_m - N_{pl} - N_g - N_i - N_l - N_e$$

در این معادله، مقدار بیلان نیتروژن (N) از تفاضل مقدار نیتروژن فراهم شده توسط بارندگی (N_p)، تثبیت بیولوژیکی (N_b)، کود شیمیایی (N_f)، کود حیوانی (N_u)، معدنی شدن (N_m) از مقدار نیتروژن خارج شده توسط برداشت یا جذب گیاه (N_{pl})، تلفات‌گازی (N_g)، تثبیت (N_i)، تلفات شستشو (N_l) و تلفات ناشی از فرسایش (N_e) به‌دست می‌آید (Di & Cameron, 2002).

بررسی جریان نیتروژن و کارایی مصرف آن در چرخه تولید و مصرف گندم (*Triticum aestivum* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) در ایران توسط کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) نشان داد بیشترین تلفات نیتروژن برای گندم در سطح مزرعه وجود داشته، درحالی که در ذرت به‌دلیل کارایی بالاتر در جذب نیتروژن تلفات آن در سطح مزرعه کمتر از گندم بود. آن‌ها همچنین بیان داشتند که برای کاهش تلفات نیتروژن در مسیر چرخه تولید غذا، نه تنها ضروری است کارایی در سطح مزرعه از طریق راهکارهایی مانند استفاده از شیوه‌های مناسب آبیاری و استفاده از کود نیتروژن متناسب با نیاز گیاه بهبود یابد، بلکه کاهش تلفات در مرحله فرآوری نیز بایستی مورد توجه قرار گیرد.

امروزه پژوهشگران، به‌دلیل اثرات مخرب نیتروژن ناشی از فعالیت انسان در تولید غذا (Sutton et al., 2011) بر توسعه و بهبود روش‌های مدیریتی در نظام‌های زراعی تأکید دارند. مدل‌های شبیه‌سازی نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی می‌توانند به‌عنوان ابزاری سودمند برای معرفی مناسب‌ترین عملیات مدیریتی و انتقال نتایج به‌دست آمده به تولیدکنندگان و مشاوران مورد استفاده قرار گیرند. در حال حاضر، قابلیت استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در ارزیابی تولید گیاهان زراعی نه تنها در سطح بین‌المللی به اثبات رسیده (Brun et al., 2006)، بلکه در سطح ملی نیز کاربرد مدل‌ها با نتایج مطلوبی روبرو بوده است (Koocheki et al., 2006; Nassiri et al., 2006; Soltani et al., 2001). در این ارتباط مدل‌های شبیه‌سازی مختلفی مانند EPIC (William et al., 1983) و CENTURY (Parton & Rasmussen, 1994) وجود دارند که می‌توانند پویایی نیتروژن را برای دامنه‌ای از شرایط زیست‌محیطی از قبیل تلفات ناشی از شستشوی نیتروژن، آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن بر تغییر اقلیم در سطح کلان مورد بررسی و ارزیابی قرار دهند (Shaffer et al., 2010).

با توجه به سطح زیر کشت گندم آبی در ایران (۲/۲ میلیون هکتار) شناخت فرآیند پویایی نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم می‌تواند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. بدین منظور پژوهش حاضر با هدف ارزیابی بیلان نیتروژن و تعیین سهم هر یک از اجزای ورودی و خروجی آن در نظام‌های گندم آبی ایران اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات اقلیمی مناطق مورد بررسی و منبع داده‌ها

در این مطالعه ابتدا ۱۴ منطقه انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از نظام‌های تولیدی گندم آبی آن‌ها جمع‌آوری شد. مناطق مورد بررسی در این مطالعه شامل: آذربایجان شرقی (تبریز)، اصفهان (اصفهان)، البرز (کرج)، خراسان جنوبی (بیرجند)، خراسان رضوی (مشهد)، خوزستان (اهواز)، سمنان (شاهرود)، سیستان‌وبلوچستان (زابل)، فارس (شیراز)، کرمان (کرمان)، کرمانشاه (کرمانشاه)، گلستان (گرگان)، همدان (همدان) و اردبیل (پارس‌آباد مغان) بودند. علاوه‌بر داده‌های جغرافیایی و مکانی مورد نیاز، اطلاعات زراعی هر یک از مناطق مورد مطالعه شامل تناوب، تاریخ کاشت، برداشت، تراکم بوته، میانگین عملکرد، مقدار مصرف کود در هکتار، زمان و نحوه تقسیط کود، مقدار آب مصرفی، تاریخ آخرین آبیاری، زمان آماده‌سازی اولیه و ثانویه بستر کاشت و میزان بقایای محصول قبلی از مراکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی و کشاورزان پیشرو، جمع‌آوری شد. داده‌های اقلیمی بلندمدت ایستگاه‌های سینوپتیک و هواشناسی مورد نیاز از سازمان هواشناسی کشور و پژوهشکده اقلیم‌شناسی اخذ شد. در این رابطه داده‌های اقلیمی ورودی به مدل برای محاسبه بیلان نیتروژن شامل متوسط درجه حرارت بیشینه وکمینه ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه، مجموع بارندگی ماهانه و انحراف معیار بارندگی ماهانه بود که به‌منظور بررسی دقیق‌تر، اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌های سینوپتیک در دامنه زمانی ۱۵ سال (2014 - 2000) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت (جدول ۱). مشخصات اقلیمی و خاک‌شناسی در جدول ۱ آورده شده است، داده‌های خاکشناسی از مطالعات تفصیلی، نیمه‌تفصیلی و همچنین نقشه‌های خاک‌شناسی، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور تهیه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های، جغرافیایی و اقلیمی مناطق مورد مطالعه

Table 1- Geographical and climate characteristics of the studied regions

منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (°E)	عرض جغرافیایی Latitude (°N)	بافت خاک غالب Dominant soil† texture	کربن آلی†† Organic C (%)	متوسط بارندگی سالیانه Mean annual rainfall (mm)	متوسط دمای سالانه Mean annual temperature (°C)	ارتفاع از سطح دریا Altitude (m)
اصفهان Isfahan	51° 40′	32° 37′	CL	0.41	145	17.02	1551
اهواز Ahvaz	48° 40′	31° 20′	SiC	0.45	192	26.59	22.6
بیرجند Birjand	59° 12′	32° 52′	SL	0.20	132	16.86	1491
پارس‌آباد parsabad	47° 55′	39° 39′	CL	0.6	286	15.53	31.9
تبریز Tabriz	46° 17′	38° 05′	SL	0.49	243	13.66	1361
زابل Zabol	61° 29′	31° 2′	L	0.19	38	23.15	489
شاهرود Shahrod	54° 57′	36° 25′	L	0.28	140	15.67	1349
شیراز Shiraz	52° 36′	29° 32′	SiCL	0.65	298	18.46	1484
کرج Karaj	50° 54′	35° 55′	L	0.54	267	15.63	1312
کرمانشاه Kermanshah	47° 9′	34° 21′	SiCL	0.52	379	15.60	1318
کرمان Keman	56° 58′	30° 16′	L	0.23	118	16.78	1764
گرگان Gorgan	54° 24′	36° 54′	SiCL	0.80	515	18.11	0
مشهد Mashhad	59° 38′	36° 16′	L	0.38	220	15.93	999
همدان Hamedan	48° 32′	34° 52′	L	0.58	308	12.1	1741

† CL=لومی رسی (clay loam); SiC=سیلتی رسی (silty clay); SL= لومی شنی (sandy loam); L= لوم (loam); Sicl= لومی رسی سیلتی (silty clay loam)

†† درصد ماده آلی از حاصل‌ضرب درصد کربن آلی در ۱/۷۲ به‌دست می‌آید.

The percentage of organic matter is obtained by multiplying the percentage of organic carbon by 1.72. (Jimenez & Garcia, 1992)

مدل مورد استفاده

در ایـن مطالعـه از مـدل CENTURY ver.4.6 (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996) به‌منظور شبیه‌سازی پویـایی نیتروژن در نظام‌های زراعی گندم استفاده شد. این مدل قادر است بـا تلفیق اثر متغیرهای اقلیمی، خاک و مدیریت زراعی امکان شبیه‌سازی فرآیندهای چرخه نیتروژن (N) را در سیسـتم‌هـای مختلـف از جملـه نظام‌های زراعی را فـراهم آورد (Parton et al., 1992). متغیرهـای مکانی شامل طول و عرض جفرافیایی و ارتفـاع؛ متغیرهـای اقلیمـی شامل متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانـه، جمـع بارنـدگی ماهانه، انحراف معیار درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه؛ متغیرهای گیاهی شامل نوع محصول، شاخص برداشت، درجه حرارت بهینه رشد، درجه حرارت پایه، حداکثر عمق ریشه و ارتفاع؛ متغیرهـای مـدیریتی شامل تاریخ کاشت، برداشت، نحوه آماده‌سازی بستر بذر، زمان، مقدار و نوع کود مصرفی، مقدار آب مصرفی، عمق آبیاری و مقـدار بقایـای محصول قبلی از جمله مهم‌ترین متغیرهای ورودی این مدل می‌باشند.

جدول ۲- آزمایش‌های انتخاب شده برای تعیین اعتبار مدل

Table 2- Selected from experiments used for model validation

نوع داده Type of data	منطقه Region	طول جغرافیایی Longitude (^{0}E)	عرض جغرافیایی Latitude (^{0}N)	منبع Source
کاربرد نیتروژن Nitrogen application	شیراز Shiraz	52° 36′	29° 33′	بهرانی و سروستانی Bahrani & Sarvestani, 2007
کود نیتروژن N-Fertilizer	کرمان Kerman	57° 05′	30° 17′	خاصه سیرجانی و همکاران Khaseh serjani et al., 2011
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	48° 41′	31° 09′	گرامی و همکاران Gerami et al., 2013
کود نیتروژن N- Fertilizer	اهواز Ahvaz	40° 20′	32° 20′	مدحج و همکاران Madhej et al., 2009
کود نیتروژن N- Fertilizer	اصفهان Esfahan	51° 23′	32° 32′	پورآذری و همکاران Pourazari et al., 2011
کاربرد نیتروژن Nitrogen application	بیرجند Birjand	59° 13′	32° 56′	فرشید و همکاران Farshid et al., 2012
کاربرد نیتروژن Nitrogen application	کرج Karaj	50° 54′	35° 55′	شهابی‌فر و دریا شناس Shahabifar & Daryashenas, 2004
کود نیتروژن N- Fertilizer	مشهد Mashhad	59° 38′	36° 16′	بخشایی و همکاران Bakhshaie et al., 2014
کود نیتروژن N- Fertilizer	شاهرود Sahroud	54° 57′	36° 30′	تقی‌پور Taghipoor, 2005
کود نیتروژن N- Fertilizer	گرگان Gorgan	54° 30′	37° 45′	حسینی و همکاران Hosseni et al., 2011
آبیاری و کود نیتروژن Irrigation and N- fertilizer	تبریز Tabriz	46° 17′	38° 05′	عنابی میلانی Anabi Melani, 2007

. محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل[1] در مدل تابعی از متوسط درجه حرارت حداقل و حداکثر ماهانه می‌باشد (Linacre, 1977). مهم‌ترین خروجی‌های مدل در رابطه با محاسبه بیلان نیتروژن علاوه‌بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، مقدار نیتروژن اضافه شده توسط کود و اتمسفر و همچنین مقدار نیتروژن خارج شده از نظام زراعی توسط دانه، انتشار، آب‌شویی و بقایا (کاه) و همچنین مقدار نیتروژن معدنی در عمق توسعه ریشه می‌باشند.

اعتبارسنجی مدل

با توجه به اینکه در آزمایش‌های مزرعه اطلاعات کافی برای اعتبارسنجی بیلان نیتروژن در سطح مناطق مورد بررسی وجود نداشت، از این رو برای اعتبارسنجی مدل از داده‌های عملکرد پتانسیل آزمایش‌های مزرعه گندم در مناطق مورد مطالعه (جدول ۲) و همچنین نتایج آزمایش‌های منطقه‌ای ارقام امید بخش[2] و پیشرفته گندم[3] (Annual Report, 2013) و (Annual Report, 2014) ایستگاه‌های تحقیقاتی مشهد، کرج، شیراز، اهواز و گرگان که در آن‌ها اندازه‌گیری پروتئین دانه انجام شده بود، استفاده شد.

تبیین اعتبار مدل، با استفاده از دو شاخص جذر مجموع مربعات نرمال شده خطا (nRMSE[4]) و شاخص تطابق[5] (d) و نیز بر اساس ضرایب رگرسیونی خطی بین مقادیر واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده انجام شد. در ادامه با استفاده از معادله‌های ۲ (Yang et al., 2014) و ۳ (Willmott, 1982) به‌ترتیب شاخص‌های RMSE و d محاسبه شد.

معادله (۲)

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{O}}$$

معادله (۳)

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(\rho_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|\rho_i - \bar{o}| + |o_i - \bar{o}|)^2}\right]$$

1- Potential evapotranspirarion(PET)
2- Elit regional wheat yield trials
3- Advance regional wheat yield trials
4- Normalized-root mean square error
5- index of agreement

$$nRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(p_i - o_i)^2}{n}} \cdot \frac{100}{\bar{o}}$$

در معادلات ۲ و ۳، p_i و o_i: به‌ترتیب مقادیر پیش‌بینـی شـده و و واقعی و $\bar{o}$: میانگین مقادیر واقعی مـی‌باشـد. nRMSE: بـه‌صـورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر واقعی است و مقدار آن مشابه ضریب تغییرات (C.V.) ارزیابی شده و شـاخص *d*: در دامنه (۱-۰) بیان می‌شود، نزدیک بودن این شاخص به عدد یـک نشان‌دهنده اعتبار بیشتر مدل می‌باشد.

محاسبه بیلان نیتروژن

یکی از ویژگـی‌هـای مـدل CENTURY در مقایسـه بـا سـایر مدل‌های شبیه‌سازی پویایی نیتروژن، توانایی آن در محاسبه اجـزای بیلان نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی است. به این منظور با اسـتفاده از معادلات ۴ تا ۸ بیلان نیتروژن برای هر یک از نظام‌هـای زراعـی مورد مطالعه گندم برآورد شد. برای محاسبه بیلان نیتروژن ابتدا مقدار نیتروژن کل برای هر یک ازبوم‌نظام‌های زراعی‌گنـدم بـا اسـتفاده از معادله ۴ محاسبه شد.

معادله (۴) N total = totsyse (N) + tminrl (N)

در این معادله، Ntotal: عبارت است از نیتروژن کل در بوم‌نظـام زراعـی ($g\ m^{-2}$)، totsyse (N): نیتـروژن سیسـتم و tminrl (N): نیتروژن معدنی ($g\ m^{-2}$) در عمق ۴۵-۰ سانتی‌متری خاک می‌باشند که totsyse (N) از معادله ۵ حاصل شده است.

معادله (۵) totsyse (N) = som1e (SRFC,N) + som1e (soil,N) + som2e (soil,N) + som3e (N) + aglive (N) + bglive (N)

در این معادله، aglive (N): عبارت از نیتروژن موجود در بخـش هوایی، bglive (N): نیتروژن موجـود در بخـش زیرزمینـی، som1e (SRFC,N): نیتروژن فعال موجود در ماده آلی سطح خاک، som1e (soil,N): نیتروژن فعال موجود در ماده آلی خـاک در عمـق توسـعه ریشه، som2e (soil,N): نیتروژن نیمه‌فعال حاصل ازمواد آلی خـاک و som3e(N): نیتروژن غیرفعال مواد آلی خاک بـر حسـب ($g\ m^{-2}$) می‌باشد. در ادامه، بیلان نیتروژن برای هر یک از بوم‌نظام‌های زراعی گندم در بازه زمانی سال‌هـای ۲۰۱۴-۲۰۱۳ بـا اسـتفاده از معادلـه ۶ به‌دست آمد.

معادله (۶) N total (2014)- N total (2013) = N inputs (2014) – N outputs (2014)

نیتروژن ورودی و خروجی به‌ترتیب از دو معادلـه ۷ و ۸ حاصـل شده است.

معادله (۷) N inputs= fertac + wdfx

معادله (۸) N outputs= egrain + ermvst + volexa + strmac

نیتروژن ورودی عبارت است از: نیتـروژن ناشـی از مصـرف‌کـود (fertac)، نیتروژن اضافه شده از تثبیت اتمسفری (wdfx) و نیتروژن خروجی شامل: بقایـا (ermvst)، نیتـروژن دانـه (egrain)، نیتـروژن تصعید شده از سیستم (volexa) و نیتروژن شستشو شده (strmac) بر حسـب $g.m^{-2}$ بـود (Parton & Rasmussen, 1994; Parton, 1996).

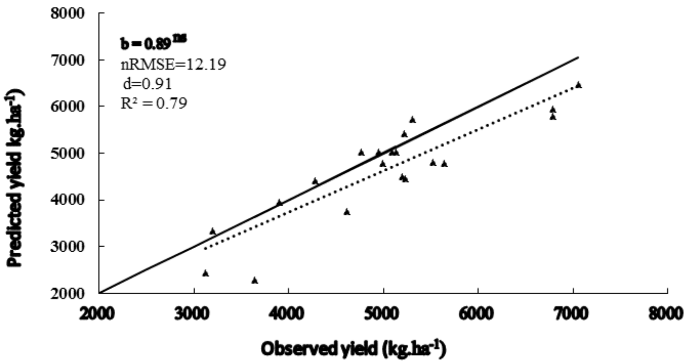
نتایج و بحث

تعیین اعتبار مدل

نتایج تعیین اعتبار مدل برای عملکرد گندم نشـان داد کـه مـدل برآورد مطلوبی از عملکرد دارد. عملکرد مشاهده شده در مناطق مورد مطالعه در محدوده ۷ – ۳/۱۲ با میانگین ۵/۱ تن در هکتار و عملکرد شبیه‌سازی شده در دامنـه ۶/۴۷ – ۲/۴۴ بـا میـانگین ۴/۶۲ تـن در هکتار متغیر بود. مقادیر شاخص nRMSE و *d* بـرای عملکـرد دانـه به‌ترتیب ۱۲/۱۹ درصد و ۰/۹۱ به‌دست آمد (شکل ۱). چنانچه مقـدار جذر میانگین مربعات نرمال شده خطا در دامنه ۲۰-۱۰ درصد میانگین عملکرد مشاهده شده باشد، مدل برآورد مناسبـی از مقـادیر مشـاهده شده را خواهد داشت (Wallach & Goffinet, 1989).

دیهـیم فـرد و همکـاران (Deihimfard et al., 2015) بـرای اعتبارسنجی مدل APSIM و تخمین عملکـرد گنـدم و تعیـین خـلأ عملکرد در استان خراسان از شاخص nRMSE و *d* اسـتفاده کردنـد. این پژوهشگران مقدار این دو شـاخص را بـرای عملکـرد بیولوژیـک به‌ترتیب ۵/۱ درصد و ۰/۸۹ گزارش کردند. همچنین بر اساس نتـایج اعتبارسنجی مقادیر شاخص nRMSE، *d* و r^2 برای مقـدار نیتـروژن برداشت شـده توسـط دانـه بـه‌ترتیـب ۱۳/۹۲ درصـد، ۰/۷۸ و ۰/۷۶ به‌دست آمد،که مقادیر قابل قبولی مـی‌باشـند (شکل ۲). در همـین رابطـه، مطالعـه‌ای کـه توسـط پـارتون و راسـموس (Parton & Rasmussen, 1994) به‌منظور شبیه‌سـازی اثـر مـدیریت بلندمـدت زراعی نظام‌های تولیدی گندم امریکا با تناوب گندم-آیش بر عملکرد اقتصادی، عملکرد کاه و مقدار نیتروژن برداشت شده توسـط دانـه بـا

استفاده از مدل CENTURY انجام شد، نشان داد که مقدار خطـای مدل برای پیش‌بینـی میـانگین عملکـرد اقتصـادی، مقـدار نیتـروژن برداشت شده توسط دانه و عملکرد کاه برحسب ($g\ m^{-2}$) کمتر از ۱۰ درصد بود.

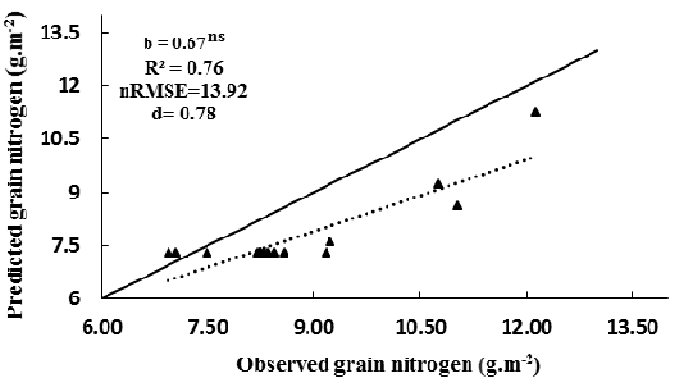


شکل ۱- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد گندم

Fig. 1- Comparison of observed and simulated wheat grain yield

خط پیوسته و نقطه‌چین به‌ترتیب خط ۱:۱ و رگرسیون خطی می‌باشد (n=۲۱). ns: عدم معنی‌داری شیب خط رگرسیون است.

Solid and dotted lines are 1:1 and fitted regression line, respectively (n=21). ns shows non significant difference between the slope of regression and 1:1 lines.



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیتروژن دانه گندم

Fig. 2- Comparison of observed and simulated wheat grain nitrogen

خط پیوسته و نقطه‌چین به‌ترتیب خط ۱:۱ و خط رگرسیون هستند (n= ۱۷). ns: عدم معنی‌داری شیب خط رگرسیون است.

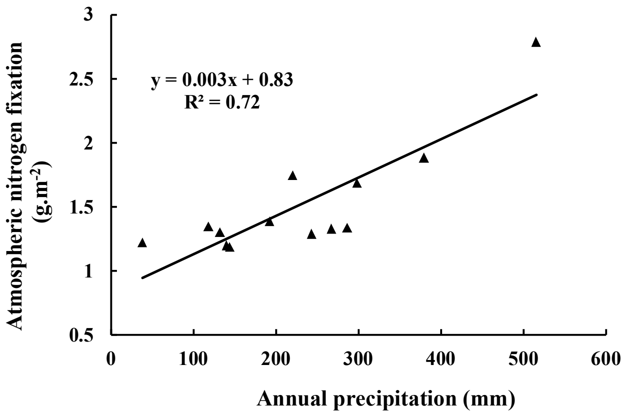
Solid and dotted lines are 1:1 and fitted regression line, respectively (n=17). ns shows non-significant between the slope of regression and 1:1 lines.

همبستگی بین متغیرها

نتایج به‌دست آمده از بررسی ضرایب همبستگی بین متغیرهـای مرتبط با بیلان نیتروژن در نظام‌های زراعی مورد مطالعه نشان داد که همبستگی بارندگی سالیانه با مقدار نیتروژن اتمسفری مثبت و معنی‌دار بود ($r=0.62$, $p\leq 0.05$). همچنین، همبستگی عملکرد بیولوژیک بـا مقدار نیتروژن تصعید شده از کانوپی ($r=0.86$, $p\leq 0.01$) و عملکـرد کاه با مقدار نیتروژن خارج شده توسط بقایا ($r=0.96$, $p\leq0.01$) مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۳). در رابطه با انتشـار نیتـروژن از کـانوپی در شرایط مزرعه پژوهش‌های فارکـار و همکـاران (Farquhar et al., 1980) نشان داد که گیاهان قادر به جذب NH_3 از اطراف و از دست دادن نیتروژن به‌شکل گاز NH_3 به اتمسفر پیرامون گیاه هستند. البته این امکان وجود دارد که تلفات و هـدررفت نیتـروژن بـه‌شـکل گـاز

(NH_3) در تمامی چرخه زندگی گیاه وجود داشته باشد (Morgan & Parton, 1989). هارپر و شارپ (Harper & Sharpe, 1995) در این خصوص بیان داشتند که جذب اتمسفری NH_3 توسط گیاه با غلظت نیتروژن بافت‌های گیاه و غلظت NH_3 در اتمسفر اطراف کانوپی مرتبط است.

نتایج به‌دست آمده در این مطالعه نشان داد با افزایش بارندگی سالیانه تثبیت اتمسفری نیتروژن افزایش می‌یابد، در واقع شیب خط برازش شده بیانگر این است که به‌ازای هر میلی‌متر بارندگی، سالیانه ۰/۰۰۳ گرم بر مترمربع نیتروژن از طریق اتمسفر به سیستم اضافه شده است، به‌عبارتی چنانچه میانگین بارندگی سالیانه در منطقه ۳۰۰ میلی‌متر باشد، افزوده شدن حدود ۱۵ کیلوگرم نیتروژن اتمسفری در هکتار در سال را به‌همراه خواهد داشت (شکل ۳).



شکل ۳- تغییرات مقدار نیتروژن حاصل از تثبیت اتمسفری به‌عنوان تابعی از بارندگی

Fig. 3- Atmospheric nitrogen fixation as a function of annual precipitation in studied regions

شیب خط رگرسیون مقدار نیتروژن اضافه شده به‌ازای میلی‌متر بارندگی سالیانه است.

Slop of the regression line is the fixed nitrogen per mm^{-1} annual precipitation.

جدول ۳- ضریب همبستگی بین متغیرها

Table 3- Variables correlation coefficient

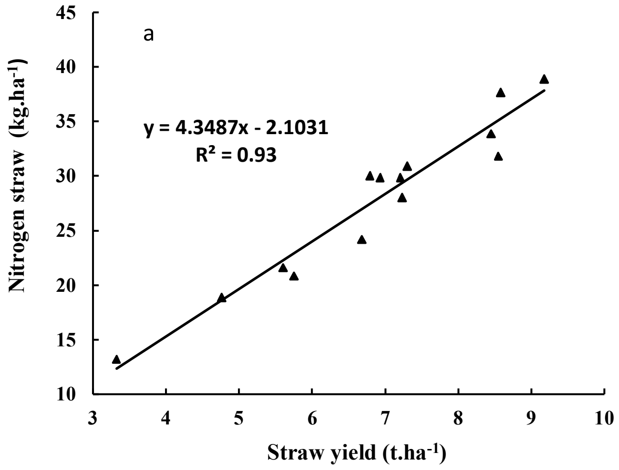
متغیر Variable	1	2	3	4	5	6
بارندگی **1- Pricipitation (mm)**		0.75^{**}	0.62^{*}	0.88^{**}	0.35	0.52^{*}
عملکرد بیولوژیک **2- Biological yield ($t.ha^{-1}$)**			0.28	0.86^{**}	0.81^{**}	0.91^{**}
نیتروژن اتمسفری **3- Atmospheric nitrogen ($g.m^{-2}$)**				0.42	-0.02	0.14
نیتروژن منتشر شده **4- Diffused nitrogen ($g.m^{-2}$)**					0.61^{*}	0.73^{**}
نیتروژن بقایا **5- Nitrogen straw content ($g.m^{-2}$)**						0.96^{**}
عملکرد کاه **6- Straw yield ($t.ha^{-1}$)**						1

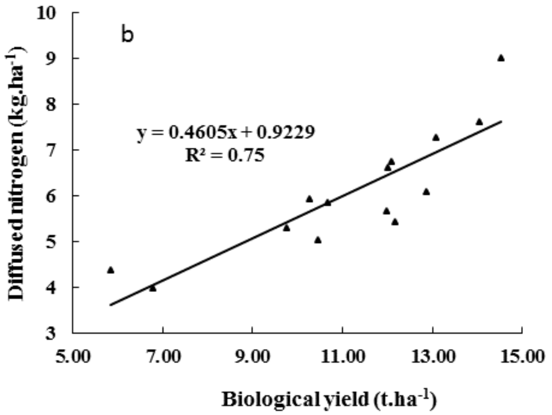
** و *: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطوح احتمال $p\leq 0.01$ و $p\leq 0.05$ است.

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

مطالعه سوگیموتو و توسوبیو (Sugimoto & Tsuboi, 2016) در ژاپن در ارتباط با مقدار نیتروژن ذخیره شده ناشی از بارندگی نشان داد که میزان کل نیتروژن وارد شده به سیستم با مقدار بارندگی سالیانه ۲۲۵۲ -۲۹۴۳ میلی‌متر در دامنه ۱۰/۶ تا ۱۴/۲ کیلوگرم در هکتار در سال متغیر بود.

نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان دادکه افزایش عملکرد کاه با افزایش مقدار نیتروژن خارج شده همراه است. شیب خط برازش داده شده نشان داد که به‌ازای هر تن عملکرد کاه، ۴/۳ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از سیستم مورد مطالعه خارج شده است (شکل ۴ الف). همچنین، بررسی مقدار نیتروژن منتشر شده و عملکرد بیولوژیک نشان داد که بین عملکرد بیولوژیک و مقدار نیتروژن انتشار یافته از کانوپی رابطه خطی وجود دارد. به‌عبارتی، ۷۵ درصد از تغییرات مقدار نیتروژن انتشار یافته توسط عملکرد بیولوژیک توصیف می‌شود (شکل ۴ ب).





شکل ٤- تغییرات مقدار نیتروژن بقایا به‌عنوان تابعی ازعملکرد بقایا (کاه) و مقدار نیتروژن منتشر شده به‌عنوان تابعی از عملکرد بیولوژیک

Fig. 4- Straw nitrogen content as a function of straw yield and diffused nitrogen as a function of biological yield

شیب خط رگرسیون بر حسب کیلوگرم در هکتار نیتروژن بقایا به‌ازای تن در هکتار عملکرد بقایا (الف) و کیلوگرم در هکتار نیتروژن منتشر شده به‌ازای تن در هکتار عملکرد بیولوژیک (ب) است.

Slop of the regression lines are straw nitrogen content in $kg.ha^{-1}$ per $t.ha^{-1}$ straw yield (a) and diffused nitrogen content in $kg.ha^{-1}$ per $t.ha^{-1}$ biological yield (b).

میانگین عملکرد بیولوژیک و بقایا در نظام‌های زراعی مورد این مطالعه به‌ترتیب معادل ۱۱/۱۷ و ۶/۸۸ تن در هکتار بود، بنابراین بر اساس نتایج به‌دست آمده مقدار نیتروژن خارج شده از نظام‌های زراعی گندم توسط بقایا (کاه) حدود ۳۲کیلوگرم در هکتار و توسط انتشار شش کیلوگرم در هکتار بود.کمانیان و همکاران (Kemanian et al., 2007) در پژوهشی با ارائه یک مدل ساده به بررسی چگونگی پیش‌بینی غلظت نیتروژن دانه و کاه غلات با استفاده از شاخص برداشت و غلظت نیتروژن بخش هوایی پرداختند. آن‌ها بیان داشتند که در گندم تغییرات مقدار نیتروژن برای کاه در دامنه ۱۴-۲ (گرم در کیلوگرم) و برای دانه در دامنه ۴۰-۱۲ (گرم در کیلوگرم) متغیر است.

آرورا و موهان (Arora & Mohan, 1999) انتشار نیتروژن به‌صورت گاز آمونیاک از کانوپی گندم را در شرایط تنش و عدم تنش رطوبتی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این محققین نشان داد که انتشار نیتروژن از بافت‌های رویشی زمانی روی می‌دهد که غلظت آمونیاک در اتمسفر مجاور کانوپی کمتر از نقطه جبرانی باشد و در مقابل، جذب در شرایطی حاصل می‌شود که غلظت آمونیاک بیشتر از نقطه جبرانی باشد.

تغییرات بیلان نیتروژن

تغییرات بیلان نیتروژن برای دو سال (۲۰۱۴ - ۲۰۱۳) میلادی منتهی به دوره زمانی این مطالعه (۲۰۱۴ -۲۰۰۰) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن کل طبق معادله ۵ به‌ترتیب در بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم گرگان، کرمانشاه و همدان و کمترین آن در بیرجند، زابل و تبریز و اصفهان مشاهده شد. گروه‌بندی مناطق تحت بررسی برای مقدار نیتروژن کل در نظام زراعی مورد مطالعه در جدول ۴ ارائه شده است.

همچنین، قدر مطلق تفاوت نیتروژن کل بوم‌نظام‌های زراعی بر حسب (گرم در مترمربع) برای دو سال انتهایی نشان داد که بیشترین تفاوت به‌ترتیب در بوم‌نظام‌های زراعی همدان |۴۵ /۶|، گرگان |۴/۹۶| و پارس‌آباد مغان |۴/۰۶| و کمترین تفاوت در اصفهان |۰/۲|، بیرجند |۰/۳۸| و زابل |۰/۴۶| مشاهده شد (جدول ۴).

جهت محاسبه بیلان در دو سال انتهایی دوره مورد مطالعه می‌بایست تفاوت مشاهده شده برای قدر مطلق نیتروژن کل دو سال (۲۰۱۴ – ۲۰۱۳) با مقدار ورودی و خروجی نیتروژن در سال ۲۰۱۴ برابر باشد (معادله ۶). نتایج به‌دست آمده در این رابطه نشان داد که برای همه بوم‌نظام‌های زراعی مورد مطالعه، بیلان نیتروژن برقرار بوده است. میانگین نیتروژن ورودی (معادله ۷) که خود از دو جزء نیتروژن ناشی از مصرف کود و نیتروژن اتمسفری تشکیل شده است، معادل ۹/۱۵ گرم در مترمربع بود. در این رابطه، بیشترین نیتروژن ورودی به‌ترتیب به بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم پارس‌آباد مغان، اصفهان و کرمانشاه و کمترین این مقدار به بوم‌نظام‌های زراعی گندم کرمان، زابل و بیرجند تعلق داشت. از طرفی، نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین نیتروژن خروجی سیستم (معادله ۸) معادل ۱۱/۰۲ گرم در مترمربع بود. در این ارتباط بیشترین نیتروژن خروجی به‌ترتیب از بوم‌نظام‌های زراعی‌گندم همدان، گرگان و پارس‌آباد مغان وکمترین خروجی نیتروژن از بوم‌نظام‌های زراعی گندم زابل، بیرجند و کرمان حاصل شده است (جدول ۵).

سهم نسبی اجزای بیلان نیتروژن

در ادامه این بررسی آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام[۶] برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای مرتبط با نیتروژن ورودی و خروجی انجام شد. نتایج به‌دست آمده در رابطه با سهم نسبی اجزای نیتروژن ورودی مؤید این است که تغییرات کل نیتروژن ورودی توانسته است توسط نیتروژن حاصل از مصرف کود به‌عنوان اولین متغیر با ضریب تبیین جزئی[۷] ۹۷/۳۳ درصد و سپس نیتروژن اتمسفری به‌عنوان دومین متغیر با سهم نسبی۲/۶۷ درصد توجیه شود (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد که با توجه به سهم نسبی کود نیتروژن مصرفی، نقش مدیریت زراعی در رابطه با اجزای نیتروژن ورودی از اهمیت بیشتری برخوردار باشد.

همچنین نتایج آنالیز رگرسیونی برای تعیین سهم نسبی اجزای نیتروژن خروجی نشان داد که نیتروژن خارج شده توسط دانه به‌عنوان مهم‌ترین متغیر با ضریب تبیین جزئی ۹۲/۷۹ و بقایا به‌عنوان دومین متغیر، ۶/۵۴ درصد از تغییرات کل را بر عهده داشتند، به‌عبارتی، دو متغیر ذکر شده توانستند ۹۹/۳۳ درصد از تغییرات را تبیین نمایند و دو متغیر باقی‌مانده یعنی نیتروژن خارج شده توسط آب‌شویی و انتشار، کمتر از یک درصد مؤثر بودند (جدول ۷).

بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست آمده از تعیین سهم نسبی اجزای

1- Stepwise regression
2- Partial R^2

نیتروژن خروجی، بیشترین تغییرات توسط نیتروژن دانه که بـه‌میـزان زیادی با ژنوتیپ و خصوصیات اصلاحی ارقام مـرتبط اسـت، حاصـل شده است.

در این خصوص کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2012) جریان نیتروژن و کارایی مصرف آن را در چرخه تولید و مصرف گندم و ذرت در ایران مورد بررسی قـرار دادنـد. آن‌هـا اظهـار داشـتند کـه بیشترین تلفات نیتروژن بوم‌نظام‌های زراعـی گنـدم ایـران در سـطح مزرعه مشاهده شد، در حالی که برای ذرت به‌دلیل کارایی بـالاتر در جذب نیتروژن تلفات کمتر از گندم بود. همچنین، لو و همکاران (Liu et al., 2003) بیلان نیتروژن را برای سیستم‌های زراعی گندم- ذرت در شمال چین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بررسی این پژوهشـگران نیز نشان داد که تلفات ناشی از تصعید آمونیـاکی و دنیتریفیکاسـیون بخش کوچکی از تلفات مرتبط با بیلان نیتروژن را تشکیل می‌دهد.

جدول ٤- مقادیر نیتروژن در بوم‌نظام‌های زراعی در سال‌های منتهی به ۲۰۱۳ و ۲۰۱٤

Table 4- Nitrogen contents in wheat cropping systems in 2013 to 2014

منطقه Region	سال Year	مقدار نیتروژن به‌جز نیتروژن معدنی Nitrogen content except mineral nitrogen (g.m^{-2})	نیتروژن معدنی (در عمق ٤٥ سانتی‌متری) Mineral nitrogen in 45 cm depth (g.m^{-2})	نیتروژن کل Total nitrogen (g.m^{-2})	تفاوت دو سال Difference for two years (2013-2014) (g.m^{-2})
اصفهان Isfahan	2013	90.92	1.15	92.07	-0.2
	2014	91.09	0.78	91.87	
اهواز Ahvaz	2013	108.88	2.45	111.33	-0.56
	2014	109.64	1.13	110.77	
بیرجند Birjand	2013	88.99	2.14	91.13	0.38
	2014	90.09	1.42	91.51	
پارس‌آباد Parsabad	2013	206.21	3.09	209.30	4.06
	2014	211.30	2.06	213.36	
تبریز Tabriz	2013	89.93	3.76	93.69	-3.57
	2014	89.32	0.80	90.12	
زابل Zabol	2013	89.93	0.78	90.71	0.46
	2014	89.84	1.33	91.17	
شاهرود Shahrod	2013	90.40	3.04	93.44	-2.28
	2014	90.14	1.02	91.16	
شیراز Shiraz	2013	189.37	1.64	191.01	-2.57
	2014	186.89	1.55	188.44	
کرج Karaj	2013	130.55	5.59	136.14	-2.50
	2014	131.89	1.75	133.64	
کرمانشاه Kermanshah	2013	295.27	3.19	298.46	-1.34
	201	295.01	2.11	297.12	
کرمان Kerman	2013	93.12	4.27	97.39	-3.52
	2014	92.74	1.13	93.87	
گرگان Gorgan	2013	455.04	6.70	461.74	-4.96
	2014	451.65	5.13	456.78	
مشهد Mashhad	2013	93.00	1.84	94.84	-3.06
	2014	90.60	1.18	91.78	
همدان Hamadan	2013	248.41	6.99	255.40	-6.45
	2014	247.67	1.28	248.95	

جدول ۵- مقادیر ورودی و خروجی نیتروژن بوم‌نظام‌های زراعی در سال ۲۰۱٤

Table 5- Nitrogen input and output in wheat cropping systems in 2014

منطقه Region	نیتروژن ورودی Nitrogen input		نیتروژن خروجی Nitrogen output				خروجی- ورودی Input-output ($g.m^{-2}$)
	نیتروژن کود Fertilizer ($g.m^{-2}$)	تثبیت اتمسفری Atmospheric fixiation ($g.m^{-2}$)	نیتروژن دانه Grain nitrogen ($g.m^{-2}$)	انتشار Diffusion ($g.m^{-2}$)	آب‌شویی Leaching ($g.m^{-2}$)	بقایا Straw ($g.m^{-2}$)	
اصفهان Isfahan	10	1.19	7.06	0.54	0.03	3.76	-0.20
اهواز Ahvaz	9	1.38	8.19	0.50	0.09	2.16	-0.56
بیرجند Birjand	5	1.30	4.15	0.44	0.01	1.32	0.38
پارس‌آباد Parsabad	16.2	1.34	9.88	0.73	0.07	2.80	4.06
تبریز Tabriz	5.2	1.29	7.16	0.59	0.22	2.08	-3.56
زابل Zabol	5	1.22	3.47	0.40	0	1.89	0.46
شاهرود Shahrod	7.2	1.20	7.03	0.58	0.08	2.98	-2.27
شیراز Shiraz	7.2	1.64	8.38	0.57	0.04	2.41	-2.56
کرج Karaj	9	1.33	8.79	0.67	0.28	3.09	-2.50
کرمانشاه Kermanshah	9.2	1.88	8.65	0.66	0.12	2.98	-1.33
کرمان Kerman	4.5	1.35	5.84	0.53	0.01	3.00	-3.53
گرگان Gorgan	6	2.79	9.65	0.90	0.02	3.18	-4.96
مشهد Mashhad	7	1.74	7.75	0.61	0.04	3.38	-3.04
همدان Hamedan	7.5	0.55	9.03	0.76	0.82	3.89	-6.45

جدول ٦- آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای نیتروژن ورودی

Table 6- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of each nitrogen input variables

متغیر Variable	مرحله ورود Entry step	ضریب تبیین مدل Model coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination
کود Fertilizer	1	0.9733**	0.9733
نیتروژن اتمسفری Atmospheric nitrogen	2	1**	0.0267

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح $p \leq 0.01$ است.

**: Repersent sicnificance at $p \leq 0.01$

جدول ۷- آنالیز رگرسیون گام‌به‌گام برای تعیین سهم نسبی هر یک از متغیرهای نیتروژن خروجی

Table 7- Stepwise regression analysis to determine the relative contribution of each nitrogen output variables

متغیر Variable	مرحله ورود Entry step	ضریب تبیین مدل Model coefficient of determination	ضریب تبیین جزئی Partial coefficient of determination
نیتروژن دانه Grain nitrogen	1	0.9279**	0.9279
نیتروژن بقایا Straw nitrogen	2	0.9934**	0.0654
آب‌شویی Leaching	3	0.9993**	0.006
انتشار Diffusion	4	1**	0.0007

**: نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح $p\leq 0.01$ است.

**: Repersent sicnificance at $p\leq 0.01$ probability level.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین نیتروژن ورودی در دامنه (گرم در مترمربع ۹/۵ – ۱۲/۵) برای بوم‌نظام‌های زراعی گندم شمال غربی، غرب و جنوب غربی و کمترین مقدار نیتروژن ورودی در دامنه (گرم در مترمربع ۷/۳ – ۹/۴) در نظام‌های زراعی شرق و جنوب شرقی مشاهده شد. همچنین نتایج نشان داد که تا حدودی روندی مشابه نیتروژن ورودی برای نیتروژن خروجی نیز وجود داشت. از طرفی، تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام برای اجزای بیلان نیتروژن نیز نشان داد که متغیر کود به‌تنهایی با ضریب تبیین جزئی ۹۷/۳۳ بیشترین سهم را در رابطه با ورود نیتروژن به نظام زراعی گندم برعهده داشته است و از سوی دیگر، در رابطه با خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی نیتروژن خارج شده توسط دانه با ضریب تبیین جزئی ۹۲/۷۹ در مقایسه با سایر اجزای بیلان نیتروژن مهم‌ترین متغیرها در رابطه با نیتروژن ورودی و خروجی بودند. بنابراین، با توجه به نتایج به‌دست آمده به نظر می‌رسد در رابطه با نیتروژن ورودی نقش مدیریت زراعی مانند تقسیط مصرف کود، هم‌زمان بودن مصرف کود با نیاز گیاه و در مجموع، افزایش کارایی مصرف نیتروژن که بیشتر متکی بر مدیریت زراعی می‌باشد، حائز اهمیت می‌باشد. امّا در خصوص خروج نیتروژن از نظام‌های زراعی گندم علاوه بر مدیریت زراعی بقایا مانند استفاده از سیستم‌های شخم حفاظتی بهره بردن از ارقام اصلاح شده که از کارایی مصرف نیتروژن بالاتری برخوردار باشند، از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه چگونگی مدیریت نیتروژن به‌منظور افزایش تولید یکی از رهیافت‌های مهم در نظام‌های زراعی است. از این رو به نظر می‌رسد شرایط اقلیمی و بافت خاک نیز می‌توانند بر جذب و هدررفت نیتروژن که بخش مهمی از بیلان نیتروژن در سیستم خاک و گیاه را تشکیل می‌دهند، مؤثر باشند. به‌عنوان مثال، استفاده بیشتر از نیتروژن در خاک‌های سبک، تلفات آب‌شویی بیشتری را در مقایسه با مصرف نیتروژن در خاک‌های سنگین به‌همراه خواهد داشت. همچنین دی‌نیتراته شدن که عبارت است از کاهش و یا احیای میکروبی NO_3^- به‌صورت مولکولی (N_2) و یا تبدیل آن به یکی از اشکال اکسیدی (NO و N_2O) که تحت شرایط بی‌هوازی صورت می‌گیرد، می‌تواند تحت تأثیر بافت خاک، رطوبت و درجه حرارت قرار گیرد.

References

Annabi Milani, A., 2007. Interaction of irrigation regimes and nitrogen sources on grain yield and water use efficiency of wheat. Agroecology Journal 2: 43-56. (In Persian with English Summary)

Annual report of wheat breeding program (Bread and Drum). 2013. SPII. Karaj, Iran.

Annual report of wheat breeding program (Bread and Drum). 2014. SPII. Karaj, Iran.

Arora, A., Mohan, J., 1999. Ammonia volatilization during moisture stress from wheat (*Triticum aestivum* L.) plant canopy. Indian Journal of Experimental Biology 37: 701-705.

Bahrani, A., and Tahmasebi Sarvestani, Z., 2007. Effect of rate and times of nitrogen application on accumulation and remobilization efficiency of flag leaf in two wheat cultivars. Journal of Water and Soil Science 11: 147-155. (In

Persian with English Summary)

Bakhshaie, S., Rezvani Moghaddam, P., and Goldani, M., 2014. The effects of nitroxin and nitrogen fertilizer on yield and yield components of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 12: 360-368. (In Persian with English Summary)

Barbosa, P., Camia, A., Kucera, J., Liberta, G., Palumbo, I., San-Miguel-Ayanz, J., and Schmuck, G., 2008. Assessment of forest fire impacts and emissions in the European Union based on the European Forest Fire Information System. Developments in Environmental Science 8: 197-208.

Bateman, E., and Baggs, E., 2005. Contributions of nitrification and denitrification to N_2O emissions from soils at different water-filled pore space. Biology and Fertility of Soils 41: 379-388.

Bishop, P., and Manning, M., 2010. Urea Volatilisation: The Risk Management and Mitigation Strategies. Palmerston North, New Zealand: Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University.

Black, A.S., Sherlock, R.R., Smith, N.P., Cameron, K.C., and Goh, K.M., 1985 b. Effects of form of nitrogen, season, and urea application rate on ammonia volatilisation from pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research 28: 469–474.

Boswell, F.C., Meisinger, J.J., and Case, W.L., 1985. Production, marketing and use of nitrogen fertilizers. In: Fertilizer Technology and Use. 3 rd Ed. SSSA Madison, WI 229-292 pp.

Brun, F., Wallach, D., Makowski, D., and Jones, J.W., 2006. Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization, and applications, Elsevier.

Butterbach-Bahl, K., Gundersen, P., Ambus, P., Augustin, J., Beier, C., Boeckx, P., Dannenmann, M., Sanchez Gimeno, B., Ibrom, A., and Kiese, R., 2011. Nitrogen processes in terrestrial ecosystems. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives, pp. 99-125.

Cameron, K., Di, H., and Moir, J., 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: a review. Annals of Applied Biology 162: 145-173.

Chien, S.H., Prochnow, L.I., Cantarella, H., and Donald, L.S., 2009. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmentalimpacts. Advances in Agronomy 102: 268–322.

Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A., 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. Field Crops Research 184: 28-38.

Delgado, J., and Shaffer, M., 2008. Nitrogen Management Modeling Techniques: Assessing Cropping Systems/Landscape Combinations.

Di, H., and Cameron, K., 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. Nutrient Cycling in Agroecosystems 64: 237-25.

Fageria, N., and Baligar, V., 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. Advances in Agronomy 88: 97-185.

Gerami, F., Aynehband, A., and Fateh, E., 2013. Effect of green manures and nitrogen fertilizer levels on early growth, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Sustainable Agriculture and Production Science 23: 1-17. (In Persian with English Summary)

Farshid, R., Zamani, G., Behdani, M., and Sahrai, E., 2012. Effects of salinity and nitrogen application methods on yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.). Journal of Iranian Field Crop Research 10: 18-24. (In Persian with English Summary)

Harper, L.A., and and Sharpe, R.R., 1995. Nitrogen dynamics in irrigated corn: soil-plant nitrogen and atmospheric ammonia transport. Agronomy Journal 87: 669-675.

Hosseini, R., Galeshi, S., Soltani, A., and Kalateh, M., 2011. The effect of nitrogen on yield and yield component in modern and old wheat cultivars. Electronic Journal of Crop Producation 4: 187-200. (In Persian with English Summary)

Farquhar, G.D., Firth, P.M., Wetselaar, R., and Weir, B., 1980. On the gaseous exchange of ammonia between leaves and the environment: determination of the ammonia compensation point. Plant Physiology 66: 710-714.

Kemanian, A.R., Stöckle, C.O., and Huggins, D.R., 2007. Estimating grain and straw nitrogen concentration in grain crops based on aboveground nitrogen concentration and harvest index. Agronomy journal 99: 158-165.

Khasseh Serjani, A., Farahbakhsh, H., Ravari, S.Z., Pasandipoor, N., and Karami, A., 2011. Evaluation the effect of biological, zinc sulphate and nitrogen fertilizer on quantitative and qualitative characteristics of wheat yield .Iranian Journal of Soil Research 25: 125-135. (In Persian with English Summary)

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Soltani, A., Sharifi, H., and Ghorbani, R., 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. Climate Research 30: 247-253.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Mansoori, H., and Moradi, R., 2012. Assessment of nitrogen flow and use efficiency in the course of production to utilization for wheat and maize in Iran. Journal of Agroecology 4(3): 192-200. (In Persian with English Summary)

Linacre, E.T., 1977. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, usingtemperature data alone. Agricultural Meteorology 18: 409-424.

Liu, X., Ju, X., Zhang, F., Pan, J., and Christie, P., 2003. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat–maize cropping system in the North China Plain. Field Crops Research 83: 111-124.

Mdhej, A., Naderi, A., Imam, Y., Aynehband, A., and Normohamadi, G., 2009. Effect of different nitrogen level on grain yield, grain protein content and agronomic nitrogen use efficiency in wheat genotypes under optimum and post- anthesis heat stress conditions. Seed and Plant Production Journal 25: 353-371. (In Persian with English Summary)

Morgan, J.A., and Parton, W.J., 1989. Characteristics of ammonia volatilization from spring wheat. Crop Science 29: 726-731.

Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G., and Shahandeh, H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). Archives of Agronomy and soil Science 52: 113-124.

Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J., and Hanson, C.E., 2007. IPCC, 2007: Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Parton, W., McKeown, R., Kirchner, V., and Ojima, D., 1992. Users guide for the CENTURY model.

Parton, W.J., and Rasmussen, P., 1994. Long-term effects of crop management in wheat-fallow: II. CENTURY model simulations. Soil Science Society of America Journal 58: 530-536.

Parton, W., 1996. The CENTURY model. Evaluation of soil organic matter models. Springer 283-291.

Pourazari, F., Ehsanzade, p., and Jahanbin, S., 2011. Response of hulled tetraploid wheats to nitrogen deficit stress in comparison to macaroni wheat. Iranian Journal of Field Crop Science 42: 285-294. (In Persian with English Summary)

Shaffer, M.J., Ma, L., and Hansen, S., 2010. Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management, CRC Press.

Shahabifar, M., and Daryashenas, A., 2004. Increase of N use efficiency in wheat fertigation method by optimum split N at growth stage. Agricultural Research, Education and Extension Organization. Soil and Water Research Institute. 44674. (In Persian with English Summary)

Statistical year book., 2013. Department of Agricultural Statistics. Jihad-e-Agriculture Ministry, Iran. 167 p. (In Persian)

Sommer, S.G., Schjoerring, J.K., and Denmead, O.T., 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. Advances in Agronomy 82: 558–622.

Stevenson, F., and Cole, M. A., 1985. Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients. First Edition, published by Wiley.

Stockdale, E., Gaunt, J., and Vos, J., 1997. Soil-plant nitrogen dynamics: what concepts are required? European Journal of Agronomy **7**: 145-159.

Sogbedji, J.M., Van Es, H.M., Yang, C.L., Geohring, L.D., and Magdoff, F.R., 2000. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. Journal of Environmental Quality 29: 1813-1820.

Soltani, A., Khooie, F., Ghassemi-Golezani, K., and Moghaddam, M., 2001. A simulation study of chickpea crop response to limited irrigation in a semiarid environment. Agricultural Water Management 49: 225-237.

Sugimoto, R., and Tsuboi, T., 2016. Seasonal and annual fluxes of atmospheric nitrogen deposition and riverine nitrogen export in two adjacent contrasting rivers in central Japan facing the Sea of Japan. Journal of Hydrology: Regional Studies.

Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, A., Grennfelt, P., Van Grinsven, H., and Grizzetti, B. 2011. The European nitrogen assessment: sources, effects and policy perspectives, Cambridge University Press.

Taghipoor, F., 2005. The effect of nitrogen sources on the yield and quality of wheat. AgriculturalResearch Education and Extension Organization p. 84-955. (In Persian)

Thomson, A.J., Giannopoulos, G., Pretty, J., Baggs, E.M., and Richardson, D.J., 2012. Biological sources and sinks of nitrous oxide and strategies to mitigate emissions. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences 367: 1157–1168.

Wallach, D., and Goffinet, B., 1989. Mean squared error of prediction as a criterion for evaluating and comparing system models. Ecological Modelling 44: 299-306.

Williams, J., Dyke, P., and Jones, C., 1983. EPIC-A model for assessing the effects of erosion on soil productivity. Analysis of ecological systems: state-of-the-art in ecological modelling: proceedings, 24-28 May 1982, Colorado State Univ., Ft. Collins, Colo./edited by WK Lauenroth, GV Skogerboe, M. Flug.

Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309-1313.

Yang, J., Yang, J., Liu, S., and Hoogenboom, G., 2014. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. Agricultural Systems 127: 81-89.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 523-540

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۴۰-۵۲۳

Evaluation of Nitrogen Balance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping Systems of Iran

H. Tavakoli Kakhki[1], M. Nassiri Mahallati[2*], A. Koocheki[2], M. Jahan[3] and S.A.R. Beheshti[4]

Submitted: 22-07-2018
Accepted: 19-01-2019

Tavakoli Kakhki, H., Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Jahan, M., and Beheshti, S.A.R., 2020. Evaluation of nitrogen balance in wheat (*Triticum aestivum* L.) cropping systems of Iran. Journal of Agroecology 12(3):523-540.

Introduction

The nitrogen budget or balance is often evaluated by comparing various nitrogen inputs and outputs in soil–crop systems. Research on nitrogen balance can provide more detailed information on the nitrogen cycle and its losses by integrating soil nitrogen processes with the total nitrogen budgets. There are restricted researches for evaluation of nitrogen balances in the cropping systems. It is clear that accurate measuring of each component of nitrogen budgets in relation to soil processes is difficult. Wheat (*Triticum aestivum* L.) is the main cereal crop cultivated in Iran. According to published data the average nitrogen application rates in wheat cropping systems of Iran is 120 $kg.ha^{-1}$ but, the excessive use of fertilizer nitrogen is very common in wheat fields. It is estimated that in Iran, about 2.2 million ha of wheat production areas are under irrigation. Alike, there are limited studies on nitrogen dynamics, budgets and its losses pathways in wheat production systems of Iran. Such studies are essential to understand the nitrogen behavior and balance in wheat cropping systems. This research was carried out with the aim of evaluating nitrogen balance of wheat cropping systems with different climatic conditions over the country by using CENTURY model.

Materials and Methods

We used CENTURY model (Parton et al., 1994) to evaluate nitrogen dynamics and nitrogen balance in wheat cropping systems. For this purpose 14 wheat cropping system located in diverse climates were selected. Soil data was collected from Soil and Water Research Institute and weather data from 2000 to 2014 were obtained from Iran Meteorological Organization for 14 selected stations. The CENTURY model simulates the long-term dynamics of Carbon (C) and Nitrogen (N), for different Plant-Soil Systems. The model can simulate the dynamics of agricultural crop systems. The crop system of CENTURY have different plant production sub-models which are linked to a common soil organic matter sub-model .The soil organic matter sub-model simulates the flow of C, N through plant litter and the different inorganic and organic pools in the soil. CENTURY model runs in monthly time step with monthly precipitation (cm), monthly mean minimum and maximum temperature (°C), site latitude and longitude, sand, silt and clay (%), soil bulk density ($g.cm^{-3}$), rooting depth (cm), C and N content of the top 20 cm of soil and management information such as planting date, first and last month of wheat growth, number and amounts of applied fertilizers, amount of irrigation water and its schedules are required. For model validation we used two statistical measures including Normalized Root Mean Squared Error (nRMSE), Willmott (1982) index of agreement (d value) and linear regression coefficients between actual and predicted values.

Results and Discussion

Results revealed that the highest nitrogen input in wheat cropping systems (9.5 - 12.5 $g.m^{-2}$) was observed in Northwest, West and Southwest and the lowest (7.3 - 9.4 $g.m^{-2}$) were in East and Southeast areas of the country. Also, nitrogen output plan in wheat cropping systems was similar to nitrogen input. In addition, stepwise regression analysis indicated that fertilizer application rate with partial coefficient of 97.33% and grain nitrogen

1, 2, 3 and 4- Instructor Research of Crop and Horticultural Science Research Department, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhad, (Former Ph.D. Student in Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad), Professor, Associat Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferodwsi University of Mashhad and Associated Research of Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Mashhad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: mnassiri@um.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.74308

with partial coefficient of 92.79%, respectively, were the most important variables in relation to nitrogen input and output in wheat cropping systems of Iran.

Conclusion

According to the results, it seems that in relation to nitrogen input, the role of agronomic management such as fertilizer application, coincidence of fertilizer application time with plant requirement and increasing nitrogen use efficiency (NUE) which is mostly dependent on agricultural management are important issues. But in the case of nitrogen outputs from wheat cropping systems, in addition to agronomic managements, use of improved cultivars with higher nitrogen uptake efficiency is more important.

Keywords: Fertilizer, Grain nitrogen, Nitrogen input, Nitrogen output, Simulation.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 541-559

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۵۹-۵۴۱

مقاله علمی - پژوهشی

پهنه بندی و ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycine max* L.) در شهرستان گرگان

سمانه بخشنده لاریمی[1]، حسین کاظمی[2*]، افشین سلطانی[3] و بهنام کامکار[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

بخشنده لاریمی، س.، کاظمی، ح.، سلطانی، ا.، و کامکار، ب.، ۱۳۹۹. ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن، تولید خالص اولیه و ضرایب تخصیص کربن در گیاه سویا (*Glycine max* L.). بوم‌شناسی کشاورزی ۱۲(۳): ۵۵۹-۵۴۱.

چکیده

تغییر اقلیم و تشدید گرمایش جهانی یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در توسعه پایدار محسوب می‌گردد که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر می‌باشد. دی‌اکسیدکربن عمده‌ترین جزء گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود. به‌منظور کاهش دی‌کسیدکربن اتمسفر و ایجاد تعادل در محتوای گازهای گلخانه‌ای، کربن اتمسفر می‌بایست جذب و در شکل‌های آلی ترسیب گردد. به‌منظور برآورد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاه سویا (*Glycine max* L.) در اراضی زراعی شهرستان گرگان طی سال زراعی ۹۶- ۱۳۹۵، نمونه‌برداری از ۱۵۰ مزرعه به‌روش تصادفی با کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی انجام و اندام‌های هوایی و زیرزمینی به‌صورت جداگانه به‌طور کامل برداشت شده و به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید. برای تعیین پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های سویا (شامل غلاف و بذر، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق استفاده شد. همچنین نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و شاخص برداشت به‌منظور تعیین تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام هوایی، زیرزمینی و کل گیاه و ضرایب تخصیص کربن در هر یک از اندام‌های گیاهی نیز برآورد شد. بعد از بررسی نرمال بودن داده‌ها، با استفاده از انواع روش‌های مختلف درون‌یابی در محیط ArcGIS، توزیع مکانی پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاهی برگ، ساقه، دانه، غلاف و ریشه سویا ترسیم شد. نتایج روش‌های درون‌یابی نشان داد که روش کریجینگ بهترین مدل جهت درون‌یابی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی زراعی شهرستان گرگان می‌باشد. میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ، ساقه، دانه، غلاف و ریشه به‌ترتیب ۵۷۹/۶۴، ۷۴۴/۸۱، ۸۸۱/۱۶، ۳۴۰/۱۶ و ۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. اصولاً عوامل مختلفی بر میزان ترسیب کربن مؤثرند، به‌عنوان مثال بهبود کیفیت خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی از دلایل اصلی افزایش ترسیب کربن است. در مزارع سویا علاوه‌بر بهبود ساختمان خاک به‌واسطه تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه‌ها، اضافه کردن بقایای گیاهی از جمله ساقه‌ها به خاک می‌تواند به‌طور مستقیم محتوی ماده آلی بهبود ببخشد و به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار باشد. همچنین در این تحقیق بعد از دانه، رتبه دوم تجمع کربن به ساقه‌ها اختصاص یافت. علت بالا بودن میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه گیاه سویا را می‌توان فراهمی کمتر رطوبت خاک در هنگام پر شدن دانه‌ها دانست. با توجه به متوسط شاخص برداشت ۳۲ درصد و عملکرد دانه ۳۴۶۱/۱۳ کیلوگرم در هکتار، نسبت اندام هوایی به ریشه ۴/۳۰ و میزان تولید خالص کل گیاه (NPPc) ۶۷۳۴/۸۳ کیلوگرم در هکتار، تولید خالص اندام هوایی (ANPPc) ۴۸۶۷/۲ کیلوگرم در هکتار و تولید خالص بخش زیرزمینی (BNPPc) ۱۸۶۷/۶۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. میزان سهم ضریب تخصیص هر یک از اندام‌های اقتصادی، ساقه و برگ، ریشه و ترشحات ریشه به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳، ۰/۴۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۲تعیین گردید. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در بخش‌های شرقی، شمال و جنوب شرقی بیشترین و در بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب غربی محدوده کشاورزی شهرستان گرگان کمترین میزان پتانسیل ترسیب کربن مشاهده شد. به‌طوری‌که، میزان کل پتانسیل ترسیب کربن (مجموع اندام هوایی و زیرزمینی) در گیاه سویا در این بررسی برابر با ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار برآورد شد. در این بررسی بیشترین میزان سهم نسبی کربن به اندام‌های هوایی (مجموع ساقه و برگ) و بعد از آن‌ها به دانه اختصاص یافت و کربن حاصل از ترشحات ریشه کمتر از سایر اندام‌های گیاه بود، چرا که رابطه مستقیمی بین میزان تسهیم کربن و نوع گونه گیاهی وجود دارد، به‌طوری‌که معمولاً هر چه نسبت بافت‌های چوبی درگیاه بیشتر باشد، توان جذب کربن افزایش می‌یابد. همچنین پایین‌تر بودن سهم اندام زیرزمینی گیاه سویا نسبت به کل اندام هوایی، باعث کاهش میزان حجم ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای شده است. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که بین اندام‌های گیاهی از نظر میزان پتانسیل ذخیره‌سازی کربن اختلاف وجود دارد و برخی از عوامل مانند مدیریت زراعی مزرعه، خاک و شرایط اقلیمی می‌تواند بر میزان آن تأثیرگذار باشد.

واژه‌های کلیدی: اندام‌های گیاهی، تولید خالص کربن، درون‌یابی.

مقدمه

تغییرات اقلیمی با روند فعلی، کلیه بوم‌نظام‌های طبیعی و مصنوعی و نیز تولید و امنیت غذایی و ساختار جوامع انسانی را تحت تأثیر قرار داده است (Dieleman et al., 2015; Khan et al., 2009). عامل اصلی وقوع تغییرات درازمدت اقلیمی در کره زمین، گرمایش جهانی ناشی از تشدید اثرات گلخانه‌ای به‌خصوص دی‌اکسیدکربن می‌باشد و این امر اثرات زیادی بر بوم‌نظام‌های کشاورزی جهان خواهد گذاشت، زیرا افزایش دمای محیط می‌تواند بر میزان خروج دی‌اکسیدکربن از خاک نیز مؤثر باشد (Lichtfouse, 2009). همچنین تغییرات اقلیمی می‌تواند بر دوره رشد آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، افزایش خطر انقراض گونه‌های بسیار آسیب‌پذیر و نابودی زیستگاه‌ها، کاهش تنوع زیستی سرعت معدنی شدن، قابلیت دسترسی به عناصر غذایی، طول فصل رشد، فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه و کارکرد بوم‌نظام‌های زراعی و طبیعی تأثیرگذار باشد (Dieleman et al., 2015).

غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر قبل از آغاز انقلاب صنعتی در سال ۱۷۵۰ میلادی نیز حدود ۲۸۰ قسمت در میلیون بود. امّا، در اوایل قرن ۲۱ غلظت این گاز به ۳۷۰ و در سال ۲۰۱۸ به ۴۰۹/۷۸ قسمت در میلیون (NOAA[5]-ESRI[6], 2018) رسید. به‌طور کلی، فعالیت‌های کشاورزی حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد از کل نشت جهانی گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسانی را در اختیار داشته و برآورد شده که سهم آن از انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌جز دی‌اکسیدکربن بین ۵۱۲۰ تا ۶۱۱۶ مگاتن معادل دی‌اکسیدکربن در سال باشد (Smith et al., 2007).

به عملیاتی که در بوم‌نظام زراعی و طبیعی، باعث انتقال دی‌اکسیدکربن موجود در اتمسفر به مخازن به‌صورت طولانی‌مدت شده و کربن را به‌شکلی حفظ می‌نماید که بلافاصله به اتمسفر برنگردد و افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن در اتمسفر را کاهش دهد، ترسیب کربن[7] گفته می‌شود (Jose & Bardhan, 2012; Luedling et al., 2014; Ramachandran Nair et al., 2010; Verchot et al., 2007). جانسون و همکاران (Jansson et al., 2010) جایگاه گیاهان را از نظر ترسیب کربن در سه بخش معرفی نمودند: ۱- ذخیره کربنی گیاه، که به‌عنوان تولید خالص بوم‌نظام و بیوم در نظر گرفته می‌شود. ۲- گیاهان به‌عنوان مسیر ترسیب زیستی کربن در نظر گرفته می‌شوند، که خود شامل بخش‌هایی از جمله زیست‌توده گیاهی، زغال زیستی، فیتولیت‌ها، دفن چوب و محصولات زیست انرژی می‌باشد. ۳- رویکردهای مهندسی ژنتیک جهت افزایش ترسیب گیاهی که شامل: افزایش دادن فتوسنتز، افزایش اختصاص کربن به ریشه‌ها، افزایش تحمل به تنش‌های زنده و غیرزنده، افزایش کیفیت زیست‌توده و تولید گیاهان چندساله پر محصول می‌باشند.

رابطه مستقیمی بین کربن ترسیب شده با نوع گونه گیاهی و اندام‌های گونه گیاهی وجود دارد (Frank & Karn, 2003; Singh et al., 2003). به‌عنوان مثال، جعفریان و سید علیخانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) بیان نمودند میزان ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گیاه زراعی گندم (*Triricum aestivum* L.) تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد داشته و سنبله‌ها بیشترین و ریشه‌ها کمترین توان ترسیب کربن را دارند. همچنین آنان گزارش نمودند که میزان پتانسیل ترسیب کربن در زیست‌توده گیاه زراعی ۱/۸۸۴ تن در هکتار و در خاک ۱۶/۳۳۲ تن در هکتار می‌باشد. نتایج تحقیقات نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2014) روی هفت گونه گیاه زراعی گندم، جو (*Hordeum vulgare* L.)، ذرت (*Zea mays* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.)، یونجه (*Medicago sativa* L.)، پنبه (*Gossypium hirsutum* L.) و نخود (*Cicer arietinum* L.) دراقلیم‌های مختلف کشور با استفاده از مدل ICBM[8]، نشان داد بیشترین ورودی کربن توسط یونجه و پنبه و کمترین آن مربوط به نخود می‌باشد. همچنین این دو گیاه بالاترین میزان کربن ترسیب شده به خاک را دارا بودند. کمترین مقدار

۱- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۲- دانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
۳- استاد گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران.
(*- نویسنده مسئول: Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79031

5- National Oceanic and Atmospheric Administration
6- Environmental Systems Research Institute
7- Carbon sequestration
8- Introductory carbon balance model

آن در گیاه نخود مشاهده شد. لی و همکاران (Li et al., 2016) با مطالعه روی نظام زراعی گندم پائیزه- ذرت بهاره در طی چهار سال بیان نمودند که، برگرداندن بقایای کاه و کلش ذرت و گندم منجر به بهبود عملکرد و ترسیب کربن و در نهایت، منجر به بهبود این نوع نظام زراعی شده است.

استفاده از زمین آمار می‌تواند در بررسی تغییرات مکانی اراضی کشاورزی جهت برنامه‌ریزی‌های دقیق‌تر کمک نماید (Ayobi et al., 1998). زمین آمار به‌مفهوم اروپایی آن، شاخه‌ای از آمار است که در آن مختصات داده‌های مربوط به جامعه بررسی و ساختار مکانی آن‌ها، مطالعه می‌گردد. روش‌های مختلف زمین‌آمار بسته به نوع متغیر، دقت متفاوتی دارند. در کل زمین آمار به بررسی متغیرهایی می‌پردازد که دارای ساختار مکانی هستند و یا به‌عبارتی بین مقادیر، فاصله و جهت قرار گرفتن مقادیر ارتباطی مکانی وجود دارد (Hasanipak, 1998).

از آن‌جا که نوع مدیریت نظام زراعی تأثیر به‌سزایی بر میزان تولید گیاهان دارد (Lambers et al., 2008)، به نظر می‌رسد که توجه به میزان تولید خالص اولیه گیاهان به‌عنوان برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده به‌وسیله گیاهان امری ضروری باشد. به‌عبارت دیگر، تعیین تولید خالص اولیه گیاهان در نظام‌های مختلف زراعی می‌تواند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر مد نظر قرار گیرد (Kutsch et al., 2010; Lambers et al., 2008). تولید خالص اولیه به مجموع کربن خالصی که در فرآیند فتوسنتز از اتمسفر جذب و در اندام‌های مختلف هوایی (ANPP[۹]) و زیرزمینی (BNPP[۱۰]) گیاه تثبیت شده و تنفس گیاه از آن کسر گردد، گفته می‌شود، که برگردانیدن آن به خاک می‌تواند باعث کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن شود (Gan et al., 2009; Lambers et al., 2008; Smit et al., 2010). دویکر و لال (Duiker & Lal, 2000) بیان نمودند هر عامل مدیریتی که مؤثر بر رشدونمو گیاه باشد، به‌طورمعنی‌داری تولید خالص گیاه را که نشان-دهنده کربن جذب شده است، تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین ترتیب، تعیین میزان تولید خالص اولیه گیاهان از یک طرف نشان‌دهنده تولید زیست‌توده گیاهی و از طرف دیگر، برآوردی از میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده از اتمسفر می‌باشد. بنابراین، به نظر می‌رسد انتخاب گونه‌های گیاهی که تولید زیست‌توده بالاتری داشته باشند، می‌توانند به‌عنوان راهکاری پایدار برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن در آینده مد نظر قرار گیرند. علاوه‌براین، با محاسبه میزان تولید خالص اولیه و برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن به اندام‌های مختلف گونه‌های مهم گیاهی، می‌توان سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از میزان دی-اکسیدکربن جذب شده برآورد و تعیین کرد. از طریق راهکارهای افزایش ذخیره کربنی بوم‌نظام‌های کشاورزی از جمله بررسی توانایی و پتانسیل مکانی مزارع از نظر ترسیب کربن، شناسایی پتانسیل گیاهان زراعی تحت کشت در منطقه و نقش بقایای گیاهان زراعی در ترسیب کربن، می‌توان در راستای کشاورزی پایدار در مقیاس منطقه‌ای و در مقیاس جهانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به جو، گرمایش جهانی و کاهش اثرات سوء تغییر اقلیم گام برداشت.

علاوه‌بر اهمیت سویا (*Glycine max* L.) به‌عنوان یک گیاه روغنی، سازگاری آن به شرایط موجود در منطقه گلستان از جمله شرایط اقلیمی، خاکی و نیز تأمین نیاز آبی آن، باعث گسترش کشت سویا در استان گلستان شده است. همچنین نقش این گیاه در بهبود خصوصیات خاک از طریق سیستم ریشه‌ای راست و عمیق آن، ترکیب بقایای گیاهی نظیر برگ‌های ریزش یافته، جایگاه آن در تناوب زراعی، حفظ رطوبت به‌دلیل شاخ و برگ آن، افزایش نیتروژن خاک از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و ارتقاء سلامت زیستی خاک نیز بارز است. ماهیت لگوم بودن آن سبب شده تا گیاه سویا برای قرار گرفتن در بسیاری از نظام‌های زراعی و الگوهای تناوبی مناسب باشد. مقدار نیتروژن تثبیت شده توسط سویا با توجه به شرایط آب‌وهوایی طی دوره رشد، شرایط خاک، فعالیت‌های زراعی، ژنوتیپ و نظایر آن، متفاوت است. بر اساس آمارنامه سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان میانگین عملکرد دانه سویا در سال ۱۳۹۵، دو هزار و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و میزان کل تولید در گرگان ۴۹ هزار و ۴۵۰ تن اعلام شده است. سطح زیر کشت آن در سال ۱۳۹۶ در کل استان ۲۲۱۳۷ هکتار و در شهرستان گرگان ۱۱۲۰۰ هکتار و در سال ۱۳۹۷ در کل استان ۲۴۲۴۰ هکتار و در شهرستان گرگان ۱۰۴۰۰ هکتار بوده است. با توجه به توانایی گیاه سویا در ترسیب کربن و با توجه به افزایش سطح زیر کشت سویا در استان گلستان در سال ۱۳۹۷، هدف از این مطالعه برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف گیاهان زراعی شامل دانه، برگ، ساقه، ریشه و تحلیل مکانی آن، برآورد ضرایب تولید خالص اولیه اندام‌های هوایی و زیرزمینی، ضرایب نسبی تسهیم کربن، میزان کربن تسهیم یافته و تولید خالص اولیه اندام‌های

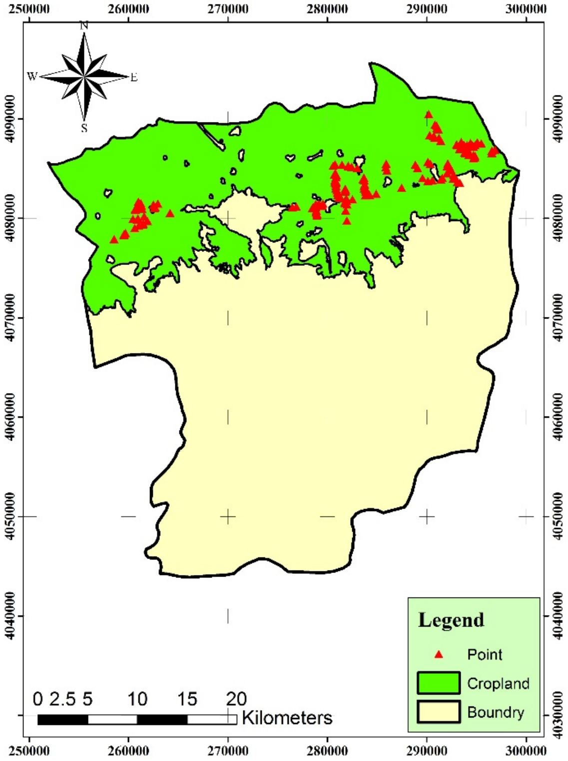
1- Above-ground net primary production (ANPP)
2- Below-ground net primary production (BNPP)

هوایی و زیرزمینی توسط گیاه زراعی سویا در شهرستان گرگان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

این آزمایش با هدف ارزیابی پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی سویا در مزارع تولید این گیاه در شهرستان گرگان در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ انجام شد. شهرستان گرگان با میانگین درازمدت بارندگی سالانه ۴۲۲/۵ میلی‌متر، ارتفاع ۱۳/۳ متر از سطح دریا و میانگین درازمدت دمای سردترین و گرم‌ترین ماه سال به‌ترتیب ۷/۹ درجه سانتی‌گراد در بهمن ماه و ۲۸/۵ درجه سانتی‌گراد در مرداد ماه در استان گلستان واقع شده است. این شهرستان در عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵۷ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی قرار دارد (شکل ۱). در این منطقه معمولاً یک فصل معتدل و نیمه‌مرطوب (از اواسط پاییز تا اوایل بهار) به‌وسیله یک فصل نسبتاً گرم و نیمه‌مرطوب دنبال می‌شود (Golestan Province Meteorological Office, 2016).



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه در شهرستان گرگان همراه با محل نمونه‌برداری از مزارع

Fig. 1- Studied area in Gorgan township and sampling points from fields

برآورد پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف سویا

از آن‌جا که در تمامی مزارع منطقه گرگان، سویا کشت نمی‌شود، ابتدا در گوگل‌ارث پهنه‌های کشاورزی جدا شد و فواصل هر مزرعه با توجه به گستردگی زیاد منطقه به‌صورت تصادفی تعیین و سپس نمونه‌برداری به‌صورت مستقیم و در دهستان‌های مربوطه از سمت شرق به غرب و از شمال به جنوب و در هر دهستان با تعداد برابر نمونه‌برداری انجام شد. در مجموع، ۱۵۰ مزرعه انتخاب گردید. نمونه‌برداری با حداکثر پراکنش در مناطق تحت کشت سویا با روش تصادفی با کوادرات ۰/۵ × ۰/۵ مترمربعی انجام شد (شکل ۱) و اندام‌های هوایی و زیرزمینی در هر پلات به‌صورت جداگانه به‌طور

کامل برداشت شدند. زمان برداشت اندام‌های رویشی و زایشی شامل ساقه، برگ، غلاف، دانه و ریشه در پاییز ۱۳۹۶ از ۱۰ آبان ماه آغاز شده بود. بعد از جمع‌آوری، نمونه‌ها به آزمایشگاه تحقیقات زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل گردید.

برای تعیین ضرایب تبدیل ترسیب کربن در اندام‌های چهارگانه سویا (شامل غلاف و بذر، ساقه، برگ و ریشه) از روش احتراق (Conen & Smith, 1998; Forozeh et al., 2008) استفاده شد. بر این اساس، اندام‌های برداشت شده به‌تفکیک در آون به‌مدت ۴۸ ساعت (در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد) خشک و سپس آسیاب شده و پس از ترکیب، نمونه‌های دو گرمی در کوره احتراق (به‌مدت سه ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد) قرار داده شد. خاکستر نمونه‌ها پس از خنک شدن در دسیکاتور، توزین شد. با تعیین وزن خاکستر و وزن اولیه ماده آلی، محتوی کربن آلی هر یک از اندام‌های گیاهی به‌طور جداگانه با استفاده از معادله ۱ تعیین شد (Polidori et al., 2008):

معادله (۱) $\%OC=\%OM\times0.54$

که در این رابطه، OC و OM: به‌ترتیب مقدار کربن آلی (درصد) و مقدار ماده آلی (درصد) را نشان می‌دهد.

در نهایت، با در دست داشتن وزن اولیه و کربن آلی برای هر یک از بخش‌های زیست‌توده هوایی و زیرزمینی، ضریب تبدیل محاسبه شد. از حاصل‌ضرب ضریب تبدیل کربن آلی در وزن زیست‌توده گیاهی، وزن کل کربن ترسیب شده در هر کوادرات محاسبه شد.

تحلیل‌های مکانی

ابتدا نرمال بودن توزیع فراوانی داده‌ها با محاسبه کشیدگی، چولگی و آزمون‌های شاپیرو- ولک و کولوموگروف- اسمیرنوف با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد (Keravchenko & Bullock, 1999). پس از اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، در محیط Arc GIS با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی شامل کریجینگ ساده[11]، روش عکس مجذور فاصله[12]، روش تابع شعاعی[13]، روش میان‌یابی چند جمله‌ای موضعی[14] میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های مختلف گیاهی تخمین زده شد.

ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی نیز با استفاده از روش اعتبارسنجی جکنایف برای برازش صحت تخمین روش‌های میان‌یابی استفاده شد. این روش بر این اساس استوار است که هر بار یکی از نقاط معلوم حذف شده و سپس مقدار آن نقطه از روی نقاط مجاور مقداری برآورد گردید، سپس مقدار واقعی به محل واقعی برگردانده شد و برای تمامی نقاط، این عمل تکرار شد (Hasanipak, 1998). در نهایت، با توجه به مقادیر مشاهده شده و برآورد شده دقت هر روش با توجه به معیارهای آماری میانگین مطلق خطا[15]، میانگین اریب خطا[16] و خطای برآورد ریشه دوم میانگین مربعات[17] محاسبه گردید (Webster& Oliver, 2000). مقدار این معیارها با استفاده از معادله‌های ۲ تا ۴ محاسبه شدند (Mahdian, 2007):

معادله (۲) میانگین مطلق خطا (MAE):

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|Z^*(x_i)-Z(x_i)\right|}{n}$$

معادله (۳) میانگین انحراف خطا (MBE):

$$MBE=\frac{\sum_{i=1}^{n}(Z^*(x_i)-Z(x_i))}{n}$$

معادله (۴) ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE):

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{K=1}^{N}Z(x_i)-Z^*(x_i))^2}$$

در این معادلات، $Z^*(X_i)$: مقدار برآورد شده، $Z(Xi)$: مقدار اندازه‌گیری شده در نقطه Xi و N: تعداد نقاط می‌باشد. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر چه مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MBE: نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه‌بر دارا بودن علامت مثبت (بیش‌آوری مدل) و یا علامت منفی (کم‌آوری مدل) مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده است و در آن هیچ‌گونه انحرافی وجود ندارد. از نظر تئوری، هر گاه این دو معیار برابر صفر شوند، نمایانگر این است

1- Simple Kiriging
2- Inverse Distance Weights
3- Radial Basis Function
4- Local polynomialinterpolation

5- Mean Absolute Error
6- Mean Bias Error
7- Root Mean Square Error

که مقدار تخمین یک کمیت، به‌طور دقیق برابر مقدار واقعی آن است (Kazemi et al., 2012). به‌طور معمول، هر چه مقدار این دو معیار و همچنین، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر باشد، صحت روش بیشتر است. بهترین برآورد باید کمترین RMSE را داشته باشد و RMSE باید به یک نزدیکتر باشد، به این معنی است که RMSE برابر با S یا واریانس است (Mozaffari et al., 2012). با مقایسه مدل‌های میان‌یابی، بهترین مدل برای هر یک از موارد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های گیاه سویا بر اساس کمترین خطا (RMSE) شناسایی گردید و لایه رستری آن بر اساس محدوده اراضی زراعی تهیه شد.

میزان تولید کربن پتانسیل تسهیم کربن و برآورد تولید خالص اولیه کربن

از آن‌جا که در هر گرم ماده خشک حدود ۰/۴۵ گرم کربن (۴۵ درصد) موجود می‌باشد (Bolinder et al., 2007)، برای محاسبه میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف گیاهی (اندام اقتصادی، شاخه و برگ، ریشه و ترشحات و تراوه‌های ریشه‌ای) (شکل ۱)، از معادله‌های ۵ تا ۸ استفاده شد (Bolinder et al., 2007):

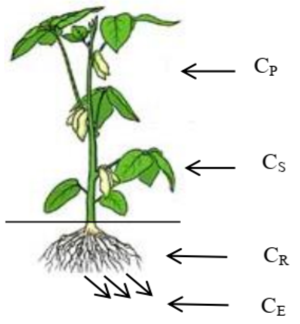
C_P = عملکرد اندام اقتصادی ×۰/۴۵ معادله (۵)

C_s = (عملکرد اندام اقتصادی (1- HI) /HI) × ۰/۴۵ معادله (۶)

C_R = (عملکرد اندام اقتصادی /S: R × HI) × ۰/۴۵ معادله (۷):

$C_E = C_R \times ۰/۶۵$ معادله (۸):

که در این معادلات، CS: کربن موجود در شاخه و برگ، CP: کربن موجود در اندام اقتصادی، CR: کربن موجود در ریشه، CE: کربن شامل ترشحات، تراوه‌ها و بقایای ریشه‌ای در خاک، S:R: نسبت اندام هوایی به زیرزمینی و HI: شاخص برداشت می‌باشد که مقدار این کربن بر اساس منابع مختلف حدود ۶۵ درصد کربن موجود در ریشه در نظر گرفته شد (Bolinder et al., 2007; Gill et al., 2002).



شکل ۲- کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی سویا

Fig. 2- Allocated carbon to shoot and root tissues of soybean

C_S: کربن موجود در ساقه و برگ، C_P:کربن موجود در اندام اقتصادی، CR کربن موجود در ریشه، C_E: کربن شامل ترشحات، تراوه‌ها و بقایای ریشه‌ای در خاک (Khorramdel et al., 2018)

C_S: Carbon in Leaf and Stem, C_P Carbon in the economic organ: C_R: Carbon in the root: C_E: Carbon including secreted and permeate material and root exudates in the soil. (Khorramdel et al., 2018)

تولید خالص اولیه بر اساس کربن برای اندام هوایی (ANPPc) و زیرزمینی (BNPPc) نیز به‌ترتیب از مجموع کربن اختصاص یافته به اندام‌های هوایی (شامل C_S و C_P) و زیرزمینی (شامل C_R و C_E) برآورد شد (Bolinder et al., 2007). سپس تولید خالص اولیه بر اساس میزان کربن تسهیم یافته (NPPc) با استفاده از معادله ۹ محاسبه شد:

$NPP_c = C_P + C_S + C_R + C_E$ معادله (۹)

همچنین سهم نسبی هر یک از اندام‌های گیاهی از تولید خالص کربن با استفاده از معادله‌های ۶ تا ۹ محاسبه گردید (Bolinder et al., 2007).

$R_P = C_P / NPPc$ معادله (۱۰)

$R_S = C_S / NPPc$ معادله (۱۱)

$R_R = C_R / NPPc$ معادله (۱۲)

$R_E = 1- (R_P + R_S + R_R)$ معادله (۱۳)

که در این معادله‌ها، NPPc: تولید خالص اولیه بر اساس کربن در کل گیاه و R_P، R_S، R_R و R_E: به‌ترتیب نشان‌دهنده سهم نسبی اندام اقتصادی، شاخه و برگ، ریشه و ترشحات ریشه از کل کربن موجود در گیاه می‌باشند. ضمناً در ضرایب فوق معادله ۱۴ نیز باید صادق باشد (Bolinder et al., 2007):

معادله (۱۴) $R_P + R_S + R_R + R_E = 1$

بررسی نرمال بودن، توزیع فراوانی و تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و Excel انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون‌های نرمال بودن داده‌ها نشان داد که مقادیر چولگی و کشیدگی همه داده‌ها در حد فاصل ۲+ و ۲- قرار دارند و نیز بر اساس نتایج آزمون کولموگراف و شاپیرو نیز مشخص شد که مقادیر معنی‌داری بزرگ‌تر از پنج درصد بوده ($P\geq0.05$)، در نتیجه داده‌ها نرمال بوده‌اند (جدول ۱).

شاخص برداشت و ضرایب تسهیم کربن

میزان شاخص برداشت، نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی و ضریب تسهیم مربوط به هر بخش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج بررسی وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از چولگی، کشیدگی، کولموگراف و شاپیرو در اندام‌های مختلف گیاه سویا

Table 1- Normality of data results using skewness, kurtosis, Kolmogorov-Smirnov and Shapirov-Wilkstatis indices in different blow-ground and above ground organs of soybean

متغیر Variables	چولگی Kurtosis		کشیدگی Skewness		کولموگراف- اسمیرنف Kolmogorov-Smirnov		شاپیرو- والک Shapirov-Wilkstatis	
	Statistic آماره	Std. error انحراف معیار	Statistic آماره	Std. error انحراف معیار	Statistic آماره	Sig. معنی‌داری	Statistic آماره	Sig. معنی‌داری
برگ Leaf	0.3	0.39	0.19	0.19	0.034	0.2	0.99	0.52
ساقه Stem	0.37	0.39	-0.016	0.19	0.050	0.2	0.99	0.60
دانه Seed	0.08	0.39	0.26	0.19	0.060	0.2	0.99	0.43
غلاف Pod	0.6	0.39	0.14	0.19	0.060	0.2	0.98	0.05
ریشه Root	0.04	0.39	-0.08	0.19	0.060	0.2	0.99	0.40

جدول ۲- شاخص برداشت (HI)، نسبت اندام هوایی به زیرزمینی (S:R) و ضریب تسهیم کربن در اندام‌های Rp (اندام اقتصادی یا دانه)، R_S (شاخه و برگ)، R_R (ریشه) و R_E (تراوه‌های ریشه‌ای) در گیاه سویا و میزان تولید خالص اولیه کربن در کل گیاه (NPP_C)، سهم اندام‌های هوایی ($ANPP_C$) و زیرزمینی ($BNPP_C$) گیاه سویا

Table 2- Harvest index (HI), Shoot to Root ratio (S:R) and carbon sequestration coefficient in R_p (economic organs or seed), R_S (Stem and leaf), R_R (Root) and R_E (Root **exudates**) in soybean and total net production of carbon in the plant (NPPC), **Above-ground net primary production** (ANPPC) and below ground (BNPPC) of soybean plant

متغیر Variable	HI	S:R	R_P	R_S	R_R	R_E	$ANPP_C$ (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن اندام هوایی	$BNPP_C$ (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن اندام زیرزمینی	NPP_C (kg.ha^{-1}) تولید خالص کربن کل گیاه
	0.32	4.30	0.23	0.49	0.16	0.12	6734.83	4867.2	1867.63

متوسط شاخص برداشت گیاه سویا ۰/۳۲ به‌دست آمد. با توجه به اینکه بالاتر بودن شاخص برداشت و همچنین نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی به مفهوم خارج شدن کربن کمتر به خاک می‌باشد، بنابراین می‌توان چنین بیان نمود که اثر این دو صفت بر میزان تولید خالص کربن و همچنین ورودی کربن منفی می‌باشد (Bolinder et al., 2007). به‌عبارتی، کمتر بودن میزان این صفات با پتانسیل بالای

ورودی کربن به خاک همراه خواهد بود و گیاهانی که شاخص برداشت و نسبت اندام‌های هوایی به زیرزمینی کمتری دارند، پتانسیل بالایی در ترسیب کربن خواهند داشت، هر چند میزان تولید گیاه نیز در این امر نقش بسزایی دارد.

برآورد ضرایب نسبی تسهیم کربن در اندام‌های مختلف، سهم هر یک از اندام‌های گیاهی را از مقدار دی‌اکسیدکربن جذب شده را تعیین می‌کند و با توجه به مقدار بقایای اندام‌های مختلف هر گیاه که به خاک برگردانده می‌شود، می‌توان میزان ترسیب کربن توسط هر محصول را برآورد کرد (Khorramdel et al., 2011).

سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه نیز در جدول ۲ آورده شده است. بیشترین کربن موجود در گیاه سویا به ساقه (۰/۴۹) و ریشه (۰/۱۶) اختصاص یافته است. همچنین سهم ترشحات ریشه‌ای (۰/۱۲) از کل کربن موجود در گیاه کمتر از سایر اندام‌ها بود. علت آن را می‌توان پایین‌تر بودن سهم اندام زیرزمینی گیاه سویا نسبت به کل اندام هوایی دانست که باعث کاهش میزان حجم ریشه و تراوه‌های ریشه‌ای شده است. این نتایج با نتایج تحقیقات نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) روی گیاهان برنج و ذرت و خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2018) روی گیاه یونجه مطابقت داشت. همچنین بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز گزارش نمودند که ضریب تسهیم کربن در ترشحات ریشه‌ای در گیاه ذرت پایین بوده و در حدود ۰/۰۸۹ و برای اندام اقتصادی، کاه و کلش و ریشه ذرت به‌ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۳۹ و ۰/۱۴ می‌باشد. بنا به گزارش فروزه و همکاران (Forozeh et al., 2008) رابطه مستقیمی بین میزان تسهیم کربن و نوع گونه گیاهی وجود دارد، به‌طوری‌که معمولاً هر چه نسبت بافت‌های چوبی درگیاه بیشتر باشد، توان جذب کربن افزایش می‌یابد. همچنین علت بالا بودن کربن موجود در دانه به‌احتمال زیاد به فراهمی کمتر آب در زمان پر شدن دانه مرتبط دانست. در این راستا، در پژوهشی جعفریان و سید علیخانی (Jafarian & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) با بررسی پتانسیل ترسیب کربن در اراضی گندم دیم منطقه کیاسر اظهار داشتند که خوشه بیشترین و ریشه کمترین توان ذخیره کربن را دارا می‌باشند. بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) و گیل و همکاران (Gill et al., 2002) نیز نشان دادند که میزان ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی بیشتر از زیست‌توده اندام‌های زیرزمینی بود. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2011) نیز با ارزیابی اثر نوع مدیریت نظام زراعی بر میزان کربن تسهیم یافته به اندام‌های هوایی و زیرزمینی و تولید خالص این اندام‌ها گزارش نمودند که بالاترین میزان کربن تسهیم یافته به دانه و اندام‌های هوایی مربوط به نظام پرنهاده به‌ترتیب با ۲۶۰/۵ و ۵۷۸/۶ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی بود و کمترین میزان به نظام کم نهاده بر پایه مصرف کمپوست به‌ترتیب با ۱۵۹/۰ و ۳۰۲/۹ گرم کربن بر مترمربع در فصل زراعی اختصاص داشت.

تولید خالص اولیه بر اساس کربن (NPPc)

مقدار NPPc در گیاه سویا برابر با ۶۷۳۴/۸۳ کیلوگرم کربن در هکتار و مقدار تولید خالص اولیه بر اساس کربن در اندام هوایی و زیرزمینی سویا به‌ترتیب ۴۸۶۷/۲ و ۱۸۶۷/۶۳ کیلوگرم کربن در هکتار برآورد شد (جدول ۲). نوربخش و همکاران (Noorbakhsh et al., 2016) نیز در تحقیقات خود تولید خالص کربن در کشت خالص سویا با عملکرد دانه ۲۶۵۵ کیلوگرم در هکتار، ۳۸۶۰/۷ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند. در بررسی نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri Mahallati et al., 2015) روی گیاه نخود در مناطق مختلف آب‌وهوایی بیان نمودند بیشترین مقدار NPPc مربوط به اقلیم گرم و مرطوب جنوبی و مرطوب خزری به‌ترتیب با ۱۷۴۳ و ۱۳۸۴/۴ کیلوگرم کربن در هکتار بوده که علت را در رشد رویشی زیاد این گیاه در دو منطقه دانستند. نتایج سایر مطالعات نیز نشان داده است که یونجه با ۱۳۴۳۶۰/۰۶ گرم کربن در مترمربع از بالاترین میزان تولید خالص اولیه برخوردار است (Betts et al., 2007). بولیندر و همکاران (Bolinder et al., 2007) نیز میزان NPPc برای گیاهان یک‌ساله را حدود ۳۶۰ گرم کربن در مترمربع گزارش نمودند.

برآورد پتانسیل ترسیب کربن در اندام‌های هوایی

نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ کمترین خطا و بالاترین صحت را داراست. بعد از روش کریجینگ، مدل عکس مجذور فاصله در مکان بعدی قرار گرفت. از بین ۱۲روش-مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش تابع شعاعی مدل تین، بالاترین خطا و کمترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ و ساقه گیاه سویا در شهرستان گرگان

Table 3- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean leave and stem in croplands of Gorgan Township

مدل Model		میانگین مطلق خطا MAE		میانگین انحراف خطا MBE		ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE	
		برگ Leaf	ساقه Stem	برگ Leaf	ساقه Stem	برگ Leaf	ساقه Stem
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers Distance Weighting	توان ۱ 1st power	90.68	54.58	-2.92	-4.70	116.86	71.67
	توان ۲ 2nd power	96.42	54.77	3.65	-1.36	125.58	72.47
	توان ۳ 3rd power	100.81	57	6.09	0.10	134.05	75.98
تابع پایه شعاعی RBF	چندربعی Multi-quadratic function	96.45	59.70	4.16	0.0004	128.59	80.27
	چندربعی معکوس Invers Multi-quadratic function	88.91	53.15	-6.71	-5.37	116.55	71.27
	نواری کم ضخامت Thin-plate spiline	112.46	76.84	4.83	-3.83	148.44	108.97
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local Plynomial Interpolation	درجه ۱ 1st order	95.18	59.25	3.47	3.85	120.53	76.47
	درجه ۲ 2nd order	55.66	59.93	1.04	1.32	123.48	79.44
	درجه ۳ 3rd order	103.80	58.17	7.40	2.42	141.41	77.01
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	80.52	47.06	0.45	-1.68	103.96	65.63
	جی- بیس J-Bassel	95.25	55.24	0.11	-0.48	121.15	73.93
	گوسین Gaussin	95.25	56.03	0.11	0.41	121.15	73.22
	نمایی Exponential	95.25	48.35	0.11	-1.36	121.15	66.54
	کروی Spherical	95.25	52.19	0.11	-0.10	121.15	69.09
	چرخشی Circular	95.25	52.80	0.11	0.007	121.15	69.48

توزیع مکانی میزان ترسیب کربن در برگ سویا در چهار کلاس در شکل ۳ الف نشان داده شده است. با توجه به ساده بودن محاسبات و کم‌هزینه بودن تخمین میزان ترسیب کربن در برگ گیاه سویا با روش کریجینگ، از این نقشه می‌توان در مدیریت محصولات زراعی شهرستان گرگان استفاده کرد. نتایج پهنه‌بندی ترسیب کربن در این بخش از اندام گیاهی نشان می‌دهد که مقدار آن در بخش‌های شمال شرقی (۵۱۱-۲۴۲/۲۴ کیلوگرم در هکتار) کمتر از مناطق مرکز، جنوب و جنوب غربی است (۷۷۹/۷۵ – ۵۱۱ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۳ الف). ترسیب کربن توسط گیاه و به‌خصوص گونه‌های بوته‌ای ساده‌ترین و به‌لحاظ اقتصادی ارزان‌ترین روش برای ترسیب کربن به‌شمار می‌رود که این نقش را گیاهان توسط عمل فتوسنتز و از طریق اندام‌های خود انجام می‌دهند و هر یک از اندام‌های آن‌ها دارای نقش متفاوتی در این فرآیند هستند (Forozeh et al., 2008; Frank & Karn, 2003). از این رو، میزان ترسیب کربن در واحد زمان به خصوصیات رشدی گونه‌های گیاهی و شیوه‌های مدیریت، روش احیا و شرایط محیطی به‌ویژه مقدار بارندگی، تغییر کاربری

اراضی، شرایط فیزیکی و زیستی خاک و ذخیره قبلی کربن در خاک بستگی دارد (Post & Caon, 2000). بنابراین، با توجه به نتایج می‌توان علت بالا بودن پتانسیل ترسیب در نواحی غربی شهرستان را به‌علت بالا بودن حجم زیست توده و دسترسی به منبع رطوبتی بیشتر دانست. جعفریان و سید علیخانی (Jafari & TayefehSeyyed Alikhani, 2012) نیز در تحقیقات خود روی گندم بیان نمودند کمترین میزان ترسیب کربن مربوط به برگ‌هاست. آن‌ها علت کاهش پتانسیل ترسیب کربن را در برگ را بالا بودن مواد معدنی بیان نمودند.

در بین روش‌های مختلف زمین آماری، روش کریجینگ دارای کمترین خطا و بالاترین صحت بود. بعد از روش کریجینگ، مدل عکس مجذور فاصله، در مکان بعدی قرار گرفت. از بین ۱۲ روش-مدل مورد استفاده در این مطالعه، روش مدل تابع پایه شعاعی مدل تین، بالاترین خطا و کمترین صحت را نشان داد و نامناسب‌ترین روش شناخته شد (جدول ۳). نقشه پهنه‌بندی میزان ترسیب کربن در ساقه سویا در چهار کلاس در شکل ۳ ب نشان داده شده است. نقشه پهنه‌بندی شده نشان می‌دهد که مقدار آن از شرق به غرب افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که حداکثر مقدار آن در غرب ۸۹۷/۶۷ کیلوگرم در هکتار و حداقل مقدار آن در شرق ۵۲۰/۵۹ کیلوگرم در هکتار است (شکل ۳ ب). میزان پتانسیل ترسیب کربن زیست‌توده کل سویا (مجموع پتانسیل ترسیب اندام هوایی و زیرزمینی ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار) نیز نشان داد که ذخیره کربن در زیست‌توده هوایی (۲۵۴۵/۷۷ کیلوگرم در هکتار) بیش از ریشه‌ها (۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار) بود که این یافته با نتایج مطالعات جعفری و سید علیخانی (Jafari & TayefehSeyyed Alikhani, 2012)، جائو و همکاران (Gao et al., 2007) و یانگ ژانگ (Yong Zhong, 2007) که نشان دادند میزان ترسیب کربن در زیست‌توده هوایی بیشتر از زیست‌توده زیرزمینی است، مطابقت دارد. سروی و متین‌فر (Sarvi & Matinfar, 2016) نیز در تحقیقات خود روی سه گیاه کلزا (*Brassica napus* L.)، ذرت و یونجه، بالاترین میزان ترسیب کربن را در اندام هوایی یونجه گزارش نمودند. در مطالعه‌ای مجموع پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های هوایی و زیرزمینی کلزا ۵/۱۲ تن در هکتار به‌دست آمد، بالاترین و پایین‌ترین پتانسیل ترسیب کربن به‌ترتیب برای ساقه با ۱/۸۱ تن در هکتار و برگ با ۰/۷۶ تن در هکتار گزارش شد (Khorramdel et al., 2016). فروزه و همکاران (Forozeh et al., 2008) پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های سه گونه گل آفتابی (*Cistus monspeliensis* L.)، سیاه گینه (*Dendrostellera lessertii* (Wikstr.)Van Tiegh) و درمنه دشتی (*Artemisia sieberi* Besser) را از نظر آماری متفاوت گزارش نموده و بیان داشتند که در مقایسه اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی، ساقه‌ها بالاترین توان و برگ‌ها کمترین توانمندی را در ترسیب کربن به خود اختصاص دادند. سینگ و همکاران (Singh et al., 2003) تأکید نمودند که پتانسیل ترسیب کربن اندام‌های مختلف هوایی و زیرزمینی گیاهان متفاوت است. با توجه به اینکه عوامل مختلفی از جمله، بهبود کیفیت خاک، افزایش میزان مواد آلی خاک و کاهش عملیات خاک‌ورزی منجربه افزایش میزان ترسیب کربن می‌گردند، در مزارع سویا نیز علاوه‌بر بهبود ساختمان خاک به‌واسطه تثبیت زیستی نیتروژن در ریشه‌ها، اضافه کردن بقایای گیاهی از جمله ساقه‌ها به خاک می‌تواند به‌طور مستقیم محتوی ماده آلی را بهبود ببخشد و به‌طور غیرمستقیم در بهبود ترسیب کربن تأثیرگذار باشد. چرا که در این تحقیق بعد از دانه، رتبه دوم تجمع کربن به ساقه‌ها اختصاص یافت.

برآورد میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه

با توجه به نتایج جدول ۴، در بین روش‌های مختلف زمین آمار، روش کریجینگ به‌عنوان بهترین الگو برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان به‌دست آمده است.

در نقشه پهنه‌بندی میزان ترسیب کربن دانه در محدوده کشاورزی شهرستان گرگان در نیمه شرقی و جنوب غربی بیشترین مقدار (از ۸۴۷/۱۶ تا ۱۰۸۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار) و در قسمت‌های مرکزی کمترین مقدار (۸۴۷/۱۶ – ۶۰۴/۹۳ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (شکل ۴ الف). نتایج تحقیق حاضر نشان داد که دانه گیاه سویا بیشترین توان پتانسیل ترسیب کربن را دارد (۸۸۱/۱۶ کیلوگرم در هکتار) که می‌توان علت آن را احتمالاً کمبود آب در هنگام پر شدن دانه‌ها دانست. نتایج تحقیقات جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) در گیاه گندم این نتایج را تأیید می‌نماید.

برآورد میزان ترسیب کربن در غلاف

نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن

در غلاف گیاه زراعی سویا در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف کریجینگ مدل نمایی مناسب‌ترین مدل بود که کمترین خطا و انحراف و بالاترین صحت را داشت (جدول ۴). همچنین روش تابع شعاعی با مدل تین، با داشتن بیشترین خطا، به‌عنوان نامناسبترین الگو شناخته شد. بر اساس نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه سویا، در مناطق شرقی و جنوب غربی (۴۵۵/۶۸ تا ۳۳۰/۸۳ کیلوگرم در هکتار) محدوده زراعی شهرستان گرگان بیشتر از نواحی شمال غربی و جنوبی بوده است (۳۳۰/۸۳ تا ۲۰۵/۹۹ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۴ ب). جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) نیز طی تحقیقات خود بر روی گیاه گندم بیان نمودند که بیشترین توان ذخیره کربن را سنبله (۱/۰۲۶ تن در هکتار) دارا است. خرم‌دل و همکاران (Khorramdel et al., 2016) در تحقیقات خود بر روی کلزا، پتانسیل ترسیب کربن خورجین + بذر را چهار درصد کمتر از ساقه گزارش نمودند.

برآورد میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه نتایج نشان داد که در بین روش‌های مختلف زمین‌آماری، روش کریجینگ بهترین الگو را برای تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه زراعی سویا در محدوده اراضی کشاورزی شهرستان گرگان ارائه می‌دهد. از مدل‌های مختلف کریجینگ مدل پایدار مناسب‌ترین مدل بود که کمترین خطا و انحراف و بالاترین صحت را داشت (جدول ۵).

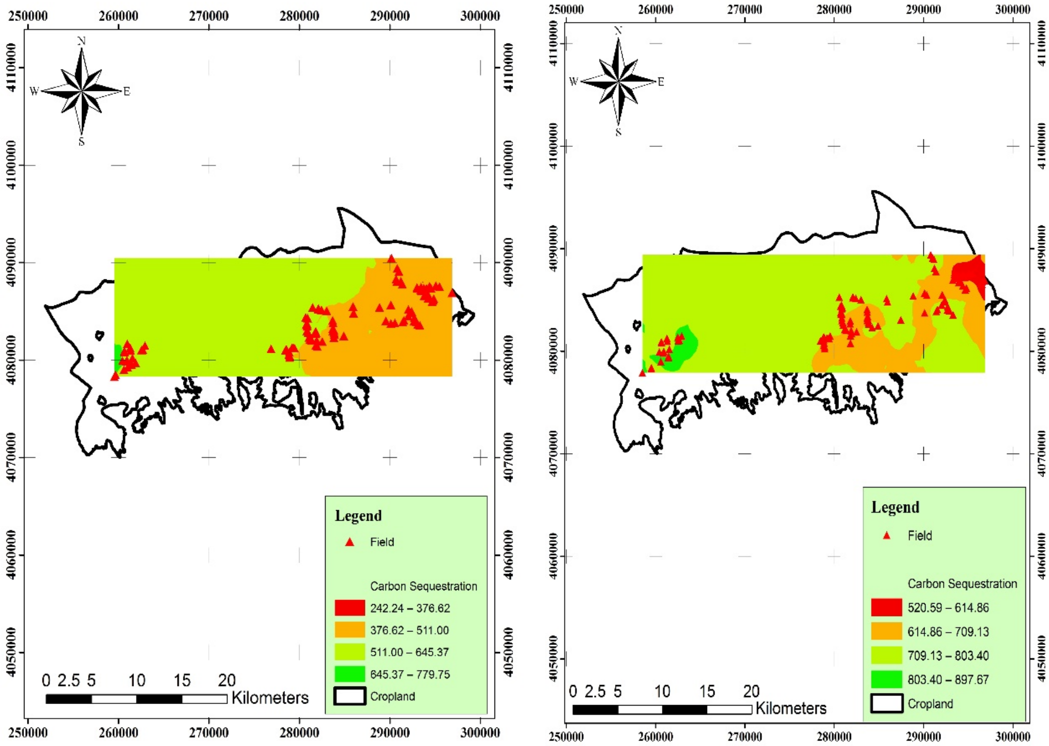


Fig. B

Fig. A

شکل ۳- پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در برگ (شکل الف) و ساقه سویا (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Fig. 3- Zoning of carbon sequestration potential in soybean leaves (Fig. A) and stems (Fig. B) using the Kriging of Gorgan Township method in the croplands

جدول ٤- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه و غلاف گیاه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Table 4- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean seed and pod in croplands of Gorgan Township

مدل Model		میانگین خطا MAE		میانگین انحراف خطا MBE		ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE	
		دانه Seed	غلاف Pod	دانه Seed	غلاف Pod	دانه Seed	غلاف Pod
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers distance weighting	توان ۱ 1st Power	71.85	30.86	-9.02	-2.73	91.77	43.04
	توان ۲ 2nd Power	69.03	32.05	-3.71	-2.47	88.73	44.59
	توان ۳ 3rd Power	71.14	33.92	-1.14	-3.34	90.87	46.71
تابع پایه شعاعی RBF	چند ربعی Multiquadric function	69.20	33.79	2.01	-1.91	78.90	46.84
	چندربعی معکوس Invers Multiquadric function	71.69	30.75	-4.92	-3.51	89.99	43.25
	نواری کم ضخامت Thin-plate spiline	81.15	40.43	-7.23	0.19	108.74	58.53
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local plynomial interpolation	درجه ۱ 1st Order	71.23	31.32	7.41	0.38	92.59	43.08
	درجه ۲ 2nd Order	78.89	31.59	3.28	0.36	101.62	44.10
	درجه ۳ 3rd Order	77.75	31.45	2.60	1.28	103.72	43.21
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	59.97	-	0.47	-	76.81	-
	جی-بیس J-Bassel	65.57	36.88	0.041	-1.62	83.75	46.57
	گوسین Gaussin	68.96	36.88	-0.06	-1.62	86.83	46.57
	نمایی Exponential	64.35	29.75	-0.65	-0.63	81.21	39.29
	کروی Spherical	66.48	36.88	-0.06	-1.62	83.77	46.57
	چرخشی Circular	67.51	36.88	-0.009	-1.62	85.08	46.57

بر اساس نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در اندام ریشه گیاه سویا، در مناطق شرق، شمال شرقی و جنوب شرقی (۷۰۱/۰۲ – ۵۵۱/۵۳ کیلوگرم در هکتار) بیشترین مقدار و کمترین مقدار نیز در مرکزی، غربی و جنوب غربی (۵۵۶/۵۳- ۴۱۲/۰۴ کیلوگرم در هکتار) شهرستان گرگان مشاهده شد (شکل ۵). جعفریان و سید علیخانی (Jafari & Tayefeh Seyyed Alikhani, 2012) نیز در تحقیقات خود بر روی گیاه گندم بیان نمودند در کل بوته گیاه، کمترین میزان به ریشه (۰/۱۸۹ تن در هکتار) اختصاص داشت. سروی و متین‌فر (Sarvi & Matinfar, 2016) نیز در تحقیقات خود بر روی گیاه ذرت بیان نمودند کمترین میزان ترسیب کربن با مقدار ۰/۹۷ تن در هکتار مربوط به ریشه گیاه می‌باشد. به‌طورکلی، مجموع پتانسیل ترسیب کربن سویا در کل اندام هوایی برابر با ۲۵۴۵/۷۷

کیلوگرم در هکتار، مجموع آن در اندام زیرزمینی برابر با ۵۴۰/۲۱ کیلوگرم در هکتار و کل آن برابر با ۳۰۸۵/۹۸ کیلوگرم در هکتار بود.

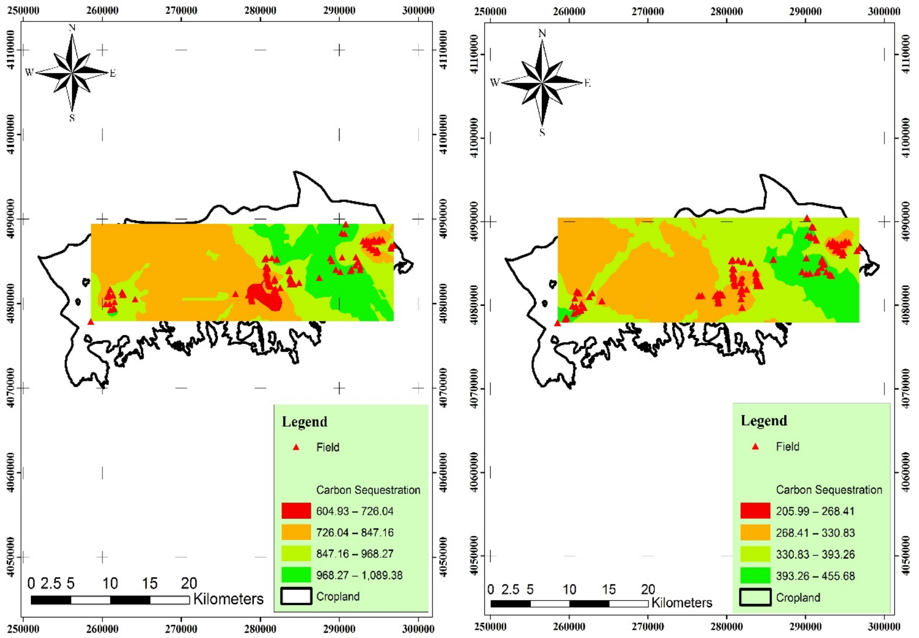
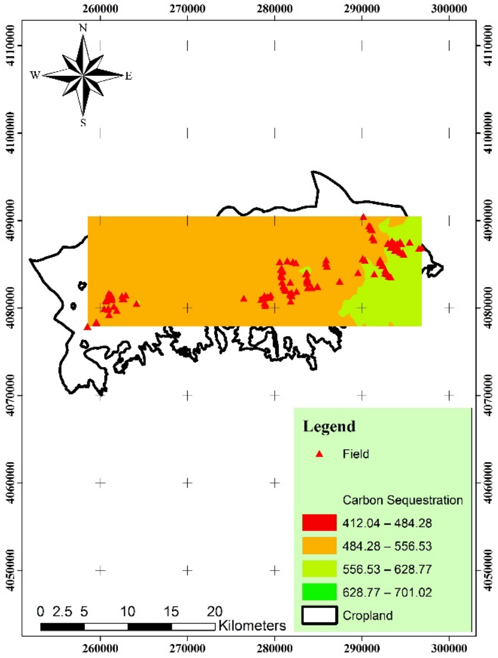


Fig. B Fig. A

شکل ٤- نقشه پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در دانه (شکل الف) و غلاف (شکل ب) با استفاده از روش کریجینگ در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Fig. 4- Zoning map of carbon sequestration potential in soybean grain (Fig. A) and pod (Fig. B) using the Kriging method in croplands of Gorgan Township



شکل ۵- پهنه‌بندی میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه با استفاده از روش کریجینگ در شهرستان گرگان

Fig. 5- Zoning of carbon sequestration potential in the soybean root using Kriging method in the croplands of Gorgan Township

جدول ۵- نتایج ارزیابی روش‌های زمین آماری در تخمین میزان پتانسیل ترسیب کربن در ریشه گیاه سویا در محدوده زراعی شهرستان گرگان

Table 5- The geostatistical methods assessment results in estimating the amount of potential carbon sequestration in soybean root in croplands of Gorgan Township

مدل		میانگین مطلق خطا MAE	میانگین انحراف خطا MBE	ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE
وزن‌دهی معکوس فاصله Invers distance weighting	توان ۱ 1st Power	53.65	-4.33	66.09
	توان ۲ 2nd Power	58.49	-2.19	70.87
	توان ۳ 3rd Power	62.55	-1.73	75.93
تابع پایه شعاعی RBF	چندربعی Multiquadric function	61.85	-0.49	77.48
	چندربعی معکوس Invers multiquadric function	52.87	-2.80	65.47
	نواری کم‌ضخامت Thin-plate spiline	73.73	-0.67	95.14
میان‌یابی چندجمله‌ای محلی Local plynomial interpolation	درجه ۱ 1st Order	52.36	-5.28	64.20
	درجه ۲ 2nd Order	53.02	-0.001	65.52
	درجه ۳ 3rd Order	53.15	0.41	65.92
کریجینگ Kriging	ثابت Stable	46.86	-1.10	59.42

جی- بیس J-Bassel	95.25	0.11	65.17
گوسین Gaussin	53.54	-1.62	65.17
نمایی Exponential	53.54	-1.62	65.17
کروی Spherical	53.54	-1.62	65.17
چرخشی Circular	53.54	-1.62	65.17

در مطالعه‌ای پتانسیل ترسیب کربن ریشه کلزا ۵۶ درصد کمتر از ساقه گزارش شد (Khorramdel et al., 2016). پیت و همکاران (Pate et al., 1979) در تحقیقات خود روی لوپن سفید (*Lupinus polyphyllus* Lindl.) تغذیه شده با نیترات (بدون گره‌های تثبیت‌کننده) را با لوپن‌های دارای گره‌های تثبیت‌کننده نیتروژن از نظر بودجه کربن مقایسه کردند. نتایج نشان داد اگر چه رشد و میزان جذب و تحلیل نیتروژن در دو گیاه مشابه بود، امّا ریشه‌های گره‌دار کسر بیشتری از کربن منتقل شده به ریشه‌ها را تنفس کردند. همچنین سیستم ریشه‌ای گیاهان گره‌دار کسر بیشتری از کربن جذب و تحلیل شده توسط ساقه و برگ را دریافت کردند. رایلی و همکاران (Ryle et al., 1979) بیان کردند که تنفس گره‌های تثبیت‌کننده معادل سه تا چهار گرم کربن بر گرم نیتروژن جذب شده است که گره‌ها از این تنفس برای رشد و نگهداری استفاده می‌کنند.

نتیجه‌گیری

نتایج این بررسی نشان داد که روش کریجینگ بهترین تخمین‌گر برای میزان ترسیب کربن اندام‌های مختلف در گیاه سویا در اراضی کشاورزی شهرستان گرگان است. برای پهنه‌بندی میزان ترسیب گیاه سویا، مدل‌های مختلف کریجینگ به‌علت داشتن دقت بالا و کمترین خطا پیشنهاد می‌شوند. نتایج پهنه‌بندی نشان داد که در مجموع، در بخش‌های شرقی، شمال و جنوب شرقی شهرستان بیشترین و بخش‌های مرکزی، غرب و جنوب غربی شهرستان کمترین میزان پتانسیل ترسیب مشاهده شد. در این بررسی سهم نسبی کربن در اندام‌های مختلف گیاهی از کل کربن موجود در گیاه سویا متفاوت بود. در این بین بیشترین میزان کربن به اندام‌های هوایی اختصاص یافت و میزان کربن حاصل از ترشحات ریشه نیز کمتر از سایر اندام‌های گیاهی برآورد شد. در این آزمایش میزان کربن آلی و تولید خالص اولیه در زیست‌توده هوایی به‌علت وزن خشک بیشتر بیش از زیست توده زیرزمینی برآورد شد که مؤید آن است که اندام‌هایی هوایی از توانایی بیشتری در ترسیب کربن برخوردار بوده و هر چه نسبت اندام‌های در گیاه بیشتر باشد، توان آن در ترسیب کربن افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش می‌تواند اهمیت گیاه سویا را برای ترسیب کربن در خاک‌های زراعی ایران و به‌ویژه استان گلستان نشان دهد.

References

Atkins, C.A., Pate, J.S., and White, S.T., 1980. Economy of carbon and nitrogen in nodulated and non-nodulated (NO_3^- grown cowpea (*Vigna ungriculata* L.) walp.). Plant Physiology 66: 978-983.

Ayobi, S., Mohammad Zamani, S., and Khormali, F., 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province. Journal Agriculture Sciences and Natural Resource 14(4): 1-10. (In Persian with English Summary)

Betts, R.A., Falloon, P., Goldewijk, K.K., and Ramankutty, N., 2007. Biogeophysical effects of land use on climate: model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. Agricultural and Forest Meteorology 142: 216-233.

Bolinder, M.A., Janzen, H.H., Gregorich, E.G., Angers, D.A., and VandenBygaart, A.J., 2007. An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada. Agriculture, Ecosystems and Environment 118: 29-42.

Conen, F., and Smith, K.A., 1998. A re-examination of closed flux chamber methods for the measurement of trace gas emissions from soils to the atmosphere. European Journal of Soil Science 49: 701-707.

Deutsch, C.V., 2002. Geostatistical reservoir modeling. Oxford University Press 376 p.

Dieleman, C.M., Branfireun, B.A., Mclaughlin, J.W., and Lindo, Z., 2015. Climate change drives a shift in peatland ecosystem plant community: implications for ecosystem function and stability. Global Change Biology 21: 388-395.

Duiker, S.W., and Lal, R., 2000.Carbon budget study using CO_2 flux measurement from a no till system in cereal Ohio. Soil and Tillage Research 54: 21-30.

Frank, A.B., and Karn, J.F., 2003. Vegetation indices, CO_2 Flux, and biomass for northern plains grasslands. Journal of Range Management 55:16-22.

Forozeh, M., Heshmati G., Ghanrian, G., and Mesbah, H., 2008. Comparing of the carbon sequestration potential by three species in arid rangelands of Iran. Journal of Environmental Studies 34(46): 65-72.

Gao, Y.H., Lue, P., Wu, C.H., and Wang, G.X., 2007. Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an Alpine Meadow on the Eastern Tibetan Plateau. Journal of Agricultural and Biological Science 3(6): 642-647.

Gan, Y.T., Campbell, C.A., Janzen, H.H., Lemke, R.L., Basnyata, P., and Mc Donald, C.L., 2009. Carbon input to soil from oilseed and pulse crops on the Canadian prairies. Agriculture, Ecosystems and Environment 132: 290-297.

Gill, R.A., Kelly, R.H., Parton, W.J., Day, K.A., Jackson, R.B., Morgan, J.A., Scurlock, J.M.O., Tieszen, L.L., Castle, J.V., Ojima, D.S., and Zhang, X.S., 2002. Using simple environmental variables to estimate belowground productivity in grasslands. Global Ecology and Biogeography 11: 79-86.

Golestan Province Meteorological Office, 2016. http://portal.golestanmet.ir/ (In Persian)

Hasanipak, A., 1998. Geostatistics. Tehran University Press, 314 p. (In Persian)

Jafarian, Z., and Tayefeh Seyyed Alikhani, L., 2012. Carbon sequestration potential in dry farmed wheat in Kiasar Region. Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 23(1): 31-41. (In Persian with English Summary)

Jansson, C., Wullschleger, S.D., Kalluri, U.C., and Tuskan, G.A., 2010. Phytosequestration: Carbon biosequestration by plant and prospects of genetic engineering. BioScience 60: 658-696.

Jose, S., and Bardhan, S., 2012. Agroforestry for biomass production and carbon sequestration: an overview. Agricultural Systems 86: 105-111.

Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataee, SH., and Sadeghi, S., 2012. Estimation of land statistics methods for estimation and zonation of primary nutrient elements in some agricultural lands in Golestan province. Journal of Water and Soil Science 1(22): 201-218.

Khan, S., Hanjra, M.A., and Mu, J., 2009. Water management and crop production for food security in china: A review. Agricultural Water Management 96: 349-360.

Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and Khorasani, R., 2011. Effect of different crop management systems on net primary productivity and relative carbon allocation coefficients for corn (*Zea mays* L.). Journal of Agroecology 2(4): 667-680. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Jafari, L., 2016. Evaluation of Potential for Carbon Sequestration in Rapeseed (*Brassica napus* L.) in Razavi Khorasan province. Journal of Crop Production 9(3): 22-43. (In Persian with English Summary)

Khorramdel, S., Rezvani Moghaddam, P., and Moallem Benhagi, F., 2018. Evaluation of carbon allocation coefficients and net production of primary crops in Khorasan Razavi province. Journal of Crop Production 11(1): 141-152. (In Persianwith English summary)

Kravchenko, A., and Bullock, D.G., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties.Agronomy Journal 91: 393-400.

Kutsch, W.L., Aubinet, M., Buchmann, N., Smith, P., Osborne, B., Eugster, W., Wattenbach, M., Schrumpf, M., Schulze, E.D., Tomelleri, E., Ceschia, E., Bernhofer, C., Béziat, P., Carrara, A., DiTommasi, P., Grünwald, T., Jones, M., Magliulo, V., Marloie, O., Moureaux, C., Olioso, A., Sanz, M.J., Saunders, M., Sogaard H., and Ziegler, W., 2010. The net biome production of full crop rotations in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 336-345.

Lambers, H., Chapin F.S., and Pones T.L., 2008. Plant Physiological Ecology. 2nd Edition Springer 604 p.

Li, S., Li, Y., Li, X., Tian, X., Zhao, A., Wang, S., Wang, S., and Shi, J., 2016. Effect of straw management on carbon sequestration and grain production in a maize-wheat cropping system in Anthrosol of the Guanzhong Plain. Soil and Tillage Research 157: 43-51.

Lichtfouse, E., 2009. Climate change, intercropping, pest control and beneficial microorganisms. Springer 524 p.

Luedling, E., Kindt, R., Hunth, N., and Koenig, K., 2014. Agroforestry systems in a changing climate – challenges in projecting future performance. Current Opinion in Environmental Sustainability 6: 1-7.

Mahdian, M.H., 2007. Application of Geostatistics in Soil Science. Proceedings of the First Conference on Soil, Sustainable Development and the Environment. University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)

Mozaffari, G.H., Mirmosavi, S.H., and Khosravi, Y., 2012. Estimation of land statistics and linear regression methods in determination of spatial description of precipitation (Case study: Bushehr city). Geography and Development Magazine 27: 63-76.

Nassiri Mahallati, M., Koocheki, A., Mansoori, H., and Moradi, R., 2015. Study of long term cycle of carbon and its sequestration in Iran's agricultural system: I- Primary net production and annual carbon input for various crops. Journal of Agroecology 6(4): 741-752. (In Persian with English Summary)

Noorbakhsh, F., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M., 2016. Evaluation of the effect of species diversity on some agro-ecosystem services in maize, soybean and hatchet mixture 2- Performance, land parity ratio, respiration and microbial biomass of soil and carbon sequestration potential. Journal of Crop Production 9(1): 49-68. (In Persian with English Summary)

NOAA, NOAA is an agency that enriches life through science. Our reach goes from the surface of the sun to the depths of the ocean floor as we work to keep citizens informed of the changing environment around them. http://www.noaa.gov.

Pate, J.S., Layzell, D.B., and Atkins, C.A., 1979. Economy of carbon and nitrogen in a nodulated and nonnodulated (NO_3-grown) legume. Plant Physiology 64: 1083-1088.

Polidori, A., Turpin, B.J., Davidson, C.I., Rodenburg, L.A., and Maimone, F., 2008. Organic PM 2.5: Fractionation by polarity, FTIR spectroscopy, and OM/OC ratio for the pittsburgh aerosol. Journal of Aerosol Science and Technology 42: 233-246.

Post, W.M., and Kwon, K.C., 2000. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential. Global Change Biology 6: 317–327.

Ramachandran Nair, P.K., Nair, V.D., Mohan Kumar, B., and Showalter, J.M., 2010. Chapter Five – Carbon Sequestration in Agroforestry Systems 108: 237-307.

Ryle, G.J.A., Powell, C.E., and Gordon, A.J., 1979. The respiratory costs of nitrogen fixation in soybean, cowpea, and white clover. II. Comparisons of the cost of nitrogen fixation and the utilization of combined nitrogen. Journal of Experimental Botany 30 (114): 145-153.

Sarvi, V., and Matinfar, H.R., 2016. Evaluation of carbon sequestration potential in alfalfa, maize and canola fields of Moghan plain using different statistical methods in GIS environment. First Conferences on Remote Sensing and Geographic Information Systems in Earth Sciences. Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran. Oceanic and Oceanographic Research Center, Iran. (In Persian)

Singh, G., Bala, N., Chaudhuri, K.K., and Meena, R.L., 2003. Carbon sequestration potential of common access resources in arid and semi-arid regions of northwestern India. The Indian Forester 129: 859- 864.

Smith, J., Smith, P., Wattenbach, M., Gottschalk, P., Romanenkov, V.A., Shevtsova, L.K., Sirotenko, O.D., Rukhovi, D.I., Koroleva, P.V., Romanenko, I.A., and Lisovoi, N.V., 2007. Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070. Global Change Biology 13: 342-356.

Smith, P., Lanigan, G., Kutsch, W.L., Buchmann, N., Eugster, W., Aubinet, M., Ceschia, E., Beziat, P., Yeluripati, J.B., Osborne, B., Moors, E.J., Brut, A., Wattenbach, M., Saunders, M., and Jones, M., 2010. Measurements necessary for assessing the net ecosystem carbon budget of croplands. Agriculture, Ecosystems and Environment 139: 302-315.

Verchot, L.V., Noordwijk, M.V., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K.V., and Palm, C., 2007. Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 12: 901-918.

Webster, R., and M.A., Oliver., 2000. Geostatistics for environmental scientists. Wiley Press, 271 p.

Yong Zhong, S.U., 2007. Soil carbon and nitrogen sequestration following the conversion of crop land to alfalfa land in northwest china. Journal of Soil and Tillage Research 92: 181-189.

Journal of Agroecology
Vol. 12, No.3, Fall 2020, p. 541-559

نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد ۱۲، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۵۵۹-۵۴۱

Zoning and Evaluation of Carbon Sequestration Potential, Primary Net Production and Carbon Allocation Coefficients of Soybean (*Glycine max* L.) in Gorgan Township

S. Bakhshande Larimi[1], H. Kazemi[2*], A. Soltani[3] and B. Kamkar[3]
Submitted: 04-02-2019
Accepted: 10-06-2019

Bakhshande Larimi, S., Kazemi, H., Soltani, A., and Kamkar, B., 2020. Evaluation of carbon sequestration potential, primary net production and carbon allocation coefficients in soybean (*Glycine max* L.). Journal of Agroecology 12(3):541-559.

Introduction

Climate change and global warming are the most important challenges in sustainable development, which is due to increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere. Carbon dioxide is a major component of greenhouse gases. In order to reduce atmospheric carbon dioxide and to create a balance in the content of greenhouse gases, atmospheric carbon must be absorbed in organic forms (Dieleman et al., 2015; Lichtfouse, 2009). For this aim, a study was done in agricultural lands of Gorgan in order to estimate the carbon sequestration potential of soybean plant (*Glycine max* L.).

Materials and Methods

This research was carried out in 150 soybean fields of Gorgan township and sampled by quadrate 0.5×0.5 m^2 as random method, during 2016-2017. The soybean shoot and root organs were individually harvested and transferred to the laboratory. An electric burn furnace method was used to determine the carbon sequestration potential in soybean organs (including pods, seeds, stems, leaves and roots). Also, the amount of shoot to root and harvest index were estimated to determine the net primary production based on carbon content in the above ground organ, below ground organ and total plant, and the carbon allocation coefficients in each soybean organ. Then, using different interpolation methods, the spatial distribution of carbon sequestration of the plant organs was investigated in ArcGIS software. All data were analyzed by SPSS software.

Results and Discussion

The results showed that Kriging method was the best model for carbon interpolation and distribution of carbon sequestration potential in agricultural lands of Gorgan township. The amount of stored carbon was obtained as 579.64 $kg.ha^{-1}$ in leaves, 744.81 $kg.ha^{-1}$ in stem, 881.16 $kg.ha^{-1}$ in seeds, 340.16 $kg.ha^{-1}$ in pods and 540.21 $kg.ha^{-1}$ in root. Also, according to harvest index (32%) and grain yield (3461.13 $kg.ha^{-1}$), other indexes were calculates as the ratio of shoot to root about 4.30, the total net primary carbon production 6734.8 $kg.ha^{-1}$, above-ground net primary carbon production 4867.2 $kg.ha^{-1}$ and below-ground net primary carbon production about 1867.63 $kg.ha^{-1}$. Also, the shares of the allocation coefficients of economic organs, stems, leaves, root and root secretions were 0.23, 0.49, 0.61 and 0.12, respectively. The zoning results showed that the total stored carbon potential in soybean plant was highest in the eastern, north and southeastern regions of the surveyed area, and the central, western and southwestern parts of this township had the lowest stored carbon potential. Also, the amount of carbon sequestration potential (total above ground and below ground organs) was as 3085.98 $kg.ha^{-1}$

1- Ph.D. Student of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Associate Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3- Professor of Agronomy Department, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
(*- Corresponding Author Email: hkazemi@gau.ac.ir)
Doi:10.22067/jag.v12i3.79031

in this study.

Conclusion

The highest proportion of carbon was allocated to the shoot organs, and the carbon of root exudates was also lower than other plant organs. In this study, it has been found that the potential of carbon sequestration was different in soybean plant organs and some variable such as agronomical management, soil and climatic condition can affect on its contents.

Acknowledgements

We are thankful to Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Agriculture Services Centers of Gorgan and soybean farmers for all their companions and supports.

Keywords: Carbon net production, Interpolation, Plant organs.

Contents

Stability Analysis of Seed Yield in Durum Wheat Genotypes using AMMI Analysis 370
Ali Akbar Moayyedi, Tohid Najafi Mirak, Gholam Hosein Ahmadi and Akbar Ghandi

The Effect of Fulvic Acid and Amino Acid Application on Physiological Characteristics, Growth and Yield of Coriander Medicinal Plant 387
M.H. Aminifard, M. Gholami, H. Bayat and F. Moradi Nezhad

Simultaneous Effects of Deficit Irrigation and Transpiration Reducer on Yield and Yield Components of Corn Single Cross 704 410
M. Hayati, A. Maleki, A. Mozaffari and F. Babaei

Irrigated Wheat (*Triticum aestivum*) Traits Effects on Potential Yield under Current and Future Climates in Iran 430
S.M. Alimagham, A. Soltani, V. Vadez, E. Zeinali and E. Zand

Evaluation of Energy Efficiency Indices According to Wheat (*Triticum aestivum* L.) Based Crop in Conservation Agricultural Systems in Temperate Climate Region (A Case Study: Gonabad) 444
H. Tavakoli Kakhki and M. Ghodsi

Yield Enhancement by Application of Plant Growth Promoting Rhizobacterial (PGPR) Inoculants in Dryland Wheat 466
K. Khavazi, V. Feiziasl, M.H. Sedri, A. Taliee, J. Ghohargani, M. Ismaili and R. Solaimani

Simulation of Soil Moisture for the Upcoming Period by SWAP Model using Climate Change Models and Fifth Report Scenarios (Case Study: Wheat (*Triticum aestivum* L.) Field in Faroub of Neyshabour) 485
S. Ghavamsaeidi Noghbi, M. Yaghoobzadeh, H. Mansoori, H. Hammami, M. Salehi Tabas and M.H. Najafi Mood

Zoning of Golestan Province Agricultural Land for Rainfed Wheat (*Triticum aestivum* L.) Based on Climatic- Stochastical Analysis 504
K. Kaboosi

Effect of Vermicompost on Morphophysiological, Biochemical and Yield Characteristics of Summer Savory (*Satureja hortensis* L.) under Different Irrigation Regimes 521
O. Heidarpour, B. Esmaielpour, A. Soltani Toolarood and S. Khoramdel

Evaluation of Nitrogen Balance in Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cropping Systems of Iran 539
H. Tavakoli Kakhki, M. Nassiri Mahallati, A. Koocheki, M. Jahan and A. Beheshti

Evaluation of Carbon Sequestration Potential, Primary Net Production and Carbon Allocation Coefficients in Soybean (*Glycin max* L.) 558
S. Bakhshande Larimi, H. Kazemi, A. Soltani and B. Kamkar

Journal of Agroecology (Quarterly)

Ferdowsi University of Mashhad

Vol. 12 No. 3 Fall 2020

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