نشریه علمی
پژوهشهای زراعی ایران

جلد ۲۰ شماره ۴

سال ۱۴۰۱

(شماره پیاپی: ۶۸)

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

واسنجی و تعیین اعتبار مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد دو هیبرید ذرت دانه‌ای در مقادیر مختلف نیتروژن ۳۶۵

محمد مددی زاده، سید رضا امیری، جعفر کامبوزیا، سعید صوفی زاده

تأثیر رقم و تاریخ کاشت بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند پاییزه در منطقه خراسان بزرگ ۳۸۳

حسین شفاپور، محسن جهان، محمد بنایان اول، مهدی نصیری محلاتی

بررسی کارآمدی مصرف نیتروژن گیاه در تناوب‌های مختلف زراعی ۴۰۳

جواد اعتضادی جمع، سید وحید اسلامی، مجید جامی الاحمدی، محمد حسن سیاری

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه تربت حیدریه ۴۱۹

فاطمه معلم بنهنگی، پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل، مهدی نصیری محلاتی

تاثیر نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر (*Lathyrus sativus* L.) ۴۳۷

رئوف سید شریفی، رضا سید شریفی، حامد نریمانی

واکنش خصوصیات زراعی و فنولوژیکی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با عادت رشد متفاوت به تأخیر در کاشت ۴۵۳

مجید بهنه، شهرام رضوان، سارا سنجانی، جعفر مسعود سینکی

تأثیر تنش خشکی انتهای فصل رشد بر مورفولوژی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) ۴۶۹

هنا عبوده، عبدالمهدی بخشنده، محمدرضا مرادی تلاوت، سید عطاالله سیادت، سید امیر موسوی

اثر سطوح نیترات آمونیوم بر مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) در شرایط رقابت علف هرز ۴۸۳

فرزانه فرامرزی، سید محمدباقر حسینی، حامد منصوری، دیوید فانگوئیرو، حسن علیزاده

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت 124/7857 از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و
82/5/27

درجه علمی - پژوهشی شماره 3/11/74509 از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
89/10/21

"بر اساس مصوبه وزارت عتف از سال 1398، کلیه نشریات دارای درجه "علمی-پژوهشی" به نشریه "علمی" تغییر نام یافتند."

جلد 20 **شماره 4** **سال 1401**

صاحب امتیاز: دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول: پرویز رضوانی مقدم — استاد - اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

سردبیر: حمیدرضا خزاعی — استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

مجید آقاعلیخانی	استاد - اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز (دانشگاه تربیت مدرس، تهران)
پرویز احسان زاده	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)
یحیی امام	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)
عبدالرضا باقری	استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
محمدعلی بهدانی	استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
محمد بنایان اول	استاد - مدل‌سازی سیستم‌های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)
مجید جامی الاحمدی	دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
یعقوب راعی	استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تبریز
حمیدرضا خزاعی	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی(دانشگاه فردوسی مشهد)
حمید رحیمیان مشهدی	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)
غلامرضا زمانی	دانشیار - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)
احمد زارع فیض آبادی	استاد - اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)
فرج اله شهریاری احمدی	استاد - ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)
محمد کافی	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)
احمد نظامی	استاد - فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)
احسان عیشی رضایی	مدلسازی گیاهی (مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لابنیتز (زالف)، آلمان)
اعظم لشکری	فیزیولوژی گیاهی محیطی (مرکز تحقیقات سیمیت، دانشگاه کشاورزی هنان، چین)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی 1163-91775

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت https://jcesc.um.ac.ir به‌صورت مقاله کامل نمایه شده است.

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

مقالات پژوهشی

واسنجی و تعیین اعتبار مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد دو هیبرید ذرت دانه‌ای در مقادیر مختلف نیتروژن 365
محمد مددی زاده، سید رضا امیری، جعفر کامبوزیا، سعید صوفی زاده

تأثیر رقم و تاریخ کاشت بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند پاییزه در منطقه خراسان بزرگ 383
حسین شفاپور، محسن جهان، محمد بنایان اول، مهدی نصیری محلاتی

بررسی کارآمدی مصرف نیتروژن گیاه در تناوب‌های مختلف زراعی 403
جواد اعتضادی جمع، سید وحید اسلامی، مجید جامی الاحمدی، محمد حسن سیاری

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه تربت حیدریه 419
فاطمه معلم بنهنگی، پرویز رضوانی مقدم، سرور خرم دل، مهدی نصیری محلاتی

تاثیر نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر (*Lathyrus sativus* L.) 437
رئوف سید شریفی، رضا سید شریفی، حامد نریمانی

واکنش خصوصیات زراعی و فنولوژیکی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با عادت رشد متفاوت به تأخیر در کاشت 453
مجید بهنه، شهرام رضوان، سارا سنجانی، جعفر مسعود سینکی

تأثیر تنش خشکی انتهای فصل رشد بر مورفولوژی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام کلزا (*Brassica napus* L.) 469
هنا عبوده، عبدالمهدی بخشنده، محمدرضا مرادی تلاوت، سید عطاالله سیادت، سید امیر موسوی

اثر سطوح نیترات آمونیوم بر مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) در شرایط رقابت علف هرز 483
فرزانه فرامرزی، سید محمدباقر حسینی، حامد منصوری، دیوید فانگوئیرو، حسن علیزاده

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 363-379

Calibration and Evaluation of APSIM Model for Simulation of Growth and Development of KSC 704 and Maxima Maize Hybrids under Different Amounts of Nitrogen

M. Madadizadeh[1*], S. R. Amiri[2], J. Kambouzia[1], S. Soufizadeh[1]

Received: 31-07-2021 Revised: 15-05-2022 Accepted: 18-05-2022	**How to cite this article:** Madadizadeh, M., Amiri, S. R., Kambouzia, J., & Soufizadeh, S. (2023). Calibration and Evaluation of APSIM Model for Simulation of Growth and Development of KSC 704 and Maxima Maize Hybrids under Different Amounts of Nitrogen. *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4), 363-379. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.71744.1071

Introduction

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important cereals after wheat and rice in the tropical and temperate regions of the world. Also, its mean production is 8 ton ha^{-1}. Moreover, the total area of under cultivation is 132572 hectares in Iran. Crop simulation models can play an important role in improving agricultural production systems in many developing countries. Crop models can simulate plant growth processes and grain yield instead of conducting several years of field experiments. On the other hands, crop simulation models should be calibrated and evaluated with independent data sets under different climatic conditions. Therefore, the purpose of this research was evaluation of the APSIM model for simulation of growth, development and yield of maize hybrids in Kerman province under different amounts of nitrogen.

Materials and Methods

The APSIM model was calibrated and validated using measured data from a two-year field experiment conducted in the 2014 and 2015 growing seasons. The experiment was a factorial arrangement based on a randomized complete block design (RCBD) with three replications conducted at Kerman province in Iran. Four nitrogen rates (0 (control), 92, 220 and 368 kg ha^{-1}) and two maize hybrids (KSC 704 and Maxima) were included in the study. Moreover, inputs of APSIM model were climatic, soil, plant and management data. In order to calibrate the APSIM model, the data of field experiment in the first year (2014) (including flowering date, physiological maturity date, leaf area index, biological yield and grain yield) were included. Moreover, Data from the second experiment (2015) were used to validate the model.

Results and Discussion

Our results showed that APSIM model accurately predicted phenology (nRMSE=4.5%). But the APSIM model did not capture the effect of nitrogen stress on phenology. At the evaluation step, the model couldn't accurately predict the maximum leaf area index (nRMSE=26 and 18% for SC 704 and Maxima hybrids, respectively) which led to overestimate of the results. The nRMSE values for the biological yield of SC 704 and Maxima hybrids were 13.9% and 5.7%, respectively. Furthermore, the values of Wilmot agreement index (d) for these SC 704 (0.95) and Maxima (0.99) indicated a close agreement between the field-measured and simulated values. Furthermore, the nRMSE for grain yield simulation of SC 704 and Maxima hybrids were 13.2 and 11.9 percentage, respectively, revealed that the model accurately simulated the grain yield of maize hybrids.

1- Department of Agroecology, Environmental Science Research Institute, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, Higher Education Complex of Saravan, Iran
(*- Corresponding Author Email: madadi31@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.71744.1071

Conclusion

The evaluation of the APSIM model with the experimental data revealed that the model predicted grain yield, biological yield, days to flowering and maturity of maize hybrids reasonably well. This indicates that the model could be applied for assessing various management practices in maize agro-ecosystems under all parts of the semi-arid regions which has the similar characteristics to the study location. On the other hands, the APSIM model couldn't predict the effect of different nitrogen levels on phenology.

Keywords: Biomass, Evaluation, Flowering, Grain yield

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٣٧٩-٣٦٣

واسنجی و تعیین اعتبار مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد دو هیبرید ذرت دانه‌ای در مقادیر مختلف نیتروژن

محمد مددی زاده[1*]، سید رضا امیری[2]، جعفر کامبوزیا[1]، سعید صوفی زاده[1]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۸

چکیده

هدف از این مطالعه، اعتبارسنجی مدل APSIM در رابطه با قدرت شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت دانه‌ای در استان کرمان با استفاده از دو هیبرید رایج ذرت در پاسخ به مقادیر مختلف نیتروژن بود. به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل APSIM (version, 7.8) تحت شرایط مختلف فراهمی نیتروژن در راستای شبیه‌سازی و کمی‌سازی مراحل رشد فنولوژیک، زیست‌توده اندام‌های مختلف گیاهی و عملکرد دانه ارقام ذرت دانه‌ای، آزمایشی مزرعه‌ای طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان انجام گرفت. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با آرایش فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. فاکتورها شامل دو هیبرید ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما) و چهار مقدار نیتروژن (۰، ۹۲، ۲۲۰ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) بودند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل APSIM نشان داد که مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE) در رابطه با پیش‌بینی فنولوژی گیاه (تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) برای هر دو رقم به‌ترتیب برابر با ۶/۱۳ و ۲/۳۵ بود اما ضعف اصلی مدل در این قسمت، عدم حساسیت مدل نسبت به تأثیر کمبود نیتروژن بر فنولوژی گیاه بود. مقادیر میانگین nRMSE طی اعتبارسنجی مدل برای شاخص سطح برگ بیشینه دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما ۱۴/۶ درصد بود. مقادیر مذکور در برداشت نهایی در رابطه با بیوماس کل و عملکرد دانه به‌ترتیب ۹/۳ و ۱۱/۷ درصد بود. به‌طورکلی نتایج نشان داد این مدل قادر است به‌عنوان ابزاری قابل‌اعتماد برای پیش‌بینی صفات مهم گیاهی مانند عملکرد محصول قبل از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای، کاهش هزینه‌های تحقیقاتی و تخمین صحیح میزان سازگاری هیبریدهای رایج و جدید ذرت در استان کرمان و درعین‌حال شرایط مختلف تغذیه‌ای نیتروژن به‌کار گرفته‌شده و همچنین نقش بسیار مهمی در اتخاذ تصمیمات خرد و کلان مدیریتی در راستای مدیریت پایدار مزارع ذرت در استان کرمان ایفا نماید.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی، رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، گلدهی

مقدمه

مساله‌ی تولید و تامین غذا به دلیل پیچیدگی و تنوعی که در عصر حاضر به خود گرفته، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه به سبب عوامل متعددی مانند نرخ رشد بالای جمعیت، تشدید پدیده شهرنشینی، مدیریت نامناسب عملیات زراعی، افزایش تخریب و فرسایش خاک، کاهش شدید و مداوم سطح زمین‌های قابل کشت، گسترش دامنه تنش‌های شوری و خشکی در اراضی، بیابان‌زایی، استفاده بی‌رویه از نهاده‌های شیمیایی، تخریب محیط‌زیست به یک بحران جهانی تبدیل شده است (Tscharntke *et al.*, 2012). کشاورزی مهم‌ترین بخش اقتصادی در بسیاری از کشورهای در حال توسعه به‌شمار رفته و انتظار می‌رود غذای جمعیت پیش‌بینی شده ۹/۱ میلیارد نفری جهان تا سال ۲۰۵۰ را تامین نماید. بنابراین پاسخگویی به این تقاضا با وجود چالش‌های مذکور فشار عظیمی بر بخش کشاورزی وارد می‌سازد (Amjed *et al.*, 2012).

ذرت (*Zea mays* L.) از جمله غلات مهم و با ارزش مناطق گرمسیر و معتدل جهان است که پس از گندم و برنج در جایگاه سوم اهمیت جهانی قرار دارد (FAO, 2015). کشور ایران با مجموع ۱۳۲۵۷۲ هکتار سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای و متوسط عملکرد هشت

۱- گروه کشاورزی اکولوژیک، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، مجتمع آموزش عالی سراوان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: madadi31@gmail.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.71744.1071

تن دانه در هکتار، سالانه حدود ۱۰۸۹۴۱۰ تن ذرت دانه‌ای تولید می‌کند (Anonymous, 2020). استان کرمان (۱۲۵۰۰ هکتار) و حوزه‌ی جنوب این استان (۱۳۰۰۰ هکتار) مجموعا با ۲۵۵۰۰ هکتار سطح زیر کشت ذرت دانه‌ای و متوسط عملکرد ۶۵۰۰ کیلوگرم دانه در هکتار، رتبه دوم تولید این محصول را پس از استان خوزستان (۵۴۰۰۰ هکتار) در کشور دارا می‌باشد (Anonymous, 2020). در مقایسه با سایر غلات، ذرت نیاز بیشتری به کود نیتروژنی دارد (Hopkins *et al*., 2008; Abera, 2013). حداکثر جذب نیتروژن به‌وسیله ذرت در طول ماه قبل از ظهور گل تاجی و ابریشم‌دهی رخ می‌دهد (Alley *et al*., 2009). متاسفانه مصرف کود شیمیایی برای ذرت توسط بسیاری از کشاورزان در بسیاری از نقاط دنیا بر مبنای اصول صحیح و علمی صورت نمی‌گیرد. زیرا این توصیه‌ها اغلب بدون توجه به خصوصیات متفاوت فیزیکی و شیمیایی خاک‌های مختلف، وضعیت پویایی عناصر تغذیه‌ای خاک و همچنین شرایط محیطی انجام می شود (Antonietta *et al*., 2015).

از طرف دیگر، با توجه به میانگین عملکرد ذرت دانه‌ای در کشور و استان کرمان (۸ تا ۹ تن در هکتار) (Anonymous, 2020) و مقایسه‌ی آن با متوسط عملکرد قابل دستیابی (۱۴ تا ۱۵ تن در هکتار) (Muller *et al*., 2012)، مشخص می‌گردد که ارزیابی تاثیر عوامل اصلی تعیین‌کننده‌ی تولید (اقلیم، خاک، ژنوتیپ و عوامل مدیریتی) در کنار یکدیگر بر تولید محصول با استفاده از رهیافت مدل‌سازی می‌تواند نقش بسیار مهمی در بهبود عملکرد تولیدی و مدیریت پایدار مزارع ایفا نماید.

در واقع می‌توان گفت رهیافت مدل‌سازی تنها راه تلفیق یافته‌های تحقیقاتی حاصل از مطالعات صورت گرفته در بخش‌های مجزا از یکدیگر می‌باشند (Soltani, 2012). در چنین شرایطی این مدل‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزارهای جدید در راستای صرفه‌جویی در زمان و بهبود اثربخشی و یا به حداقل رساندن هزینه مربوط به بسیاری از تحقیقات کشاورزی مورد استفاده قرار گیرند. بدین معنا که طیف وسیعی از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان در مقیاس‌های منطقه‌ای و ملی می‌توانند به‌منظور پیش‌بینی عملکرد گیاهان مورد استفاده قرار گیرند (Amjed *et al*., 2012). پاکنژاد و همکاران (Paknejad *et al*., 2017) در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت سطوح مختلف نیتروژن در شرایط اقلیمی کرج با استفاده از مدل DSSAT نشان دادند که مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی فرایندهای رشد و نمو و عملکرد ذرت در ۴ سطح نیتروژن دارد. در مطالعه آن‌ها مقدار nRMSE برای بیوماس و عملکرد کمتر از ۲۰ درصد بود. در مطالعه دیگری (Ebrahimi *et al*., 2015)، شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که مقدار nRMSE جهت تخمین عملکرد دانه و بیوماس کل به‌ترتیب برابر با ۵ و ۲۰ درصد بود. افضلی و همکاران (Afzali *et al*., 2018) در ارزیابی کارایی مدل WOFOST برای شبیه‌سازی رشد و نمو ذرت در شرایط اقلیمی نیمه‌گرمسیر جنوب کرمان نشان دادند که ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب کارایی مدل برای عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص برداشت به‌ترتیب ۹ درصد، ۰/۸۷ و ۰/۸۲ بود که بیانگر دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد و بیوماس کل بود. مدل APSIM (Agricultural Production Systems sIMulator) یک چارچوب مدل‌سازی مبتنی بر زیر مدل‌های[1] مختلف می‌باشد که توسط واحد تحقیقات سیستم‌های تولید کشاورزی در استرالیا توسعه یافته است. APSIM مدلی مکانیستیک و فرآیندگرا بوده که با به‌کارگیری زیرمدل‌های مختلف (زیرمدل‌های بیولوژیک، محیطی، مدیریتی و اقتصادی که با موتور اصلی مدل مرتبط می‌شوند) قادر به شبیه‌سازی سیستم‌های کشاورزی به‌ویژه در نواحی نیمه‌خشک می‌باشد (McCown *et al*., 1996). در واقع مدلی‌ست که قادر است بر اساس اهداف تعیین‌شده در سیستم‌های کشاورزی، رشد و نمو گیاهان، فرآیندهای خاک و طیف وسیعی از عملیات مدیریتی را شبیه‌سازی نماید (Ahmed & Hassan, 2011). این مدل به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای بیوفیزیکی در سیستم‌های کشاورزی، به‌ویژه در مواردی که پیامدهای اقتصادی و اکولوژیک ناشی از عملیات مدیریتی در مواجهه با خطرات اقلیمی وجود دارند، طراحی شده است. زیرمدل‌های این مدل شامل دامنه وسیعی از گیاهان زراعی، چراگاه‌ها و درختان، اثرات متقابل بین گیاه و علف‌های هرز، فرآیندهای خاک شامل بیلان آب، تغییرات ماده آلی خاک، تبدیل نیتروژن و فسفر، pH خاک، آبشویی نیترات، فرسایش و طیف گسترده‌ای از عملیات مدیریتی می‌باشد. مدل APSIM دارای کاربردهای بسیار متنوعی مانند حمایت از تصمیم‌سازی‌های مزرعه‌ای، طراحی سیستم‌های کشاورزی با هدف مدیریت منابع، ارزیابی اهمیت پیش‌بینی اقلیم فصلی، تحلیل مسائل مربوط به زنجیره تولید در فعالیت‌های تجاری کشاورزی، توسعه راهکارهای مدیریت ضایعات، ارزیابی خطر برای سیاست‌گذاری‌های دولتی و تسهیل فعالیت‌های آموزشی و تحقیقاتی در بخش کشاورزی می‌باشد (Keating *et al*., 2003). گزارش‌های متعددی در تایید قدرت بالای مدل APSIM در شبیه‌سازی رشد و عملکرد برخی گیاهان زراعی از جمله ذرت در مناطق خشک و نیمه‌خشک وجود دارد (Heng *et al*., 2007; Shamudzarira & Robertson, 2002; Delve *et al*., 2009; Rahimi-Moghaddam *et al*., 2018, 2019).

از میان عناصر غذایی، نیتروژن مهم‌ترین عنصر تاثیرگذار بر رشد گیاه می‌باشد (Kaur *et al*., 2012)؛ که امروزه به‌طور فشرده در سیستم‌های کشاورزی مدرن به منظور بیشینه‌سازی عملکرد گیاهان

1- Module

مورد استفاده قرار می‌گیرد (Wu *et al.*, 2011). مقدار نیتروژن توصیه شده برای تمامی گیاهان زراعی از جمله ذرت بسته به عوامل متعددی مانند رقم، منطقه کاشت، بقایای گیاهی، فراهمی آب، نوع خاک، تناوب زراعی و علف‌های هرز متفاوت است (Antonietta *et al.*, 2015). از این‌رو با توجه به نگرانی‌های روزافزون در رابطه با اثرات مخرب زیست‌محیطی ناشی از مصرف زیاد کودهای نیتروژنی و همچنین هزینه‌ی اقتصادی بالای تامین این کودها و در نهایت لزوم بهره‌گیری از دانش مدل‌سازی به‌عنوان ابزاری بسیار سودمند و کارا در راستای مدیریت پایدار مزارع (به‌واسطه‌ی در نظر گرفتن تاثیر تمامی عوامل در کنار یکدیگر)، تحقیق حاضر با هدف اعتبارسنجی مدل APSIM در رابطه با قدرت شبیه‌سازی رشد و نمو و عملکرد ذرت دانه‌ای در استان کرمان و مقایسه‌ی رشد و عملکرد دو هیبرید رایج ذرت در پاسخ به مقادیر مختلف نیتروژن انجام شد.

مواد و روش‌ها

طرح آزمایش

آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار طی دو کشت تابستانه در سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ در ایستگاه تحقیقاتی شهید زنده‌روح (عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ۱۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۶ درجه و ۵۸ دقیقه) متعلق به مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان واقع در ۱۰ کیلومتری جنوب شهرستان کرمان (کیلومتر ۱۲ محور کرمان- جوپار) انجام شد. فاکتورها چهار مقدار کود نیتروژنه شامل: صفر، ۲۵ درصد مقدار بهینه (۹۲ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار)، ۶۰ درصد مقدار بهینه (۲۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و مقدار بهینه (۳۶۸ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) از منبع اوره و فاکتور دوم هیبرید سینگل-کراس ۷۰۴ و ماکسیما ذرت دانه‌ای بودند. مبنای مقدار بهینه کود نیتروژنی، تحقیقات صورت گرفته توسط محققین مرکز تحقیقات کشاورزی استان کرمان در ایستگاه تحقیقاتی مذکور روی رقم هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ و همچنین مطالعات دیگر (Ebrahimi *et al.*, 2015) می‌باشد که بین ۸۰۰-۷۰۰ کیلوگرم کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) در هکتار توصیه گردید. انتخاب ارقام مورد مطالعه با توجه به ارقام غالب و رایج در استان کرمان صورت گرفت. حدود ۹۰ درصد سطح زیر کشت ذرت در استان کرمان مربوط به هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ بوده و حدود ۵ درصد مربوط به رقم ماکسیما و مابقی مربوط به سایر هیبریدهاست. رقم ماکسیما سال ۱۳۸۵ معرفی شده و سطح زیر کشت آن رو به افزایش است. همچنین به دلیل ذخیره‌ی ژنتیکی غنی‌تر نسبت به سینگل-کراس ۷۰۴، مقاومت بالاتری نسبت به تنش‌ها و بیماری‌ها از خود نشان داده اما عملکرد پایین‌تری دارد (Zsubori *et al.*, 2013). رقم ماکسیما (MV 524 Maxima) متعلق به گروه هیبریدهای FAO 580 و متوسطرس بوده (Zsubori *et al.*, 2013) و از تلاقی اینبردلاین MO17 به‌عنوان والد پدری و سینگل‌کراس ۵۲۴ به‌عنوان والد مادری تولید می‌شود.

عملیات زراعی

اولین آبیاری سه روز قبل از کاشت انجام شد. در هر کدام از سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ کاشت بذور به روش نم‌کاری (هیرم‌کاری) در تاریخ سیزدهم اردیبهشت ماه به‌صورت دستی انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۳۱/۵ متر مربع شامل هفت ردیف کاشت به طول شش متر و فاصله‌ی بین ردیف ۰/۷۵ متر بود. به منظور دستیابی به تراکم ۷/۵ بوته در متر مربع، فاصله بوته روی ردیف‌های کاشت معادل ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به منظور اطمینان از حصول تراکم فوق، در هر کپه سه بذر کاشته و سپس در مرحله سه تا چهار برگی نسبت به تنک‌کاری مزرعه اقدام گردید.

عملیات کوددهی در هر سال همزمان با کاشت به صورت دستی با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم کود سوپرفسفات تریپل (TSP, 45% P_2O_5) به‌عنوان منبع فسفر و ۱۰۰ کیلوگرم کود سولوپتاس (SOP, 51% K_2O) به‌عنوان منبع پتاسیم انجام شد. نحوه کاربرد کودهای مذکور به‌صورت شیاری و با فاصله ۴-۳ سانتی‌متری پایین‌تر از عمق کاشت بذر، همزمان با کاشت در زیر خاک بود. مجموع کود اوره تعیین شده برای هر واحد آزمایشی به سه قسمت تقسیم شده به طوری که یک-سوم آن در هنگام سبز کرد کامل مزرعه[1]، یک- سوم در هنگام ظهور گل تاجی[2] و یک- سوم باقی‌مانده همزمان با ابریشم‌دهی[3] گیاه به کرت‌ها اضافه شد (Gungula *et al.*, 2003).

طی عملیات داشت، مبارزه دستی با تمامی علف‌های هرز مزرعه در چندین مرحله صورت گرفته و سایر اقدامات مانند آبیاری و مبارزه با آفات و بیماری‌های احتمالی در بهترین سطح خود انجام شد؛ به گونه‌ای که به استثنای محدودیت نیتروژن در برخی واحدهای آزمایشی، هیچ‌گونه تنش قابل کنترل دیگری در مزرعه حاکم نباشد. آبیاری مزرعه به روش غرقابی انجام شد؛ بنابراین، هر زمان که ۳۵ درصد رطوبت قابل دسترس خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر تخلیه می‌شد، آبیاری صورت می‌گرفت. در هر نوبت آبیاری رطوبت خاک تا عمق ۸۰ سانتی‌متری به نقطه ظرفیت مزرعه برگردانده شد. مقدار کمبود رطوبت خاک از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$SMD_{\text{شاهد}} = (\Theta_{FC} - \Theta s) \times Dr \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، SMD مقدار کمبود رطوبت بر اساس میلی‌متر، Θ_{FC} مقدار رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه، (۱۵/۵) و Θs

1- Emergence
2- Tasseling
3- Silking

میزان رطوبت حجمی خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر قبل از آبیاری و Dr عمق موثر ریشه ذرت (۸۰ سانتی‌متر) است (FAO, 2008).

از طرف دیگر، مقدار آب آبیاری برای هر کرت در تیمار شاهد از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$I = SMD \times A \quad (۲)$$

که I مقدار آب آبیاری بر اساس میلی‌متر، SMD مقدار کمبود رطوبت (میلی‌متر) محاسبه شده در رابطه و A سطح کرت (متر مربع) است. برای جبران هر میلی‌متر کمبود رطوبت در متر مربع، یک لیتر آب استفاده شد. با استفاده از کنتور میزان آب مورد نیاز به‌صورت غرقابی به کرت‌ها داده شد. اندازه‌گیری‌ها و نمونه‌برداری‌ها به‌طور کلی اندازه گیری‌های مربوط به آزمایش حاضر به سه بخش کلی پارامترهای خاک، اقلیم (آب و هوایی) و گیاه تقسیم می‌شوند.

نمونه‌برداری خاک

نمونه‌گیری از خاک به روش مرکب انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین، چندین نمونه تصادفی از سه لایه ۱۵-۰، ۳۰-۱۵ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متری خاک گرفته شد و پس از مخلوط کردن نمونه‌های مربوط به هر لایه با یکدیگر، سه نمونه (یک نمونه همگن از هر لایه خاک) به آزمایشگاه ارسال گردید. برخی از صفات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی شامل بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، وزن مخصوص ظاهری، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، میزان کربن آلی، هدایت الکتریکی (EC)، غلظت نیتروژن معدنی به تفکیک نیترات و آمونیوم، فسفر و پتاسیم اندازه‌گیری شد. خاک مزرعه از نوع شن- لومی بوده و سایر اطلاعات مربوط به آن در جدول ۱ آورده شده است. قابل ذکر است که مزرعه مورد نظر دو سال قبل از انجام آزمایش به‌صورت آیش بود.

جدول ۱- خصوصیات خاک در ایستگاه تحقیقاتی شهید زنده‌روح کرمان در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤

Table 1- Soil characteristics of Shahid Zande Rouh research station in Kerman in 2014 and 2015.

خصوصیات Charectristics	عمق خاک Soil depth(cm)					
	0-15		15-30		30-60	
	سال ۱۳۹۴ (2015)	سال ۱۳۹۳ (2014)	سال ۱۳۹۴ (2015)	سال ۱۳۹۳ (2014)	سال ۱۳۹۴ (2015)	سال ۱۳۹۳ (2014)
Sand (%) شن (درصد)	86	86	84	84	78	78
Silt (%) سیلت (درصد)	8	8	10	10	16	16
Clay (%) رس (درصد)	6	6	6	6	6	6
Bulk density وزن مخصوص ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	1.50	1.52	1.60	1.62	1.39	1.4
pH اسیدیته	8	8	7.8	7.9	7.8	7.9
EC ($dS\ m^{-1}$) هدایت الکتریکی	1.1	1.2	2	1.9	1.9	2
Organic carbon (%) کربن آلی	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Nitrate ($mg\ L^{-1}$) نیترات	72.2	73.1	80	79.4	8.4	8.2
Ammonium آمونیوم ($mg\ L^{-1}$)	2.79	2.76	2.20	2.26	2.11	2.13
P (ppm) فسفر قابل جذب	10	10	4	4	4	4
K (ppm) پتاسیم قابل جذب	200	200	178	180	119	120

داده‌های اقلیمی (آب و هوایی)

داده‌های اقلیمی مورد نیاز متشکل از درجه‌حرارت‌های بیشینه و کمینه، طول روز، تعداد ساعات آفتابی و میزان بارندگی بوده که از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرستان کرمان واقع در ۵ کیلومتری محل انجام آزمایش جمع‌آوری و آماده‌سازی شد (دوره رشد گیاه: ۱۳ اردیبهشت تا ۲۹ شهریور). از آن‌جایی که به‌طور معمول شدت تشعشع روزانه در ایستگاه‌های سینوپتیک در کشور به‌طور منظم جمع‌آوری نمی‌شود، برآورد مقدار این متغیر بر اساس طول ساعات آفتابی و با استفاده از ضرایب غیر خطی آنگستروم صورت گرفت (Prescott, 1940). جهت بررسی داده‌های گمشده کنترل نهایی داده‌های اقلیمی با استفاده از نرم‌افزار ودرمن[1] انجام شد (Hoogenboom *et al.*, 2021). اطلاعات مربوط به داده‌های آب و هوایی در جدول ۲ آورده شده است.

1- Weatherman

جدول ۲- میانگین مقادیر ماهیانه‌ی دمای بیشینه هوا (درجه سانتی‌گراد)، دمای کمینه هوا (درجه سانتی‌گراد)، دمای متوسط هوا (درجه سانتی‌گراد)، تابش خورشیدی (مگاژول بر متر مربع در روز) و متوسط بارش (میلی‌متر) برای ماه‌های اردیبهشت تا مهر در کرمان طی سال‌های ۱۳۹۳ (۲۰۱٤) و ۱۳۹٤ (۲۰۱۵) (دوره رشد گیاه: ۱۳ اردیبهشت تا ۲۹ شهریور)

Table 2- Mean monthly values of maximum and minimum temperature and mean temperature, solar radiation and precipitation for the months of May to October in Kerman during 2014 and 2015 (crop growth period: May 3 to September 20)

ماه Month	متوسط بارش Mean precipitation (mm)	تابش خورشیدی Solar ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) radiation	دمای متوسط Mean temperature (^oC)	متوسط دمای کمینه Mean minimum temperature (^oC)	متوسط دمای بیشینه Mean maximum temperature (^oC)
۱۳۹۳ (2014)					
اردیبهشت May	0	25.666	22.1	13	29.5
خرداد June	0	28.622	27.4	16.5	35.7
تیر July	0	29.099	28.6	17.5	36.8
مرداد August	0	27.473	25.8	14.8	34.9
شهریور September	0	24.746	23.3	12.6	33.9
مهر October	0	20.020	17.7	8.1	27.4
میانگین Mean	0	25.941	24.2	13.8	33
۱۳۹٤ (2015)					
اردیبهشت May	0.1	25.742	22.5	13.5	31.4
خرداد June	0	31.144	26.3	16.8	35.8
تیر July	0	27.500	26.7	18.7	34.7
مرداد August	0	27.711	24.7	14.9	34.5
شهریور September	0	23.835	20.7	11.2	30.3
مهر October	0	19.400	19	9.3	28.6
میانگین Mean	0	25.888	23.3	14.1	32.6

به‌طور کلی وضعیت تقریبا مشابهی از نظر شرایط آب و هوایی طی فصل رشد گیاه در بین دو سال آزمایش وجود داشت. میانگین دمای بیشینه طی فصل رشد گیاه در سال ۱۳۹۳ حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سال ۱۳۹۴ بود؛ در حالی که مقدار دمای کمینه به‌طور متوسط حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد کمتر بود. دمای متوسط روزانه در سال ۱۳۹۳ حدود ۰/۹ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سال ۱۳۹۴ بود (۲۴/۲ در مقایسه با ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد). در هیچ‌کدام از سال‌ها هیچ‌گونه بارشی در طی دوره رشد ذرت ثبت نشد.

اندازه‌گیری‌های گیاهی

اندازه‌گیری‌های مربوط به ذرت شامل ثبت تاریخ وقوع مراحل اصلی فنولوژیک (سبز شدن، ظهور گل تاجی، ابریشم‌دهی و بلوغ فیزیولوژیک) و اندازه‌گیری سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی به تفکیک اندام، ارتفاع بوته و تعداد برگ بودند. بدین منظور نمونه‌برداری‌های تخریبی از دو هفته پس از کاشت آغاز شده و تا انتهای فصل رشد ادامه یافت. در هر مرحله‌ی نمونه‌برداری، تعداد چهار بوته ذرت از سطح خاک قطع شده و صفات مربوط به سطح برگ و وزن اندام‌ها اندازه‌گیری شد.

به منظور تعیین زمان وقوع هر یک از مراحل اصلی فنولوژیک، تعداد ۱۰ بوته (بوته‌های شاخص) در ابتدای فصل در هر کرت علامت‌گذاری شده و تاریخ وقوع مراحل فنولوژیک مورد نظر در آن‌ها ثبت گردید. ملاک ثبت یک مرحله فنولوژیک معین، ورود حداقل ۵۰٪ گیاهان علامت‌گذاری شده در هر کرت به مرحله فنولوژیک مورد نظر بود. با توجه به وجود اختلاف در زمان رسیدگی ارقام، پس از حصول اطمینان از بلوغ فیزیولوژیک در هر کدام از رقم‌ها، نسبت به برداشت هر رقم و اندازه‌گیری‌های نهایی اقدام گردید.

در برداشت نهایی سطحی معادل پنج متر مربع از دو ردیف کاشت میانی از هر کرت انتخاب شده و به‌طور کامل از سطح زمین برداشت شد. از میان بوته‌های برداشت شده، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی مانند وزن خشک دانه و برگ اندازه‌گیری شدند.

سپس تعداد بوته و تعداد بلال در سطح پنج متر مربع شمارش شده و پس از کاهش رطوبت دانه به ۱۴٪، تعداد دانه، عملکرد دانه و عملکرد بیوماس در این سطح اندازه‌گیری شد. تمامی مواد گیاهی حاصل از نمونه‌گیری‌های تخریبی در طول فصل رشد و برداشت نهایی در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد آون خشک و سپس توزین شدند.

شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت با استفاده از مدل APSIM (version, 7.8)

در آزمایش حاضر پس از آماده‌سازی داده‌های اقلیمی، خاکی، گیاهی و مدیریتی به‌عنوان ورودی‌های مدل APSIM، رشد و عملکرد دو رقم ذرت دانه‌ای تحت تاثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن توسط مدل برای سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ شبیه‌سازی شد.

اولین مرحله در شبیه‌سازی، ایجاد یک فایل مربوط به داده‌های هواشناسی (met.) شامل مقادیر روزانه متغیرهایی مانند بارش، حداقل دمای روزانه، حداکثر دمای روزانه و تابش خورشیدی بود. مقادیر مربوط به میانگین سالانه‌ی دمای محیط (TAV) و دامنه‌ی تغییرات دمای ماهیانه در طول سال (AMP) بر اساس مقادیر روزانه‌ی دماهای کمینه و بیشینه محاسبه شدند. مقادیر محاسبه شده برای TAV و AMP به کمک نرم‌افزار tav_amp وارد فایل هواشناسی (met file) شدند. داده‌های خام در فایل هواشناسی بر اساس ایستگاه هواشناسی مورد استفاده (نام ایستگاه)، عرض جغرافیایی، سال(ها)، روز(ها)، بارندگی (میلی‌متر)، کمینه و بیشینه‌ی دما (درجه سانتی‌گراد)، تابش خورشیدی (مگاژول بر متر مربع)، TAV و AMP مرتب شدند.

زیرمدل[1] خاک در مدل APSIM نیازمند برخی پارامترهای خاکی مانند وزن مخصوص ظاهری (BD)، هواخشک (Air-Dry)، نقطه‌ی اشباع خاک (SAT)، درصد کربن آلی (%OC)، حد بالای زهکشی (حد بالای آب قابل دسترس برای گیاه) (DUL)، حد پایین زهکشی (حد پایین آب قابل دسترس برای گیاه) (LL15) و اسیدیته خاک (pH) برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد ذرت می‌باشد. برای محاسبه و کالیبراسیون برخی پارامترهای خاکی از نرم‌افزارهای SPAW Hydrology و Soil Water Characteristics استفاده شد. مقادیر کالیبره شده برای پارامترهای یاد شده در رابطه با خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۳ آورده شده است.

به منظور تعیین پارامترهای گیاهی (ضرایب ژنتیکی) مربوط به هر کدام از هیبریدهای مورد استفاده در این آزمایش، از نتایج حاصل از آزمایش مزرعه‌ای در سال اول (۱۳۹۳) استفاده شد. بدین ترتیب برای دستیابی به ضرایب ژنتیکی مربوط به دو رقم سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما به‌ترتیب از ارقام پیش‌فرض Pioneer_3237 و Pioneer_3527 استفاده شد که مقادیر آن‌ها در جدول ۴ آورده شده است.

1- Module

زیرمدل مدیریتی[2] در مدل APSIM به منظور توصیف عملیات مدیریتی صورت گرفته در مزرعه قبل از انجام شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این قسمت اطلاعاتی مانند تاریخ کاشت، تراکم کاشت، عمق و فاصله ردیف‌های کاشت و زمان و مقدار مصرف کود به مدل داده می‌شود.

در نهایت رشد ذرت بر مبنای واحد روزانه در پاسخ به شرایط اقلیمی، خاکی و مقادیر نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) بسته به ضرایب گیاهی (ژنتیکی) برای هر رقم شبیه‌سازی گردید.

واسنجی (کالیبراسیون[3]) و اعتبارسنجی[4] مدل APSIM

به‌منظور واسنجی (کالیبراسیون) مدل APSIM از داده‌های حاصل از آزمایش مزرعه‌ای در سال اول (۱۳۹۳) (شامل مقادیر مربوط به تاریخ گلدهی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه) استفاده شد.

واسنجی مدل در سه مرحله انجام شد. نخست، تعدادی از پارامترهای گیاهی بر اساس داده‌های مشاهده شده آزمایش مزرعه‌ای تغییر داده شدند. این پارامترها با اجرای مکرر مدل تخمین زده شدند تا اختلاف داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده کاهش یابد (جدول ۴). در مرحله دوم، این پارامترهای تغییریافته برای شبیه‌سازی رشد گیاه ذرت با توجه به در دسترس بودن داده‌های آب و هوایی روزانه مورد استفاده قرار گرفتند. شبیه‌سازی‌ها از تاریخ کاشت تا رسیدگی ادامه یافت. داده‌های حاصل از دومین سال آزمایش (۱۳۹۴) برای اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه براین، از داده‌های دو آزمایش مزرعه‌ای دیگر (Choukan, 2013; Rafiee Manesh *et al.*, 2010) که شامل تیمارهای مختلف کود نیتروژن و رقم بود جهت اعتبارسنجی عملکرد استفاده شد.

شاخص‌های ارزیابی مدل

به‌منظور ارزیابی کارآیی مدل APSIM در پیش‌بینی فنولوژی، صفات رشدی و عملکرد دانه هیبریدهای ذرت دانه‌ای (سینگل‌کراس و ماکسیما) تحت شرایط متفاوت فراهمی نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) از برخی معیارهای آماری استفاده شد. از آن‌جایی‌که هر کدام از معیارهای آماری معمولا جنبه‌ی خاصی از کارکرد مدل را مورد بررسی قرار داده و تقریبا هیچ‌کدام از آن‌ها به‌تنهایی قادر به انجام یک ارزیابی جامع و کلی از مدل نمی‌باشند (Liu *et al.*, 2011)، لذا برخی از مهم‌ترین شاخص‌های آماری به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفتند (روابط ۳ تا ۷) (Wilks, 2011; Willmott *et al.*, 2012).

2- Manager module
3- Calibration
4- Evaluation

جدول ۳- کالیبراسیون برخی پارامترهای خاکی مورد نیاز مدل APSIM برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد هیبریدهای ذرت تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن

Table 3- Calibration of some soil parameters required by APSIM model to simulate the growth and yield of maize hybrids under different amounts of nitrogen.

	مقادیر تغییر یافته (Modified values)	مقادیر اولیه (Default values)	مقادیر تغییریافته (Modified values)	مقادیر اولیه (Default values)	مقادیر تغییریافته (Modified values)	مقادیر اولیه (Default values)
عمق لایه‌ی خاک (cm) Soil depth	30-60		15-30		0-15	
وزن مخصوص ظاهری (BD) (g cm^{-3})	1.40	1.42	1.62	1.60	1.52	1.50
هوا خشک (Air-Dry) (mm mm^{-1})	0.29	0.31	0.26	0.24	0.15	0.16
حد پایین زهکشی (حد پایین آب قابل دسترس برای گیاه) (mm mm^{-1}) (LL15)	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29
حد بالای زهکشی (حد بالای آب قابل دسترس برای گیاه) (mm mm^{-1}) (DUL)	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45
ضریب زهکشی (SWCON)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
نقطه‌ی اشباع (SAT) (mm mm^{-1})	0.59	0.56	0.58	0.57	0.59	0.6

جدول ٤- مقادیر ضرایب ژنتیکی مورد استفاده برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤

Table 4- The values of the genetic coefficients used to simulate the growth and yield of the two hybrids KSC and Maxima

ضرایب ژنتیکی **Genetic coefficients**	واحد **Unit**	سینگل‌کراس ۷۰۴ **KSC 704**	ماکسیما **Maxima**
حداکثر تعداد دانه در گیاه (head_grain_no_max)	-	850	750
نیاز دمایی تجمعی (سبز شدن تا پایان مرحله جوانی) (tt_emerg_to_endjuv)	درجه روز رشد(GDD)	270	240
نیاز دمایی تجمعی (انتهای مرحله جوانی تا گل‌آغازی) (estt_endjuv_to_init)	درجه روز رشد(GDD)	20	20
نیاز دمایی تجمعی (گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیک) (tt_flower_to_maturity)	درجه روز رشد (GDD)	980	980
نیاز دمایی تجمعی (ظهور برگ پرچم تا گلدهی) (tt_flag_to_flower)	درجه روز رشد (GDD)	50	50
نیاز دمایی تجمعی (گلدهی تا شروع پر شدن دانه) (tt_flower_to_start_grain)	درجه روز رشد (GDD)	120	120

جذر میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE[1]) (روابط ۳ و ۴):

$$nRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (۳)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(Pi - Oi)^2} \quad (۴)$$

که در آن، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، N: تعداد داده‌های مشاهده شده (با در نظر گرفتن تکرار در آزمایش)، Pi: داده شبیه‌سازی شده، Oi: داده مشاهده شده، $\bar{O}$: میانگین داده‌های مشاهده شده می‌باشند.

شاخص RMSE میانگین اختلافات موجود بین داده‌های شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده را با واحدی یکسان اندازه‌گیری می‌کند؛ در حالی که شاخص nRMSE با حذف واحدها امکان مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل برای متغیرهای دارای واحدهای متفاوت را فراهم می‌سازد. مقادیر شاخص nRMSE در بازه‌های ۱۰-۰، ۲۰-۱۰ و ۳۰-۲۰ به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی وضعیت ایده‌آل (عالی)، مناسب (خوب) و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰ درصد بیانگر عدم کارا بودن مدل می‌باشد.

1- Normalized root mean square error

ضریب باقیمانده (CRM) (رابطه ۵):

$$CRM = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} Pi}{\sum_{i=1}^{n} Oi} \quad (۵)$$

که در آن، Pi و Oi به‌ترتیب داده شبیه‌سازی شده و داده مشاهده شده می‌باشند.

مقادیر منفی آماره‌ی CRM نشان‌دهنده‌ی تمایل مدل (در حالت کلی) برای بیش‌برآورد[1] و مقادیر مثبت آن حاکی از تمایل مدل برای کم‌برآورد[2] در مقایسه با مقادیر مشاهده شده می‌باشد (Moriasi *et al.*, 2007).

شاخص توافق ویلموت (d-index) (رابطه ۶)

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Pi-Oi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|\acute{P}i|-|\acute{O}i|)^2} \quad (۶)$$

$$|\acute{P}i| = |Pi - \bar{O}|$$
$$|\acute{O}i| = |Oi - \bar{O}|$$

که در آن، Pi، Oi و $\bar{O}$ به‌ترتیب داده شبیه‌سازی شده، داده مشاهده شده و میانگین داده‌های مشاهده شده می‌باشند.

مقدار شاخص توافق ویلموت بین ۱-۰ متغیر است که میزان انطباق میان داده‌های مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. نزدیک بودن مقدار این شاخص به ۱ بیانگر نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر واقعی و در حقیقت کارکرد بهتر مدل است.

ضریب تبیین[3] (R^2) (رابطه ۷):

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(pi-\bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(Oi-\bar{O})^2} \quad (۷)$$

از ضریب تبیین می‌توان به‌عنوان بخشی از واریانس (پراکندگی) موجود در میان داده‌های مشاهده شده که قابل تعمیم به واریانس موجود در میان داده‌های شبیه‌سازی شده می‌باشند یاد کرد که با استفاده از رگرسیون توصیف و محاسبه می‌گردد (این شاخص نسبت پراکندگی بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده را نشان می‌دهد) (Mendenhall *et al.*, 1996). در صورت وجود تطابق کامل رگرسیونی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، مقدار آماره‌ی R^2 برابر با ۱ بوده و با کاهش مقدار این شاخص، درصد کمتری از تغییرات داده‌ها توسط خط رگرسیونی توجیه می‌شود. در صورت عدم وجود هیچ‌گونه رابطه‌ی رگرسیونی، R^2=۰ خواهد بود. مقایسات میانگین‌ها بر مبنای آزمون دانکن (۵٪) با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم شکل‌ها در نرم‌افزار اکسل انجام شد.

نتایج و بحث

فنولوژی

به‌طور کلی نکته‌ی بسیار مهم و قابل‌توجه در رابطه پیش‌بینی فنولوژی گیاه (تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک) توسط مدل، عدم حساسیت مدل APSIM در پیش‌بینی فنولوژی گیاه نسبت به مقادیر مختلف کود نیتروژن بود (جدول ۵). در واقع تغییر در مقدار کود نیتروژن، تغییری در تاریخ پیش‌بینی شده برای گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک گیاه توسط مدل ایجاد نکرد و خروجی مدل برای هر کدام از هیبریدها تحت تمامی تیمارهای کودی (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) در رابطه با صفات مذکور در هر سال از آزمایش عدد یکسانی بود (به‌ترتیب ۶۶ و ۶۴ روز پس از کاشت در سال ۱۳۹۴؛ مقادیر متناظر در رابطه با تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک گیاه برابر با ۱۲۳ و ۱۲۱ روز پس از کاشت در سال ۱۳۹۴ بود)، در حالی که آزمایش مزرعه‌ای حاکی از تاثیر قابل‌توجه تنش نیتروژن بر وقوع تاخیر در مراحل فنولوژیک گیاه به‌ویژه زمان گلدهی بود (جدول ۵). از این‌رو یکی از یافته‌های مهم تحقیق حاضر، شناسایی عدم حساسیت مدل APSIM نسبت به مقادیر مختلف نیتروژن در پیش‌بینی فنولوژی گیاه بود که بدون تردید نیاز مدل نسبت به اصلاح و تقویت آن در این بخش را آشکار می‌سازد. با این وجود، مدل توانست فنولوژی هر دو هیبرید مورد بررسی را با دقت بالایی (به‌ویژه تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک) در مجموع مقادیر کودی (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) شبیه‌سازی نماید. به طور متوسط مقدار جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) در پیش‌بینی تاریخ گلدهی هیبریدها کمتر از ۱۰٪ و برای تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک کمتر از ۵٪ بود (جدول ۵ و ۶). اختلاف نسبی موجود بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در رابطه با فنولوژی گیاه ناشی از کم‌برآورد جزئی مدل به‌ویژه در مرحله‌ی اعتبارسنجی (۱۳۹۴) بود. مقادیر ضریب باقی‌مانده برای تاریخ گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک به‌طور متوسط برای هر دو هیبرید برابر با ۰/۱۷۵ و ۰/۰۶ بود (جدول ۵ و ۶). مقدار شاخص توافق ویلموت (d) برای شبیه‌سازی فنولوژی طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی به طور میانگین حدود ۰/۴ بود که حاکی از وجود انطباق متوسط میان داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهده شده در رابطه با تاریخ‌های گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک گیاه بود (جدول ۵ و ۶).

آرکانتولیس و همکاران (Archontoulis *et al.*, 2003) از مدل APSIM-Maize برای شبیه‌سازی تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن بر فنولوژی چهار هیبرید ذرت در غرب ایالات متحده استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی فنولوژی گیاه در مقادیر مختلف نیتروژن در رابطه با اکثر هیبریدها به میزان کمتر از دو روز اختلاف بود (nRMSE=۱/۵۲ روز). مطالعه دیگری (Seyoum *et al.*, 2018) در آفریقا در ارزیابی مدل APSIM-Maize در چهار منطقه اتیوپی نشان داد که مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی روز تا گلدهی و رسیدگی (nRMSE=٪۴) دارد.

1- Overestimate
2- Underestimate
3- Coefficient of determination

جدول ٥- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل APSIM برای تاریخ گلدهی هیبریدهای ذرت (سینگل‌کراس ۷۰٤ و ماکسیما) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) طی مرحله اعتبارسنجی (۱۳۹٤) مدل APSIM

Table 5- Observed and simulated values and evaluation parameters of APSIM model for flowering date of maize hybrids (KSC 704 and Maxima) under different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during evaluation (1394) stage of APSIM model

هیبرید (Hybrid)	اعتبارسنجی (۱۳۹٤) Evaluation (2015)				اعتبارسنجی (۱۳۹٤) Evaluation (2015)	
	D-index (-)	CRM (-)	nRMSE (%)		شبیه‌سازی‌شده Simulated	مشاهده‌شده Observed
سینگل‌کراس ۷۰۴ (KSC 704)	0.33	0.185	11.17	N0 kg ha^{-1}	66	87
				N92 kg ha^{-1}	66	80
				N368 kg ha^{-1}	66	76
ماکسیما (Maxima)	0.34	0.165	9.95	N0 kg ha^{-1}	64	82
				N92 kg ha^{-1}	64	74
				N368 kg ha^{-1}	64	74

nRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال، CRM: ضریب باقی‌مانده، D-index: شاخص توافق ویلموت

nRMSE: Normalized root mean square error, CRM: Residual coefficient, D-index: Wilmot agreement index

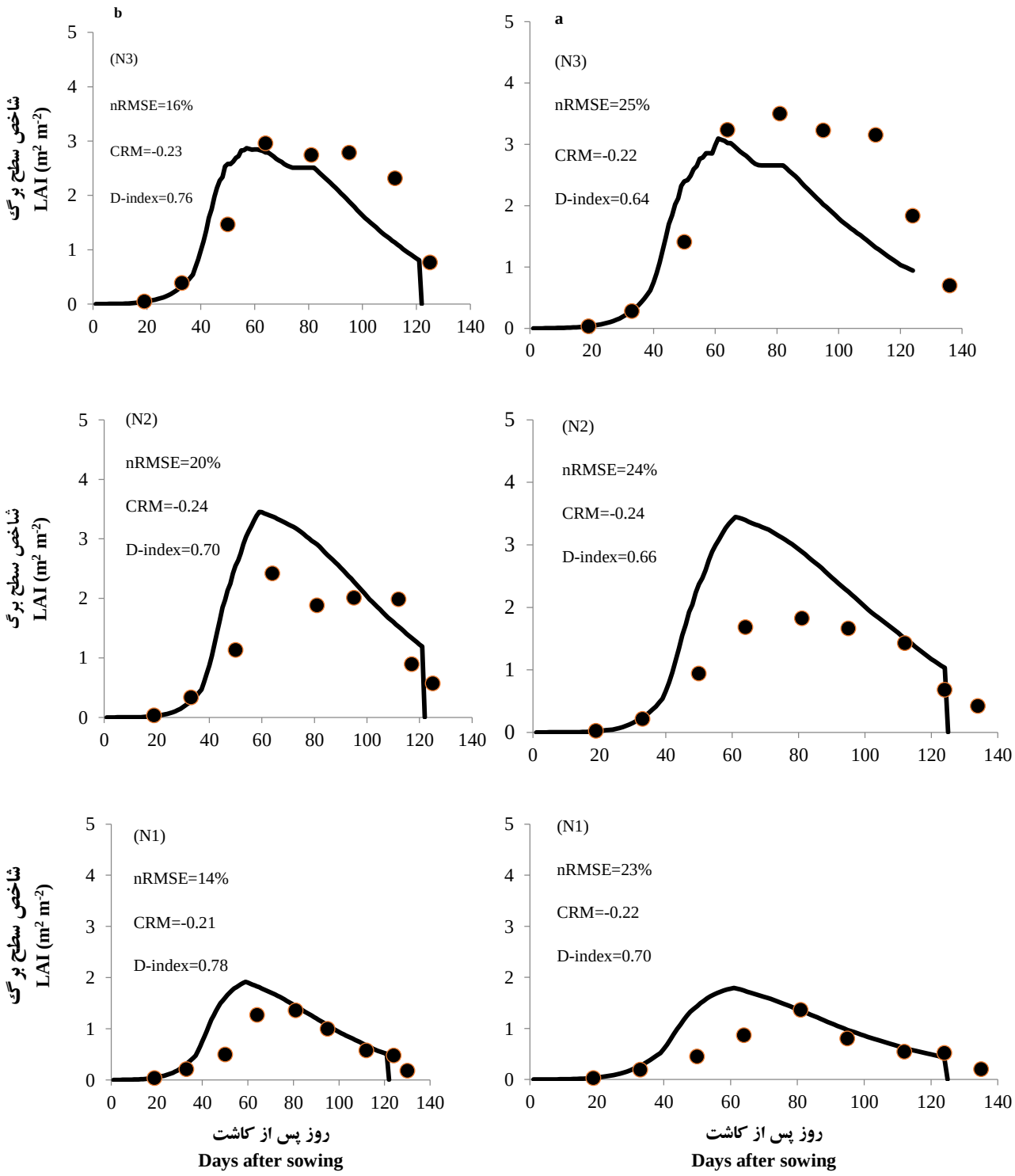
جدول ٦- مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده و پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل APSIM برای رسیدگی فیزیولوژیک هیبریدهای ذرت (سینگل‌کراس ۷۰٤ و ماکسیما) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) طی مرحله اعتبارسنجی (۱۳۹٤) مدل APSIM

Table 6- Observed and simulated values and evaluation parameters of APSIM model for physiological maturity of maize hybrids (KSC 704 and Maxima) under different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during evaluation (1394) stage of APSIM model

هیبرید (Hybrid)	اعتبارسنجی (۱۳۹٤) Evaluation(2015)				اعتبارسنجی (۱۳۹٤) Evaluation (2015)	
	D-index (-)	CRM (-)	nRMSE (%)		شبیه‌سازی شده (Simulated)	مشاهده شده (Observed)
سینگل‌کراس ۷۰۴ (KSC 704)	0.09	0.08	5.14	N0 kg ha^{-1}	123	135
				N92 kg ha^{-1}	123	134
				N368 kg ha^{-1}	123	136
ماکسیما (Maxima)	0.4	0.04	2.79	N0 kg ha^{-1}	121	130
				N92 kg ha^{-1}	121	125
				N368 kg ha^{-1}	121	125

nRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال، CRM: ضریب باقی‌مانده، D-index: شاخص توافق ویلموت

nRMSE: normalized root mean square error, CRM: residual coefficient, D-index: Wilmot agreement index



شکل ۱- ارزیابی شاخص سطح برگ مشاهده شده (نقطه) و شبیه‌سازی شده (خط) در هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ (a) و ماکسیما (b) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (N1، N2 و N3 به‌ترتیب ۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) با استفاده از مدل APSIM در سال ۱۳۹٤

Figure 1- Evaluation of observed LAI (point) and simulated (line) of KSC 704 hybrid under different amounts of nitrogen (N1, N2 and N3 0, 92 and 368 kg ha^{-1}, respectively) using APSIM model in 2015

جدول ۷- پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل APSIM در پیش‌بینی شاخص سطح برگ بیشینه هیبریدهای ذرت (سینگل‌کراس ۷۰٤ و ماکسیما) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) در سال ۱۳۹٤

Table 7- Performance evaluation parameters of APSIM model in simulating maximum LAI of maize hybrids (KSC 704 and Maxima) under the different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during 2015

هیبرید (Hybrid)	اعتبارسنجی (۱۳۹٤)Evaluation (2015)		
	D-index (-)	CRM (-)	nRMSE (%)
سینگل‌کراس ۷۰۴(KSC 704)	0.66	-0.24	25.87
ماکسیما (Maxima)	0.73	-0.22	17.5

nRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال، CRM: ضریب باقی‌مانده، D-index: شاخص توافق ویلموت

nRMSE: normalized root mean square error, CRM: residual coefficient, D-index: Wilmot agreement index

شاخص سطح برگ (LAI)

شبیه‌سازی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد برای دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما نسبتا خوب نبود (شکل ۱). پیش‌بینی شاخص سطح برگ در طول فصل رشد گیاه توسط مدل در سال دوم آزمایش (اعتبارسنجی) ضعیف بود (شکل ۱). در مجموع، اختلاف چندانی بین مقادیر مخلف نیتروژن در رابطه با دقت مدل در شبیه‌سازی تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد دو هیبرید مورد بررسی مشاهده نشد.

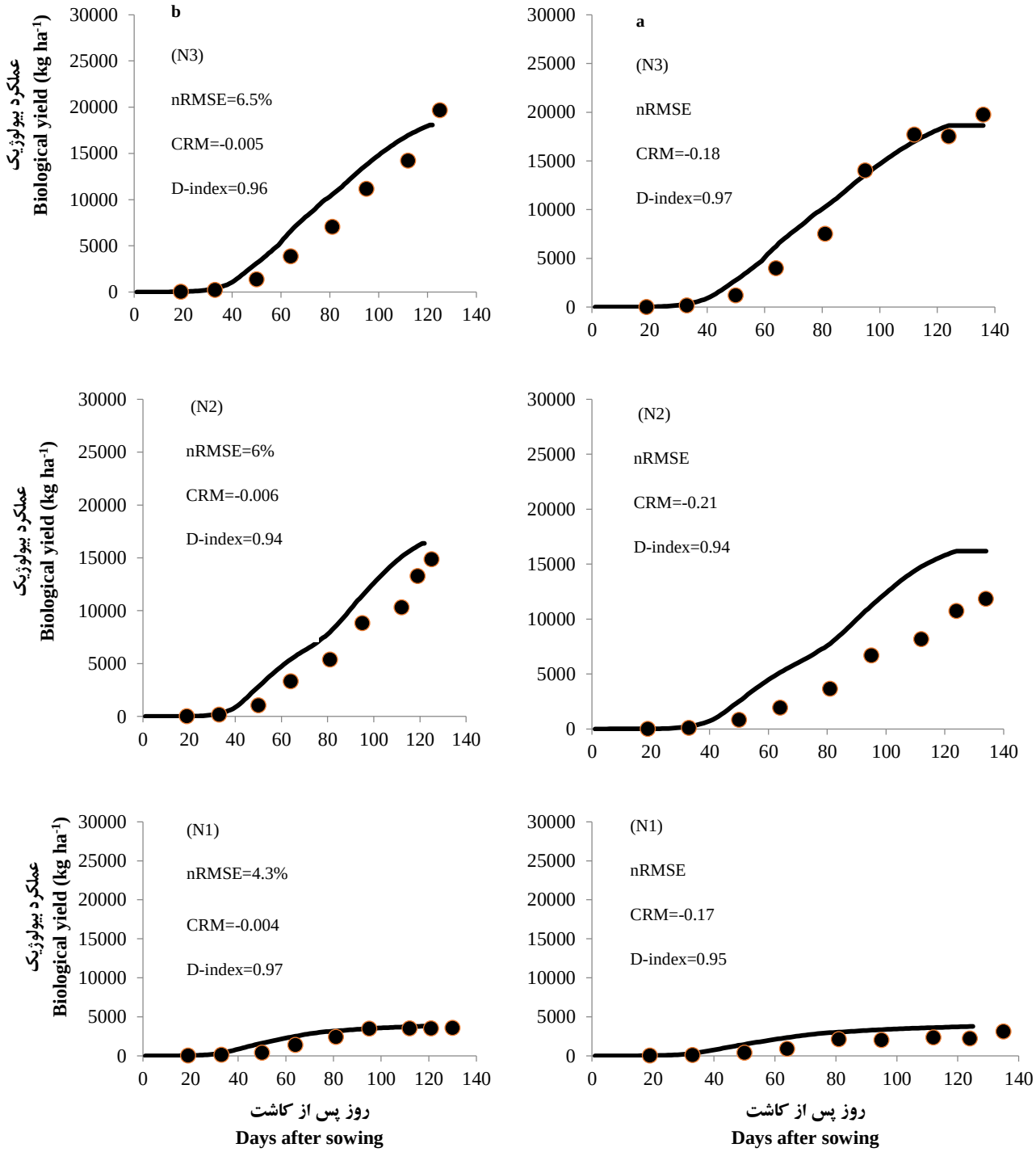
آرکانتولیس و همکاران (Archontoulis *et al.*, 2003) در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ چهار رقم ذرت در مناطق شرقی آمریکا با استفاده از مدل APSIM-Maize نشان دادند که مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ($۰/۶۰m^2\ m^{-2}$ =nRMSE) دارد. در مرحله‌ی اعتبارسنجی، دقت مدل در شبیه‌سازی مقدار شاخص سطح برگ بیشینه‌ی تمامی هیبریدها به شدت کاهش یافت (مقادیر ۲۵/۸ و ۱۷/۵ درصد nRMSE به‌ترتیب برای هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما) که ناشی از بیش‌برآورد بالای مدل در این باره بود (جدول ۷). علت این امر می‌تواند عدم دقت در اندازه‌گیری سطح برگ توسط محقق در آزمایشگاه باشد، زیرا ممکن است برگ‌ها زرد و یا تا خورده باشد که این باعث عبور نور از حاشیه برگ‌ها می‌شود. قابلیت پیش‌بینی تغییرات سطح برگ نیز در مدل‌های زراعی دارای اهمیت است که این نتایج با آزمایش Paknejad *et al.*, (2017) همسو است.

عملکرد بیولوژیک

روند تجمع مجموع ماده خشک گیاهی در طول فصل رشد در رابطه با دو هیبرید با دقت بالایی توسط مدل پیش‌بینی شد و فقط در چند تیمار بیش‌برآورد جزئی در طول فصل رشد توسط مدل مشاهده شد (شکل ۲). شبیه‌سازی مقدار بیوماس نهایی برای دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما با دقت بالایی توسط مدل انجام شد. مقدار آماره‌ی nRMSE برای شبیه‌سازی عملکرد بیولوژیک هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما در مرحله‌ی اعتبارسنجی برابر با ۱۳/۹ و ۵/۷ درصد بود (جدول ۸). مقادیر جزئی بیش‌برآورد (CRM=-۰/۱۸ و CRM=-۰/۰۰۵) در مرحله‌ی اعتبارسنجی توسط مدل مشاهده شد. همچنین مقادیر بالای شاخص توافق ویلموت (d) برای این دو هیبرید (۰/۹۵ و ۰/۹۹)، حاکی از عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی میزان عملکرد بیولوژیک بود (جدول ۸).

نمودار یک به یک مربوط به مقایسه‌ی بیوماس نهایی مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با یکدیگر برای هیبریدهای مورد بررسی تحت تاثیر مجموع تیمارهای نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) نشان داد که عملکرد کلی مدل در مجموع تیمارها برای تمامی مقادیر نیتروژن رضایت‌بخش بود و کمترین اختلاف میان داده‌های مشاهده شده با نتایج حاصل از مدل به‌ترتیب مربوط به هیبریدهای ماکسیما (R^2=۰/۸۵) و سینگل‌کراس ۷۰۴ (R^2=۰/۷۲) بود (شکل ۳ الف و ب).

کپونگور (Kpongor, 2007) ضمن استفاده از مدل APSIM (version, 4) برای پیش‌بینی پاسخ عملکرد بیولوژیک سورگوم نسبت به کود نیتروژن و فسفر تحت دو سیستم متفاوت مدیریتی در غنا، قدرت پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک (R^2=۰/۸۶) توسط مدل را خوب ارزیابی کردند. به‌طور مشابهی دلوه و همکاران (Delve *et al.*, 2009) بیان داشتند که مدل APSIM در پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاهان ذرت و لوبیا تحت تاثیر منابع مختلف تامین فسفر (کود شیمیایی و کود مرغی) و مقادیر مختلف آن از اعتبار کافی برخوردار است. سولر و همکاران (Soler *et al.*, 2007) نتیجه‌ی مشابهی در رابطه با کارکرد مدل CERES-Maize در زمینه‌ی شبیه‌سازی مجموع بیوماس تولیدی توسط چهار هیبرید ذرت دانه‌ای با گروه‌های رسیدگی متفاوت گزارش کردند.



شکل ۲- مقایسه وزن خشک مجموع بیوماس گیاهی مشاهده شده (نقطه) و شبیه‌سازی شده (خط) در هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ (a) و ماکسیما (b) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (N1، N2 و N3 به‌ترتیب ۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) با استفاده از مدل APSIM در سال ۱۳۹٤

Figure 2- Evaluation of observed biological yield (point) and simulated (line) of KSC 704 hybrid under different amounts of nitrogen (N1, N2 and N3 0, 92 and 368 kg ha^{-1}, respectively) using APSIM model in 2015

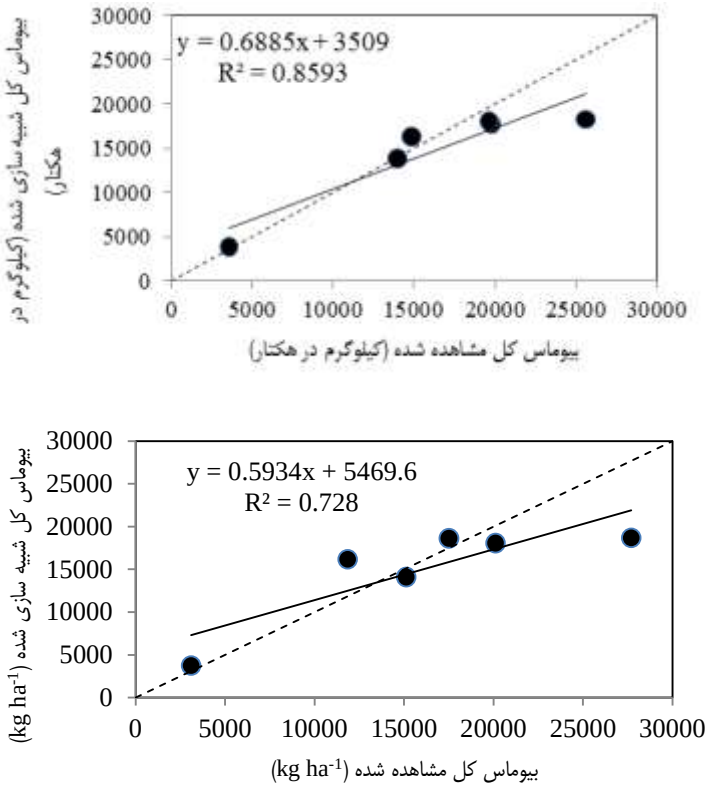
جدول ۸- پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل APSIM در پیش‌بینی عملکرد بیولوژیک هیبریدهای ذرت (سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) طی مراحله اعتبارسنجی (۱۳۹٤)

Table 8- Performance evaluation parameters of APSIM model in simulating biological yield of maize hybrids (KSC 704 and Maxima) under the different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during evaluation (2015) stages.

هیبرید (Hybrid)	اعتبارسنجی (۱۳۹٤)Evaluation (2015)		
	D-index (-)	CRM (-)	nRMSE (%)
سینگل‌کراس ۷۰۴ (KSC 704)	0.95	-0.18	13.95
ماکسیما (Maxima)	0.99	-0.005	5.78

nRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال، CRM: ضریب باقی‌مانده، D-index: شاخص توافق ویلموت

nRMSE: normalized root mean square error, CRM: residual coefficient, D-index: Wilmot agreement index



شکل ۳- مقایسه مجموع بیوماس مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل APSIM برای هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰٤ (الف) و ماکسیما (ب) تحت مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) طی سال ۱۳۹٤ (اعتبارسنجی). خط تو پر، خط ۱:۱ و نقطه‌چین خط رگرسیون است.

Figure 3- Comparison of observed and simulated total biomass using APSIM model for KSC 704 (a) and Maxima (b) hybrids under different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during 2015 (Evaluation) year. Continuous line: 1 to1 line; dashed line: regression line.

عملکرد دانه

مدل APSIM توانست عملکرد دانه‌ی دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما را تحت تاثیر مجموع تیمارهای نیتروژن در مرحله اعتبارسنجی با دقت بالایی پیش‌بینی کند. مقادیر nRMSE برای پیش‌بینی عملکرد دانه هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما در مرحله‌ی اعتبارسنجی برابر با ۱۳/۲۱ و ۱۱/۸۷ درصد بود (جدول ۹). شاخص توافق ویلموت بیانگر وجود اختلاف کمتر میان داده‌های مشاهده شده با داده‌های شبیه‌سازی شده در مجموع تیمارهای نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳۶۸ کیلوگرم در هکتار) در مرحله‌ی اعتبارسنجی (d=۰/۹۷) مدل بود (جدول ۹). همچنین برای ارزیابی مدل از دو آزمایش دیگر علاوه بر آزمایش سال ۱۳۹۴ نیز استفاده شد؛ که مقادیر nRMSE، CRM و شاخص ویلموتس به‌ترتیب ۹ درصد،

۰/۱۱- و ۰/۹۲ بود (شکل ۴). مقدار متوسط ضریب تبیین (R^2)، nRMSE و شاخص ویلموتس برای عملکرد دانه ذرت در آزمایش رحیمی مقدم و همکاران (Rahimi-Moghaddam *et al.*, 2018) به‌ترتیب برابر با ۰/۷۷، ۹/۸ درصد و ۰/۸۴ بود و آن‌ها بیان داشتند که مدل APSIM در پیش‌بینی رشد و عملکرد ذرت تحت تیمارهای مختلف نیتروژن، رقم و آبیاری از اعتبار کافی برخوردار است. کپونگور (Kpongor, 2007) قدرت مدل APSIM (version, 4) در پیش‌بینی عملکرد دانه سورگوم نسبت به کود نیتروژن و فسفر تحت دو سیستم متفاوت مدیریتی در غنا را خوب (R^2=۰/۸۱) ارزیابی کردند.

میائو و همکاران (Miao *et al.*, 2006) ضمن ارزیابی توانایی مدل CERES-Maize در شبیه‌سازی عملکرد دانه برای دو هیبرید ذرت (33G26 و 33J24) تحت پنج مقدار نیتروژن (۰، ۱۱۲، ۱۶۸، ۲۲۴ و ۳۳۶ کیلوگرم در هکتار) دریافتند که به استثنای تیمار بدون کود، در سایر تیمارها مدل از قدرت پیش‌بینی بالایی برخوردار بوده؛ به گونه‌ای که توانست ۹۳ درصد از تغییرات موجود در داده‌های مربوط به عملکرد هیبریدها را توجیه نماید (Error<10%). سولر و همکاران (Soler *et al.*, 2007) نتایج مشابهی گزارش کردند.

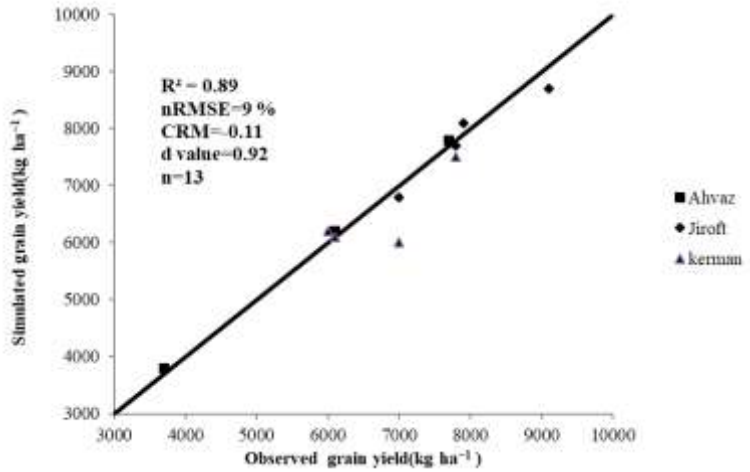
جدول ۹- پارامترهای ارزیابی عملکرد مدل APSIM در پیش‌بینی عملکرد دانه هیبریدهای ذرت (سینگل‌کراس ۷۰٤ و ماکسیما) تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن (۰، ۹۲ و ۳٦۸ کیلوگرم در هکتار) طی مرحله اعتبارسنجی (۱۳۹٤)

Table 9- Performance evaluation parameters of APSIM model in simulating grain yield of maize hybrids (KSC 704 and Maxima) under the different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during evaluation (2015) stage.

هیبرید (Hybrid)	Evaluation (2015)(اعتبارسنجی (۱۳۹٤)		
	D-index (-)	CRM (-)	nRMSE (%)
سینگل‌کراس ۷۰۴ (KSC 704)	0.97	-0.15	13.21
ماکسیما (Maxima)	0.97	0.14	11.87

nRMSE: جذر میانگین مربعات خطای نرمال، CRM: ضریب باقی‌مانده، D-index: شاخص توافق ویلموت

nRMSE: normalized root mean square error, CRM: residual coefficient, D-index: Wilmot agreement index



شکل ٤- مقایسه عملکرد دانه مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل APSIM بر اساس داده‌های حاصل از دو آزمایش مستقل (Choukan, 2013; Rafiee Manesh *et al.*, 2010) برای هیبرید سینگل‌کراس ۷۰٤ و ماکسیما و همچنین آزمایش سال ۱۳۹٤ (اعتبارسنجی) در کرمان

Figure 4- Comparison of observed and simulated grain yield of KSC 704 and Maxima hybrid using independent two set data (Choukan, 2013; Rafiee Manesh *et al.*, 2010) and under different amounts of nitrogen (0, 92 and 368 kg ha^{-1}) during 2015

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل APSIM حاکی از شبیه‌سازی رشد و عملکرد دو هیبرید سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما با دقت بالا بود. قدرت مدل در شبیه‌سازی فنولوژی هر دو هیبرید ذرت بسیار بالا بود اما ضعف اصلی مدل در این قسمت، عدم حساسیت آن نسبت به تاثیر تنش نیتروژن بر فنولوژی گیاه بود. کارکرد کلی مدل در رابطه با پیش‌بینی فنولوژی، عملکرد بیوماس و عملکرد دانه نهایی هیبریدها تحت تاثیر مقادیر مختلف نیتروژن رضایت‌بخش بود. از میان پارامترهای گیاهی، شبیه‌سازی شاخص سطح برگ با دقت کمتری در مقایسه با سایر پارامترها توسط مدل صورت گرفت. مقادیر میانگین

nRMSE طی اعتبارسنجی مدل برای عملکرد دانه هیبریدهای سینگل‌کراس و ماکسیما ۱۱/۷ درصد بود. نتایج حاصل، نشان‌دهنده‌ی توانمندی و کارآمدی بالای مدل APSIM در زمینه‌ی شبیه‌سازی رشد و عملکرد هیبریدهای سینگل‌کراس ۷۰۴ و ماکسیما در مناطق نیمه‌خشک از جمله کشور ایران می‌باشد. از این رو این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری قابل اعتماد برای پیش‌بینی صفات و پارامترهای مهم گیاهی مانند عملکرد محصول قبل از انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای، کاهش هزینه‌های تحقیقاتی و تخمین صحیح میزان سازگاری هیبریدهای رایج و جدید ذرت نسبت به مناطق مختلف و در عین حال شرایط مختلف تغذیه‌ای خاک به‌کار گرفته شده و همچنین نقش بسیار مهمی در اتخاذ تصمیمات خرد و کلان مدیریتی در راستای مدیریت پایدار مزارع ذرت در کشور ایفا نماید.

References

1. Abera, K. (2013). Growth, productivity and nitrogen use efficiency of maize (*Zea mays* L.) as influenced by rate and time of nitrogen fertilizer application in Haramaya District. Eastern Ethiopia. Haramaya University. MSc Thesis.
2. Afzali, M., Taei Semiromi, J., & Amirinezhad, M. (2018). Evaluation of WOFOST model for growth and development simulation of maize under summer cropping system conditions in sub-tropical region of Southern Kerman. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *49*, 57-64. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.205678.654112
3. Ahmed, M., & Hassan, F. (2011). *APSIM and DSSAT models as decision support tools*. 19th International Congress on Modelling and Simulation, Perth, Australia.
4. Alley, M., Martz Jr, M. E., Davis, P., & Hammons, J. (2009). *Nitrogen and Phosphorous Fertilization of Corn*. Virginia Cooperative Extension. Virginia Tech, and Virginia State University. Publ. 424-027.
5. Amjed, A., Sanjani, S., Hoogenboom, G., Ahmad, A., Khaliq, T., Wajid, S., Noorka, I., & Ahmad, S. (2012). Application of crop growth models in agriculture of developing countries: a review. *New Horizons Science Technology*, *1*, 95-99.
6. Anonymous. (2020). Agricultural Statistics. Iranian Ministry of Agricultural Jihad. Department of Planning and Economic Affairs. Center of Statistics and Information Technology. Iran. p. 158. (in Persian)
7. Antonietta, M., Acciaresi, H., & Guiamet, J. (2015). Responses to N deficiency in stay green and non-stay green argentinean hybrids of maize. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *202*(3), 231-242. https://doi.org/10.1111/jac.12136
8. Archontoulis, S. V., Miguez, F. E., & Moore, K. J. (2014). Evaluating APSIM maize, soil water, soil nitrogen, manure, and soil temperature modules in the Midwestern United States. *Agronomy Journal*, *106*, 1025-1040. doi:10.2134/agronj2013.0421
9. Choukan, R. (2013). Final Report of Yield Trial and Adaptability of Late and Medium Maturing promising Hybrids of Maize (Final Stage). In: Seed and Plant Improvement Institute (Ed.), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Iran, pp. 50 (in Persian with English abstract).
10. Delve, R. J., Probert, M. E., Cobo, J., Ricaurte, J., Rivera, M., Barrios, E., & Rao, I. M. (2009). Simulating phosphorus responses in annual crops using APSIM: model evaluation on contrasting soil types. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *84*, 293-306. https://doi.org/10.1007/s10705-008-9243-6
11. Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., & Majnoni Haris, A. (2015). Simulation of corn growth under different water and nitrogen management with AquaCrop model. *Iranian Soil and Water Research*, *46*, 207-220. (in Persian with English abstract).
12. FAO Statistical Database. Agriculture statistics. 2008. Retrived on 27 March 2008 from: http://URL: faostat,fao.org/faostat.
13. FAO Statistical Database. Agriculture statistics. 2015. Retrived on 13 May 2015 from: http://URL: faostat,fao.org/faostat.
14. Gungula, D., Kling, J., & Togun, A. (2003). CERES-Maize predictions of maize phenology under nitrogen-stressed conditions in Nigeria. *Agronomy Journal*, *95*, 892-899.
15. Heng, L., Asseng, S., Mejahed, K., & Rusan, M. (2007). Optimizing wheat productivity in two rain-fed environments of the West Asia–North Africa region using a simulation model. *European Journal of Agronomy*, *26*, 121-129. https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.09.001
16. Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., & Tsuji G. Y. (2021). Decision Support System for Agrotechnology Transfer Version, 10(6), 117-124.
17. Hopkins, B., Rosen, C., Shiffler, A., & Taysom, T. (2008). Enhanced efficiency fertilizers for improved nutrient management: potato (Solanum tuberosum). *Crop Management*, *7*(1), 1-16.
18. Kaur, H., Jalota, S., Kanwar, R., & Bhushan, B. (2012). Climate change impacts on yield, evapotranspiration and nitrogen uptake in irrigated maize (*Zea mays*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping system: A simulation analysis. *Indian Journal of Agricultural Sciences*, *82*, 213.

19. Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N., Meinke, H., & Hochman, Z. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, *18*, 267-288.
20. Kpongor, D. S. (2007). *Spatially explicit modeling of sorghum (Sorghum bicolor (L.) Moench) production on complex terrain of a semi-arid region in Ghana using APSIM*. Universitäts-und Landesbibliothek Bonn. PhD Thesis.
21. Liu, H.,Yang, J., Drury, C. A., Reynolds, W., Tan, C., Bai, Y., He, P., Jin, J., & Hoogenboom, G. (2011). Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *89*, 313-328. https://doi.org/10.1007/s10705-010-9396-y.
22. McCown, R., Hammer, G., Hargreaves, J., Holzworth, D., & Freebairn, D. (1996). APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, *50*, 255-271. https://doi.org/10.1016/0308-521X(94)00055-V
23. Mendenhall, W., Sincich, T., & Boudreau, N. S. (1996). *A second course in statistics: regression analysis*. Prentice Hall Upper Saddle River, New Jersey.
24. Miao, Y., Mulla, D. J., Batchelor, W. D., Paz, J. O., Robert, P. C., & Wiebers, M. (2006). Evaluating management zone optimal nitrogen rates with a crop growth model. *Agronomy Journal*, *98*, 545-553.
25. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M.W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, *50*, 885-900.
26. Paknejad, F., Moayeri por, S., Aghayari, F., & Nabi Ilkaei, M. (2017). Simulation of maize yield with different levels of nitrogen by using DSSAT model. *Journal of Crop Ecophysiology*, *43*, 503-518. (in Persian with English abstract).
27. Prescott, J. A. (1940). Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, *64*, 114-118.
28. Rafiee Manesh, S., Aynehband, A., & Nabati Ahmadi, D. (2010). Investigating the effect of irrigation water amount and irrigation depletion time in different stages of growth on yield and yield components of the SC704 maize hybrid under Ahwaz climatic conditions. *Crop Physiology Journal*, *7*, 93-105. (in Persian).
29. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2019). Optimal genotype× environment× management as a strategy to increase grain maize productivity and water use efficiency in water-limited environments and rising temperature. *Ecological Indicator*, *107*, 1-17.
30. Rahimi-Moghaddam, S., Kambouzia, J., & Deihimfard, R. (2018). Adaptation strategies to lessen negative impact of climate change on grain maize under hot climatic conditions: a model-based assessment. *Agricultural and Forest Meteorology*, *253*, 1-14.
31. Seyoum, S., Rachaputi, R., Chauhan, Y., Prassana, B., & Fekybelu, S. (2017). Application of the APSIM model to exploit G×E×M interactions for maize improvement in Ethiopia. *Field Crops Research*, *217*, 113-124.
32. Shamudzarira, Z., & Robertson, M. (2002). Simulating response of maize to nitrogen fertilizer in semi-arid Zimbabwe. *Experimental Agriculture*, *38*, 79-96.
33. Soler, C. M. T., Sentelhas, P. C., & Hoogenboom, G. (2007). Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. European *Journal of Agronomy*, *27*, 165-177.
34. Soltani, A. (2012). Modeling physiology of crop development, growth and yield. CABI. Wallingford.
35. Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T. C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., & Whitbread, A. (2012). Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. *Biological Conservation*, *151*, 53-59.
36. Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Elsevier. Amsterdam.
37. Willmott, C., Robesonb, S., & Matsuuraa, K. (2012). Short Communication: A Refined Index of Model Performance. *International Journal of Climatology*, *32*, 2088-2094.
38. Wu, Y., Liu, W., Li, X., Li, M., Zhang, D., Hao, Z., Weng, J., Xu, Y., Bai, L., & Zhang, S. (2011). Low-nitrogen stress tolerance and nitrogen agronomic efficiency among maize inbreds: comparison of multiple indices and evaluation of genetic variation. *Euphytica*, *180*, 281-290.
39. Zsubori, Z. T., Pinter, J., Spitko, T., Hegyi, Z., & Marton, C. L. (2013). Yield and chemical composition of plant parts of silage maize (*Zea mays* L.) hybrids and their interest for biogas production. *Maydica*, *58*, 34-41.

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 381-400

Investigating the Possibility of Autumn-Sown and Determining the Most Suitable Planting Date and the Best Bolt-Resistant Cultivar of Sugar Beet in Khorasan Region

H. Shafapour[1], M. Jahan[2*], M. Bannayan Aval[2], M. Nassiri-Mahallati[2]

Received: 12-12-2021 Revised: 07-03-2022 Accepted: 11-04-2022	**How to cite this article:** Shafapour, H., Jahan, M., Bannayan Aval, M., & Nassiri-Mahallati, M. (2023). Investigating the Possibility of Autumn-Sown and Determining the Most Suitable Planting Date and the Best Bolt-Resistant Cultivar of Sugar Beet in Khorasan Region. *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4): 381-400. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74131.1127

Introduction

Sugar beet (*Beta vulgaris* L.) is the second most important sugar crop after sugarcane, which annually produces about 40% of total sugar production worldwide and is adapted to different climatic conditions (El-Hag et al., 2015). Due to global warming, autumn cultivation of sugar beet is predicted to become more priority in the future, but autumn cultivation is in danger of bolting and flowering in many areas. Excessive bolting reduces sugar content, root yield, and purity of raw syrup. In general, both early sowing and delayed sowing reduce root yield, sugar, and leaf area index and increase the percentage of impurities. Therefore, this experiment was designed and implemented with the aim of feasibility study of autumn cultivation of sugar beet and determination of the best planting date in North, Razavi, and South Khorasan provinces for three new varieties resistant to sugar beet.

Materials and Methods

The experiment was conducted as a split-plot design based on a randomized complete block design with three replications in the provinces of North Khorasan (Shirvan), Khorasan Razavi (Mashhad), and South Khorasan (Khezri Dasht-e Bayaz) in 2019-2020. The main plots included three planting dates (2, 7, and 12 October) and the subplots included three bolt-resistant sugar beet cultivars (Giada, Merak, and Sharif). Each plot consisted of 6 rows with a length of 5 m, at a distance of 50 cm and a distance between two plants of 20 cm, and planting was done manually. To determine root yield from the middle rows of each plot by eliminating the margin, harvest was done at an area of 4 m^2. A sample of root paste of each treatment was sent to the Beta Lizer laboratory of Mashhad Agricultural Research and Agricultural Services Company to determine the percentage of sugar. Other quality parameters were measured by Beta Lizer (Braunschweig method). Using the polarimetry method (Sucromat), the percentage of sugar content and white sugar yield, and other quality parameters were calculated for all experimental plots. Combined analysis of variance for different locations and mean comparison based on least significant difference (LSD) at the level of 5% probability using SAS 9.4 software was performed. Also, the graph plots were performed using Excel software.

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the interaction effects of the location and cultivar were significant on bolting percentage, root yield, sugar content, Na content, yield coefficient, and white sugar yield. The first planting date (October 2) in Mashhad region for all three cultivars led to the highest percentage of bolting (78-90%). Delay in planting date from 2 October to 12 October, the bolting percentage of cultivars was reduced, significantly. The bolting percentage in Shirvan region was less than 8%. On the third planting date

1- Ph.D. Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74131.1127

(October 12) in all regions, cultivars showed also a bolting percentage of less than 10%. Giada cultivar in Mashhad region with 47.3 ton.ha^{-1} had the highest and Sharif cultivar in Shirvan region with 22.6 ton. ha^{-1} had the lowest root yield. Shirvan region had less root yield than the other two regions. The highest sugar content (18.78%) belonged to Giada cultivar in Shirvan region and the lowest sugar content (13.01%) was observed in Sharif cultivar in Mashhad region. The planting date of 12 October was significantly lower in impurities, alkalinity coefficient, and molasses compared to earlier planting dates. The first planting date had the lowest (62.3%) and the third planting date had the highest (74.2%) extraction coefficient. Giada cultivar in Shirvan region had the highest extraction coefficient (78.1%) and the lowest extraction coefficient (60.8%) belonged to Sharif cultivar in Mashhad region.

Conclusion

In Shirvan and Khezri regions, Giada cultivar but in Mashhad region, Merak cultivars had the highest white sugar yield. In general, the results showed that in Shirvan region, planting on 2 October and in Mashhad and Khezri regions planting on 7 October could lead to reaching maximum white sugar yield.

Keywords: Bolting, Extraction coefficient, LAI, Sugar content

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۱، ص ٤۰۰-۳۸۱

تأثیر رقم و تاریخ کاشت بر خصوصیات کمی و کیفی چغندرقند پاییزه در منطقه خراسان بزرگ

حسین شفاپور[۱]، محسن جهان[۲*]، محمد بنایان اول[۳]، مهدی نصیری محلاتی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲

چکیده

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) دومین محصول مهم قند پس از نیشکر است که با شرایط آب و هوایی مختلف سازگار است. با توجه به گرم شدن کره زمین، پیش‌بینی می‌شود که کشت پاییزه چغندرقند در آینده اولویت بیشتری پیدا کند. به‌منظور تعیین بهترین تاریخ کاشت پاییزه ارقام چغندرقند در منطقه خراسان بزرگ، آزمایشی به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در استان‌های خراسان شمالی (شیروان)، خراسان رضوی (مشهد) و خراسان جنوبی (خضری دشت بیاض) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه تاریخ کاشت (۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهرماه) و کرت‌های فرعی شامل سه رقم چغندرقند (گیادا و مراک به‌عنوان ارقام مقاوم و شریف به‌عنوان رقم متحمل به ساقه‌روی) بودند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل منطقه در رقم بر صفات درصد ساقه‌روی، عملکرد ریشه، عیار قند، میزان سدیم، ضریب استحصال و عملکرد شکر سفید معنی‌دار بود. تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) در منطقه مشهد برای هر سه رقم منجر به بیشترین درصد ساقه‌روی (۷۸ تا ۹۰ درصد) شد. با تأخیر در کاشت از ۱۰ مهر به ۲۰ مهر، از درصد ساقه‌روی ارقام به شدت کاسته شد. رقم گیادا در منطقه مشهد با ۴۷/۳ تن در هکتار بیشترین و رقم شریف در منطقه شیروان با ۲۲/۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را داشتند. منطقه شیروان عملکرد ریشه کمتری نسبت به دو منطقه دیگر داشت. بیشترین عیارقند (۱۸/۷۸ درصد) مربوط به رقم گیادا در منطقه شیروان بود و کمترین عیار (۱۳/۰۱ درصد) در رقم شریف در منطقه مشهد مشاهده شد. در مناطق شیروان و خضری رقم گیادا و در منطقه مشهد رقم مراک بیشترین عملکرد شکر سفید را داشتند به‌طور کلی، نتایج نشان داد که در منطقه شیروان تاریخ کشت ۱۰ مهر و در مناطق مشهد و خضری تاریخ کشت ۱۵ مهرماه می‌تواند منجر به حداکثر تولید عملکرد شکر سفید شود.

واژه‌های کلیدی: بولتینگ، ساقه‌روی، شاخص سطح برگ، ضریب استحصال، عیار قند

مقدمه

چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) دومین محصول مهم قندی پس از نیشکر است که سالانه حدود ۴۰ درصد از کل تولید شکر را در سراسر جهان تولید می‌کند و با شرایط آب و هوایی مختلف سازگار است (El-Hag *et al.*, 2015). سطح زیر کشت چغندرقند در ایران، حدود ۱۰۸۴۳۳هکتار است (آمارنامه سال ۹۹-۹۸)، که حدود ۱۷/۵ درصد آن در استان خراسان بزرگ واقع شده است. افزایش سطح زیر کشت چغندرقند و تولید شکر در واحد سطح، هدف مهم ملی برای به حداقل رساندن خلاء بین تولید و مصرف شکر است. اهمیت این محصول به دلیل توانایی آن برای رشد در خاک‌های مختلف (خاک‌های شور، قلیایی و آهکی) و تحمل به شوری و توانایی تولید ریشه و عملکرد قند بالا در شرایط تنش و نیاز کمتر آن به آب در مقایسه با نیشکر است. در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و سرد استان خراسان، چغندرقند معمولاً در بهار کشت و در پاییز برداشت می‌شود. با این حال، کشت بهاره در این استان اخیراً به دلیل کمبود شدید آب و همچنین رقابت با دیگر محصولات صیفی مانند خربزه و هندوانه که در بهار و تابستان کشت می‌شوند محدود شده است (Taleghani *et al.*, 2010). بنابراین کشت پاییزه و زمستانه چغندرقند به‌عنوان یک استراتژی برای مقابله با این چالش‌ها مطرح شده است. کاشت پاییزه چغندرقند با امکان بهره‌برداری بهتر از بارندگی بهاره، کاهش فرسایش خاک و امکان گسترش بازه زمانی فعالیت کارخانه قند، می‌تواند عملکرد اقتصادی را افزایش دهد (Peltonen-Sainio *et al.*, 2011;

۱- دانشجوی دوره دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74131.1127

(Vico *et al.*, 2014).

با توجه به گرم شدن تدریجی کره زمین، پیش‌بینی می‌شود کشت پاییزه چغندرقند در آینده اولویت بیشتری پیدا کند، اما کشت پاییزه در بسیاری از مناطق با خطر ساقه‌روی و گلدهی مواجه می‌باشد (Draycott, 2006). در سال‌هایی که میانگین درجه حرارت ماه‌های زمستان به پایین‌تر از ۱۰ درجه سانتی‌گراد برسد، گیاه ورنالیزه شده[1] و در بهار به دلیل ظهور ساقه گل‌دهنده[2] ریشه‌ها خشبی و فیبری می‌شوند. وجود بیش از حد ساقه‌های گل‌دهنده موجب پایین آمدن درصد قند، عملکرد ریشه و خلوص شربت خام می‌شود (Sadeghian, 1999). بهاره شدن و ساقه‌روی به همراه خسارت یخ‌زدگی عامل اصلی در عدم گسترش کاشت پاییزه چغندرقند می‌باشد (Reinsdorf and Koch, 2013). برخی پژوهشگران (Nabipour *et al.*, 2019) با انجام پهنه‌بندی اقلیمی- زراعی و امکان‌سنجی کاشت پاییزه چغندرقند در استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی نشان دادند مناطقی که کمتر از ۱۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا دارند، برای کاشت پاییزه چغندرقند کاملا مناسب می‌باشند (این اراضی بیشتر در جنوب استان خراسان جنوبی واقع شده‌اند). در مطالعه‌ای در شمال غربی اروپا با روش شبیه‌سازی نشان داده شد که عملکرد شکر در کشت پاییزه ۲۶ درصد بیشتر از کاشت بهاره بود (Jaggard & Werker, 1999). در ایتالیا، چغندرقند پاییزه از نظر عملکرد ریشه، ماده خشک کل و کارایی مصرف آب، نسبت به چغندرقند بهاره، بهره‌وری بیشتری نشان داد (Rinaldi & Vonella, 2006).

بسیاری از مطالعات نشان داده‌اند که همه صفات کمی و کیفی می‌توانند به‌طور قابل‌توجهی بسته به شرایط محیطی و همچنین شیوه‌های کشت، مانند زمان کاشت متفاوت باشند (Salmasi *et al.*, 2006). تاریخ کاشت را می‌توان یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد کمی و کیفی چغندرقند دانست (Kandil *et al.*, 2004). در منطقه مغان، کشت رقم مقاوم به ساقه‌روی در نیمه دوم مهر و برداشت در اوایل تیر ماه، کمترین درصد ساقه‌روی (۱/۳۲ درصد) و بیشترین عملکرد ریشه و شکر سفید را به‌ترتیب با ۴۹/۸۱ و ۶/۲۶ تن در هکتار داشت (Taleghani *et al.*, 2011). رمضان (Ramazan, 2002) گزارش کرد که کشت زود هنگام چغندرقند منجر به بیشترین درصد جوانه‌زنی و عملکرد بالای ریشه و شکر نسبت به کاشت دیرهنگام است. رفای (Refay, 2010) نشان داد که کل مواد جامد محلول (TSS) و درصد قند ناخالص (عیار)، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفتند و کشت چغندرقند در ۱۵ اکتبر بالاترین مقادیر درصد ساکارز، درصد خلوص قند و عملکرد شکر را به دنبال داشت. تأخیر در کاشت منجر به کاهش وزن ریشه، عملکرد ریشه و عملکرد شکر می‌شود، اما درصد ماده خشک به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Sogut & Arioglu, 2004; Nikpanah *et al.*, 2010; Al-Jbawi *et al.*, 2015). نیک پناه و همکاران (Nikpanah *et al.*, 2015) تأثیر سه تاریخ کاشت (۱ جولای، ۲۰ جولای و ۱۳ آگوست) را بر عملکرد و شاخص‌های رشد چغندرقند بهاره بررسی و گزارش کردند که با کاشت زودتر حداکثر شاخص سطح برگ و تجمع ماده خشک کل افزایش یافت. همچنین، کومار و همکاران (Kumar *et al.*, 2019) نشان دادند که از بین ۱۲ تاریخ مختلف کاشت، کشت در دو هفته اول ماه اکتبر نسبت به تاریخ‌های دیگر از عملکرد کمی و کیفی بالاتری برخوردار بود. قاسمی و همکاران (Ghasemi *et al.*, 2020) با مقایسه پنج رقم (آنتک، آزابا، سیلوتا، اسپارتاک و شریف)، در سه تاریخ کاشت (۲۵ شهریور، ۱۰ مهر و ۲۵ مهر) سه تاریخ برداشت (۲۵ فروردین، ۱۰ اردیبهشت و ۲۵ اردیبهشت) در ایلام گزارش کردند که بیشترین عملکرد ریشه مربوط به رقم شریف (۸۳/۳۲ تن در هکتار) بود و بالاترین میزان درصد قندناخالص و درصد قند قابل استحصال مربوط به رقم سیلوتا بود. همچنین بالاترین عملکرد ریشه در تاریخ برداشت ۱۰ اردیبهشت ماه حاصل شد. ایشان دلایل برتری تاریخ کاشت‌های زود و برداشت‌های دیر هنگام در چغندرقند پاییزه را شروع سریع‌تر رشد بوته و برگ‌ها جهت جذب حداکثر نور در مراحل اولیه رشد، همزمانی حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر نور جهت فتوسنتز بیشتر همراه با حداکثر رشد ریشه عنوان نمودند.

نبی‌پور و همکاران (Nabipour *et al.*, 2019) با بررسی اثر دو تاریخ کاشت ۷ و ۲۷ مهر بر روی ۵ رقم چغندرقند پاییزه در مشهد گزارش کردند که رقم شریف بیشترین درصد ساقه‌روی (۱۶/۶۲ درصد) و رقم گیادا با ۰/۱۲ درصد کمترین میزان ساقه‌روی را داشتند. همچنین میزان ساقه‌روی در تاریخ کاشت ۷ مهر به‌طور معنی‌داری بیشتر از تاریخ کاشت ۲۷ مهر بود. ادیبی‌فرد و همکاران (Adibifard *et al.*, 2019) با شناسایی مناطق مناسب کشت پاییزه در استان فارس گزارش کردند که جهت کشت چغندرقند پاییزه، ۱۳ درصد اراضی استان بسیار مناسب، ۲۳ درصد مناسب، ۳۱ درصد متوسط و ۳۳ درصد نامناسب است.

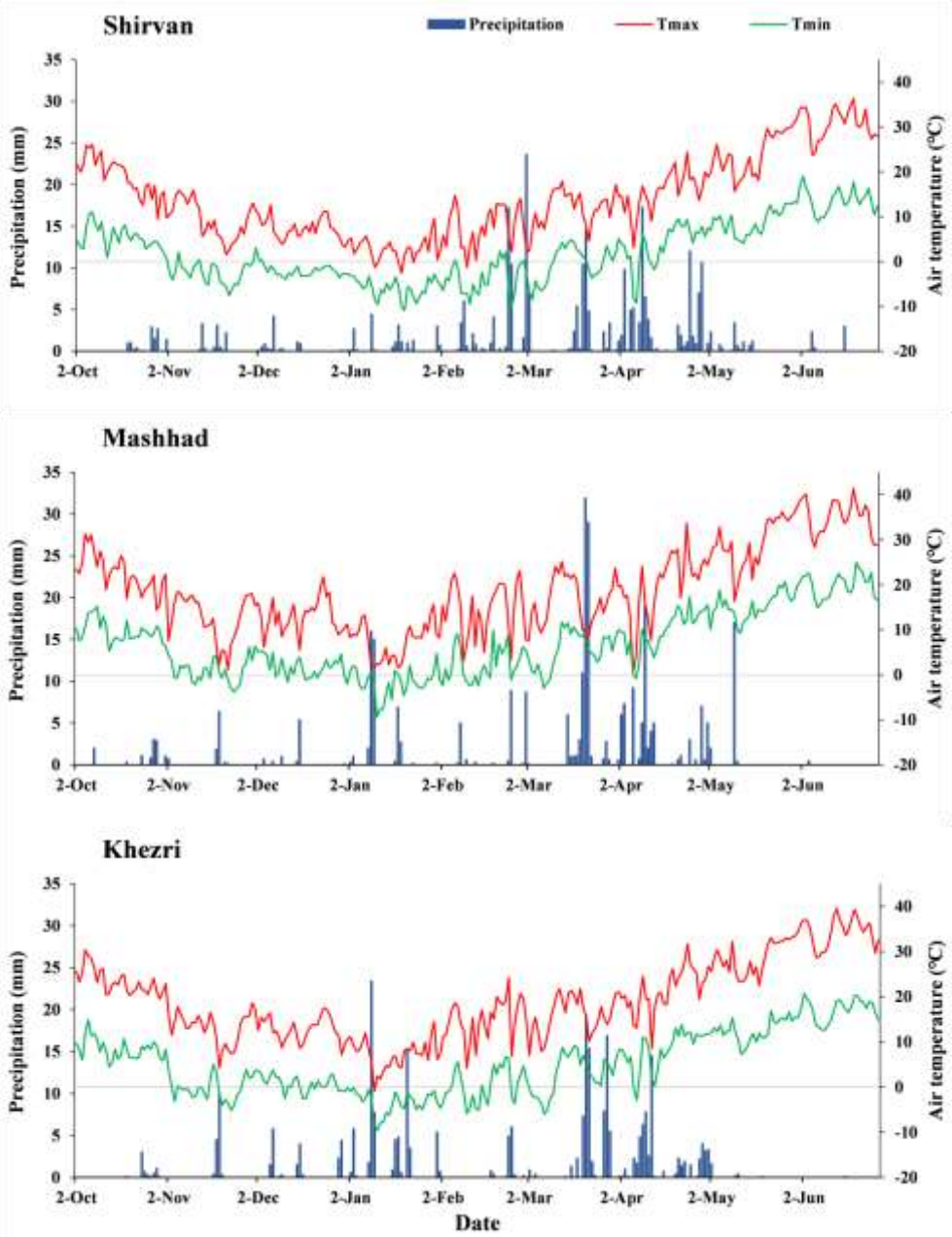
به‌طور کلی، هم کشت زودتر از موقع و هم تأخیر در کاشت باعث کاهش عملکرد ریشه، شکر و سطح برگ چغندرقند و افزایش درصد ناخالصی‌ها می‌شود (Somayeh *et al.*, 2012; Hoosin *et al.*, 2015; Illkaee *et al.*, 2016; Al-Jbawi & Al-Zubi, 2016). بنابراین، این آزمایش با هدف امکان‌سنجی کشت پاییزه چغندر قند و تعیین بهترین تاریخ کاشت در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی برای سه رقم جدید مقاوم به ساقه‌روی چغندرقند، طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های

1- Vernalization
2- Bolting

کامل تصادفی با سه تکرار در سه منطقه در استان‌های خراسان شمالی (شهرستان شیروان)، خراسان رضوی (مزرعه کنه بیست آستان قدس رضوی مشهد) و خراسان جنوبی (شرکت سهامی زراعی خضری دشت بیاض قاین) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. دمای حداقل، حداکثر و بارش روزانه در طول دوره رشد از کشت تا برداشت این سه منطقه آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. منطقه شیروان از نظر دمایی سردتر از دو منطقه دیگر بوده و منطقه مشهد به‌طور جزئی دارای میانگین دمای ماهانه بالاتری نسبت به منطقه خضری بوده است (جدول ۱). از نظر تعداد روزهای یخبندان نیز مناطق شیروان، خضری و مشهد به‌ترتیب ۱۳۰، ۸۴ و ۵۷ روز دمای زیر صفر داشتند (جدول ۱). از لحاظ میزان و توزیع بارندگی نیز به‌ترتیب شیروان، مشهد و خضری شرایط مناسب‌تری داشتند (شکل ۱ و جدول ۱).



شکل ۱- دمای کمینه، بیشینه و میزان بارندگی در طول فصل کاشت در سه منطقه آزمایش

Figure 1- Minimum, and maximum temperature and rainfall during the growing season in three locations of experiment

جدول ۲- اطلاعات اقلیمی ماهانه در مناطق مورد مطالعه

Table 2- Monthly climate data in the studied regions

ماه‌های سال Month	میانگین درجه حرارت Mean temperature			تعداد روزهای یخبندان Number of frost days			بارندگی Precipitation		
	شیروان Shirvan	مشهد Mashhad	خضری Khezri	شیروان Shirvan	مشهد Mashhad	خضری Khezri	شیروان Shirvan	مشهد Mashhad	خضری Khezri
Oct	12.3	16.2	15.9	0	0	0	10	10	6
Nov	3.4	6.8	6.6	27	13	18	12	10	15
Dec	2.7	7.5	6.9	28	7	10	9	8	20
Jan	-1.6	2.8	1.9	31	22	31	19	45	74
Feb	2.0	8.3	7.4	24	11	14	49	16	13
Mar	5.5	10.7	9.2	15	3	9	75	98	79
Apr	9.6	14.6	14.7	5	1	2	95	72	59
May	16.5	22.3	20.6	0	0	0	12	24	6
Jun	22.2	27.5	25.8	0	0	0	6	1	0

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر در سه منطقه مورد مطالعه

Table 2- Soil physicochemical characteristics at depth of 0-30 cm in three locations of study

منطقه Location	بافت خاک Soil Texture	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	کربن آلی OC (%)	نیتروژن کل N (%)	فسفر قابل جذب P (ppm)	پتاسیم قابل جذب K (ppm)
شیروان Shirvan	Silty loam	8.27	0.11	0.35	0.061	36.5	486
مشهد Mashhad	Silty loam	8.13	0.61	0.43	0.072	28.2	526
خضری Khezri	Silty loam	8.26	4.65	0.39	0.052	32.2	337

کرت‌های اصلی شامل سه تاریخ کاشت (دهم، پانزدهم و بیستم مهرماه) و کرت‌های فرعی شامل سه رقم چغندرقند مقاوم به ساقه‌روی (گیادا[1] از شرکت KWS آلمان، مراک[2] از شرکت STRUB آلمان و یک رقم ایرانی به نام شریف) بودند. هر کرت شامل ۶ ردیف به طول ۵ متر، به فاصله ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین دو بوته ۲۰ سانتی‌متر بود و کاشت به‌صورت دستی و داخل جوی انجام شد. قبل از کاشت، با نمونه‌گیری از خاک هر سه منطقه و ارسال آن به آزمایشگاه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مشخص شد (جدول ۲).

ویژگی‌های رشدی گیاه در طول دوره رشد از قبیل شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک، وزن تر و خشک ریشه اندازه‌گیری شدند. نمونه‌برداری‌های تخریبی در طول دوره رشد گیاه طی پنج مرحله صورت پذیرفت. در هر مرحله ۵ بوته از هر کرت برداشت شد و پس از شستشوی ریشه‌ها، برگ‌ها جدا و با دستگاه سطح برگ‌سنج مدل Li-3100C شاخص سطح برگ محاسبه شد. ریشه‌ها نیز پس از توزین و تعیین وزن تر ریشه، به همراه برگ‌ها در آون خشک شدند و سپس وزن خشک آن‌ها توزین و ماده خشک کل در هر مرحله محاسبه شد. درصد ساقه‌روی براساس تعداد بوته‌های به ساقه رفته در هر کرت و با توجه به تعداد کل بوته‌ها محاسبه شد. برای تعیین عملکرد ریشه در تاریخ ۹ تیرماه به‌طور همزمان در سه منطقه از ردیف‌های میانی هر کرت با رعایت حاشیه، برداشت در سطحی معادل ۴ مترمربع صورت گرفت. نمونه‌ای از خمیر ریشه هر تیمار برای تعیین درصد قند به آزمایشگاه بتالایزر شرکت تحقیقات کشاورزی و خدمات زراعی مشهد ارسال شد. سایر پارامترهای کیفی از طریق بتالایزر (روش برانشوایگ) اندازه‌گیری شدند. با استفاده از روش پلاریمتری (دستگاه ساکارومتر دیجیتالی اتوماتیک ساکرومت)، درصد قند ناخالص (عیار) و عملکرد شکر سفید و غلظت پتاسیم، غلظت سدیم، ازت مضره، ضریب قلیائیت، قند ملاس، ضریب استحصال برای کلیه کرت‌های آزمایشی محاسبه شد.

میزان عیارقند به روش پلاریمتری، ناخالصی‌ها شامل سدیم و

1- Giada
2- Merak

پتاسیم ریشه به روش فلیم فتومتری و نیتروژن مضره به روش رنگ‌سنجی معروف به روش عدد آبی اندازه‌گیری شدند. با استفاده از داده‌های به‌دست آمده صفات ضریب استحصال شکر، عملکرد شکرسفید، درصد قندخالص و درصد قند ملاس از طریق روابط (۱) تا (۴) محاسبه شدند (Abdollahian Noghabi *et al.*, 2005).

$$MS = 0.343(Na + K) + 0.094\ N - 0.29 \quad (۱)$$

$$ALK=(Na + K)/N \quad (۲)$$

$$\%WSC = (\%SC - \%MS) - 0.6 \quad (۳)$$

$$ESC= WSC / SC \times 100 \quad (۴)$$

MS نشان‌دهنده قند ملاس، که در آن N میزان نیتروژن کل است. K پتاسیم و Na سدیم می‌باشد (رابطه ۱). در رابطه (۲) ALK نشانگر ضریب قلیائیت است. WSC نشانگر درصد قند خالص یا درصد قند قابل‌استحصال SC عیار قند و ۰/۶ نشان‌دهنده میزان افت قند در کارخانجات ایران می‌باشد (رابطه ۳). راندمان استحصال قند در واقع نشان‌دهنده‌ی درصد ساکارز یا قندی است که قابل‌استحصال می‌باشد، (ECS) راندمان استخراج قند، SC عیار قند ریشه، WSC نشانگردرصد قند خالص و است (رابطه ۴). در واقع راندمان استخراج قند به‌صورت نسبت درصد ساکارز قابل‌استحصال به عیار قند ریشه به‌دست می‌آید (Abdollahian Noghabi *et al.*, 2005).

تجزیه واریانس مرکب برای مناطق مختلف و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.4 انجام شد. همچنین ترسیم گراف‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

روند تغییرات شاخص سطح برگ (LAI) ارقام در تاریخ کاشت‌های مختلف در هر منطقه در شکل ۲ نشان داده شده است. در منطقه شیروان استان خراسان شمالی، روند شاخص سطح برگ سیگموئیدی بود و تا ۱۹۰ روز پس از کاشت در تاریخ کاشت اول شاخص سطح برگ کمتر از یک بود و بین ارقام اختلافی وجود نداشت. بیشترین شاخص سطح برگ ارقام در روز برداشت مشاهده شد و در تاریخ کاشت ۱۰ مهر بیشترین و تاریخ کاشت ۲۰ مهر کمترین میزان آن حاصل شد. در هر سه تاریخ کاشت، رقم گیادا بیشترین و رقم شریف کمترین مقدار شاخص سطح برگ را داشتند (شکل ۲). در این منطقه به دلیل پایین بودن دما تا اواسط فروردین (شکل ۱) رشد و توسعه برگ‌ها با تاخیر آغاز شد و تا زمان برداشت به نقطه پیک خود نرسید.

روند شاخص سطح برگ در منطقه مشهد و خضری متفاوت از شیروان بود. به طوری که روند شاخص سطح برگ ابتدا افزایشی و سپس کاهشی بود. در منطقه مشهد هر سه رقم شاخص سطح برگ نزدیکی با هم داشتند، اگرچه رقم گیادا با اختلاف جزئی شاخص سطح برگ بیشتری داشت (شکل ۲). همچنین با تأخیر در کشت، شاخص سطح برگ کاهش یافت. اختلاف بین ارقام از نظر شاخص سطح برگ در منطقه خضری محسوس‌تر بود. حداکثر شاخص سطح برگ (۵/۵) مربوط به رقم گیادا در تاریخ کاشت ۱۰ مهر و کمترین میزان (۳/۳) مربوط به رقم شریف در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه بود (شکل ۲). به‌طور کلی در کاشت زودتر چغندرقند به دلیل وجود شرایط محیطی مطلوب برای رشد رویشی، شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد (Al-Jbawi *et al.*, 2015; Nikpanah *et al.*, 2015). همچنین محققین دیگر دریافتند که دمای سرد در طول دوره رشد اولیه در تاریخ کاشت‌های دیر منجر به تولید برگ‌های کوچک‌تر شده و از شاخص سطح برگ کمتری برخوردار خواهند بود (Hoosin *et al.*, 2015).

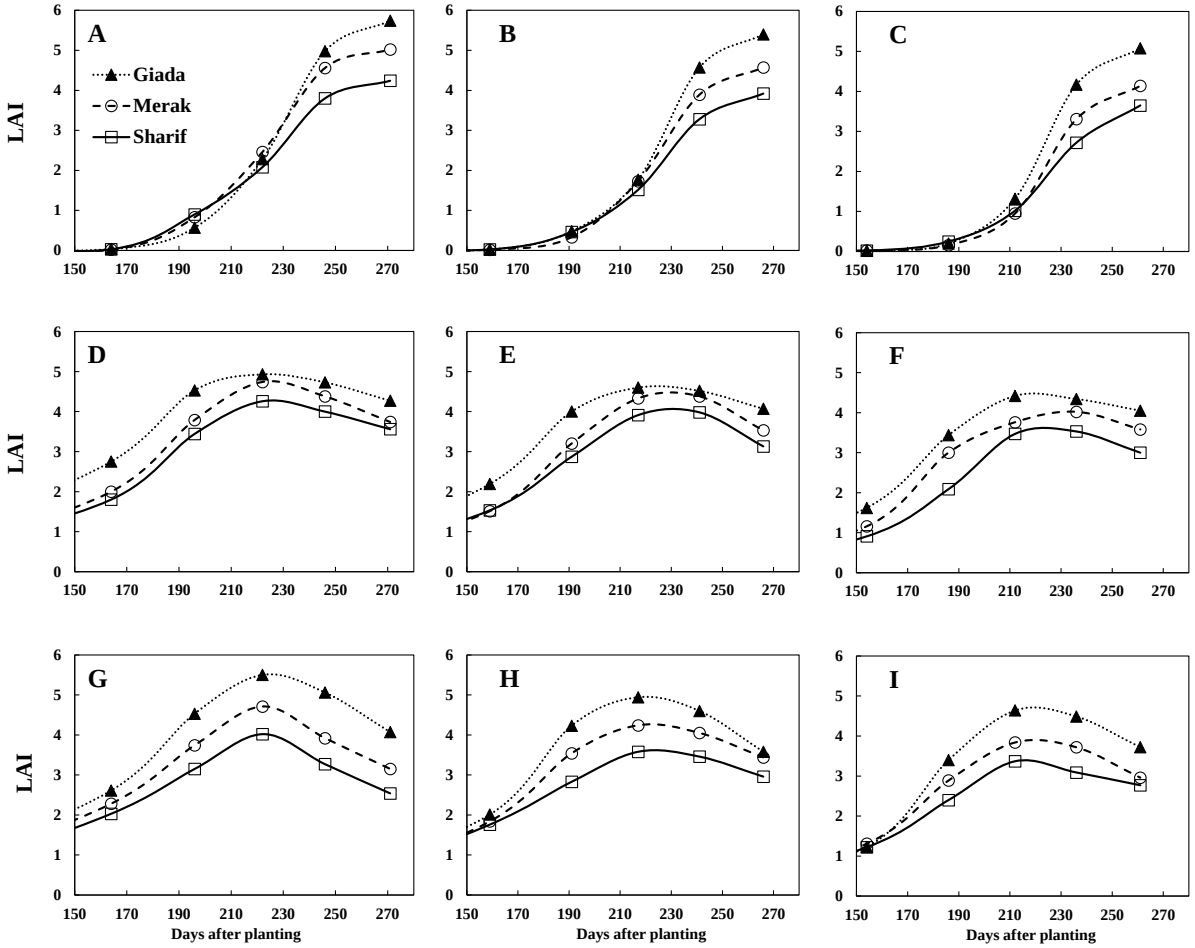
تجمع ماده خشک

روند تجمع ماده خشک کل ارقام مختلف در تاریخ کاشت‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است. در منطقه شیروان مرحله رشد خطی و افزایش وزن ماده خشک کل از ۲۷ فروردین آغاز شد و تا زمان برداشت در ۹ تیرماه ادامه یافت، ولی در دو منطقه دیگر (مشهد و خضری) در تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) حدود روز ۲۴۰ پس از کاشت (۱۵ خرداد) رشد خطی متوقف شد. بین ارقام در منطقه شیروان اختلاف معنی‌داری دیده نمی‌شود ولی در مناطق مشهد و خضری رقم گیادا بیشترین و رقم شریف کمترین ماده خشک کل را داشتند (شکل ۳). تاریخ کاشت زود هنگام از طریق تعداد، سن و اندازه‌ی برگ‌های گیاه می‌تواند رشد و توسعه کانوپی را تحت تاثیر قرار دهد و بر میزان جذب تشعشع و در نهایت ماده خشک تولیدی تاثیر بگذارد (Rinaldi & Vonella, 2006). در مقابل تأخیر در کاشت باعث تأخیر در ظهور گیاهچه، توسعه برگ‌های اولیه و در نهایت استقرار ضعیف گیاه شده و همین تأخیر تا پایان باقی خواهد ماند و باعث کاهش تجمع ماده خشک خواهد شد (Stibbe & Marlander, 2002).

بولتینگ (ساقه‌روی)

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر منطقه، تاریخ کاشت، رقم و همچنین اثرات متقابل دوگانه و سه‌گانه آن‌ها در سطح یک درصد بر درصد ساقه‌روی چغندرقند معنی‌دار بود. مقایسه میانگین‌های مربوط به درصد ساقه‌روی نشان داد که تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) در منطقه مشهد برای هر سه رقم سبب بیش‌ترین درصد ساقه‌روی (۷۸ تا ۹۰ درصد) شد (شکل ۴). در منطقه

خضری دو رقم گیادا و مراک در تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) درصد ساقه‌روی ۵۰ درصدی داشتند که با رقم شریف (۳۵ درصد) اختلاف معنی‌دار بود. با تأخیر در کاشت از ۱۰ مهر تا ۲۰ مهر به شدت از درصد ساقه‌روی ارقام کاسته شده است. درصد ساقه‌روی در منطقه شیروان کمتر از ۸ درصد بود. همچنین ارقام در تاریخ کاشت سوم (۲۰ مهر) در تمامی مناطق درصد ساقه‌روی کمتر از ۱۰ درصد را داشتند (شکل ۴). بنابراین با انتخاب رقم مناسب و سازگار با شرایط اقلیمی هر منطقه می‌توان میزان ساقه‌روی را کاهش داد (Taleghani *et al.*, 2011). در آزمایش ادیبی‌فرد و همکاران (Adibifard *et al.*, 2017) نیز نتایج بیانگر تفاوت معنی‌دار بین ارقام و تاریخ‌های کاشت بود به طوری که در تاریخ کاشت‌های زودتر در پاییز، درصد ساقه‌روی بیشتر بود.

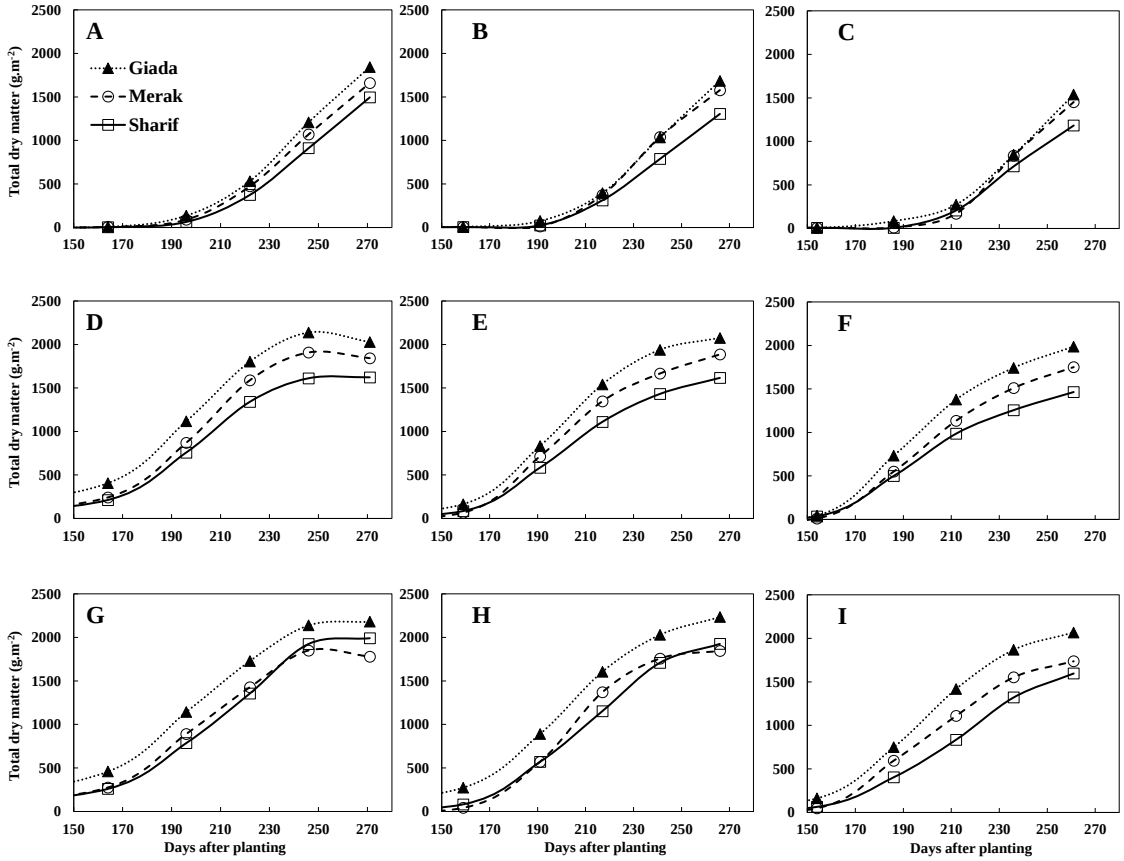


شکل ۲- روند تغییرات شاخص سطح برگ ارقام مختلف چغندرقند در تاریخ کاشت‌ها و مناطق مختلف در استان خراسان بزرگ

A، B و C: به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه شیروان؛ D، E و F به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه مشهد و G، H و I به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه خضری

Figure 2- The trend of LAI of sugar beet cultivars in different planting dates and regions of Khorasan province

A, B, C: planting dates of 2, 7, and 12 October in Shirvan region, respectively; D, E, F, planting dates of 2, 7, and 12 October in Mashhad region, respectively, and G, H, I: planting dates of 2, 7, and 12 October in Khezri region, respectively.

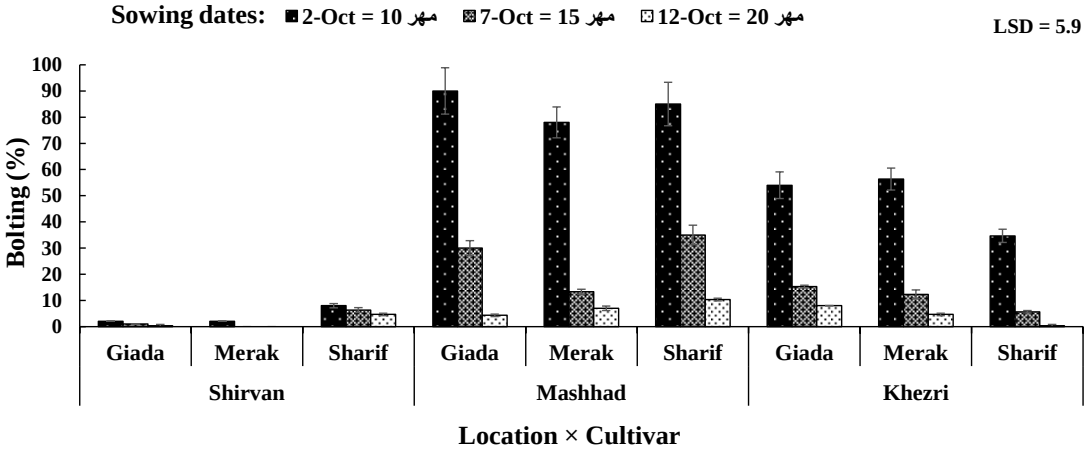


شکل ۳- روند تجمع ماده خشک کل سه رقم چغندرقند در سه تاریخ کاشت در شیروان، مشهد و خضری

A، B و C: به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه شیروان؛ D، E و F به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه مشهد و G، H و I به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه خضری

Figure 3- The trend of TDM of sugar beet cultivars in different planting dates and regions of Khorasan province

A, B, C: planting dates of 2, 7, and 12 October in Shirvan region, respectively; D, E, F, planting dates of 2, 7, and 12 October in Mashhad region, respectively, and G, H, I: planting dates of 2, 7, and 12 October in Khezri region, respectively.



شکل ٤- مقایسه میانگین برهمکنش منطقه در تاریخ کاشت در رقم برای درصد ساقه‌روی چغندرقند

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 4- Mean comparison of interactions of location, planting date, and cultivar for bolting of sugar beet

The bars indicate the standard error of the mean.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب (میانگین مربعات) عملکرد کمی و کیفی ارقام چغندرقند در سه تاریخ کاشت و سه منطقه

Table 3- Mean squares of combined analysis of variance for some qualitative and quantitative traits of sugar beet as affected by planting date and cultivar in the three locations

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات									
		ساقه‌روی Bolting (%)	عملکرد ریشه Root yield	عیار (درصد قند) Sugar content	غلظت پتاسیم K	غلظت سدیم Na	نیترژن مضره N	ضریب قلیائیت Alkalinity coefficient	قند ملاس Molasses sugar	ضریب استحصال Extraction coefficient	عملکرد شکر سفید White sugar yield
منطقه Location (L)	2	9002.60**	1763.40**	119.79**	1.69ns	22.27**	8.92**	10.21**	2.95**	1050.04**	0.68ns
بلوک (منطقه) Block (L)	6	26.14	72.68	1.04	0.55	0.13	0.60	0.23	0.18	19.66	0.59
تاریخ کاشت Sowing Date (SD)	2	12673.42**	242.73**	44.01**	8.75**	10.20**	0.98**	0.51ns	4.83**	962.37**	5.40**
منطقه × تاریخ کاشت L × SD	4	3464.77**	17.46ns	3.40ns	0.18ns	0.22ns	0.45*	0.26ns	0.01ns	55.47ns	2.00*
خطای اصلی Error a	12	13.06	7.50	2.13	0.73	0.24	0.10	0.19	0.20	23.47	0.44
رقم Cultivar (C)	2	81.86**	717.49**	8.10**	4.10**	14.33**	0.04ns	1.09**	2.24**	149.45**	13.06**
تاریخ کاشت × رقم SD × C	4	76.48**	7.48ns	0.16ns	0.05ns	0.55*	0.03ns	0.11ns	0.03ns	1.18ns	0.16ns
منطقه × رقم L × C	4	350.72**	29.42*	11.16**	1.00ns	5.09**	0.01ns	0.51**	1.02**	145.65**	2.47**
منطقه × تاریخ کاشت × رقم L × SD × C	8	54.80**	13.45ns	0.34ns	0.09ns	0.09ns	0.02ns	0.06ns	0.02ns	5.11ns	0.26ns
خطا Error b	36	13.03	10.10	1.43	0.43	0.19	0.10	0.13	0.14	9.92	0.28
ضریب تغییرات (CV)		17.1	8.8	7.8	10.0	8.9	7. 8	12.4	9.2	4.6	14.2

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

ns=not significant, significant at 0.05, 0.01 probability level

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی منطقه، تاریخ کاشت و رقم برای صفات کمی و کیفی چغندرقند

Table 4- Mean comparison of regions, planting dates, and cultivars for quantitative and qualitative traits of sugar beet

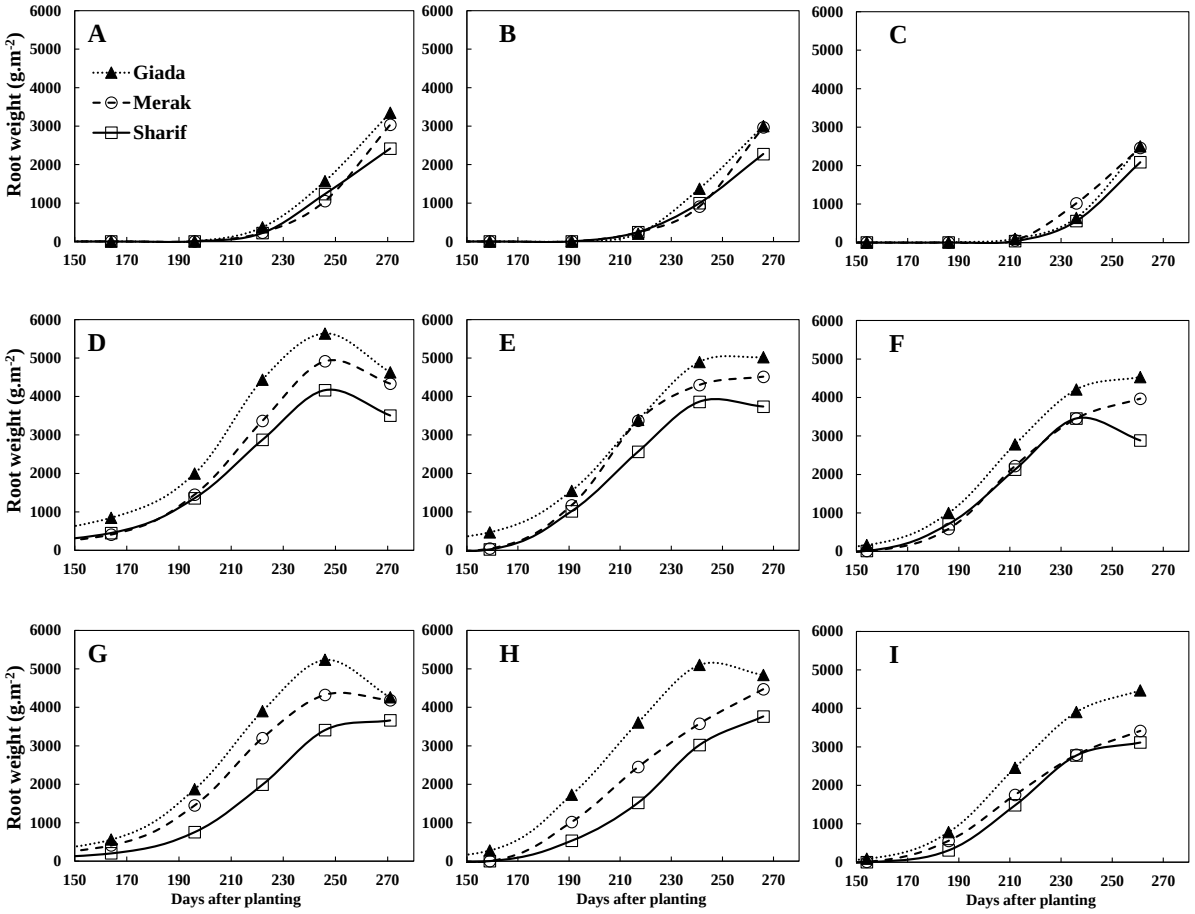
عامل Factor	تیمار Treatment	ساقه‌روی Bolting (%)	عملکرد ریشه Root yield (ton.ha^{-1})	عیار (درصد قند) Sugar content (%)	غلظت پتاسیم K (meq/100g)	غلظت سدیم Na (meq/100g)	نیتروژن مضره N (meq/100g)	قلیائیت Alkalinity coefficient	قند ملاس Molasses (%)	ضریب استحصال Extraction coefficien (%)	عملکرد شکر سفید White sugar yield (ton.ha^{-1})
منطقه Location											
	شیروان Shirvan	2.7 ^{c}	26.8 ^{b}	17.7 ^{a}	6.31 ^{a}	3.87 ^{c}	4.76 ^{a}	2.14 ^{b}	3.65 ^{b}	75.6 ^{a}	3.60 ^{a}
	مشهد Mashhad	39.2 ^{a}	41.03 ^{a}	14.1 ^{b}	6.81 ^{a}	5.09 ^{b}	3.63 ^{b}	3.30 ^{a}	4.13 ^{a}	65.5 ^{b}	3.87 ^{a}
	خضری Khezri	21.3 ^{b}	40.2 ^{a}	13.9 ^{b}	6.58 ^{a}	5.65 ^{a}	4.01 ^{b}	3.08 ^{a}	4.28 ^{a}	64.2 ^{b}	3.59 ^{a}
تاریخ کاشت Sowing Date											
	۱۰ مهر 2 Oct.	45.6 ^{a}	37.1 ^{a}	13.9 ^{c}	7.10 ^{a}	5.47 ^{a}	4.33 ^{a}	2.96 ^{a}	4.43 ^{a}	62.3 ^{c}	3.17 ^{b}
	۱۵ مهر 7 Oct.	13.2 ^{b}	38.4 ^{a}	15.3 ^{b}	6.63 ^{a}	4.89 ^{b}	4.12 ^{b}	2.87 ^{a}	4.05 ^{b}	68.8 ^{b}	3.97 ^{a}
	۲۰ مهر 12 Oct.	4.4 ^{c}	32.7 ^{b}	16.4 ^{a}	5.97 ^{b}	4.25 ^{c}	3.95 ^{c}	2.69 ^{a}	3.59 ^{c}	74.2 ^{a}	3.92 ^{a}
رقم Cultivar											
	گیادا Giada	22.8 ^{a}	40.7 ^{a}	15.6 ^{a}	6.39 ^{b}	5.64 ^{a}	4.17 ^{a}	2.98 ^{a}	4.23 ^{a}	67.6 ^{b}	4.18 ^{a}
	مراک Merak	19.3 ^{b}	37.1 ^{b}	15.4 ^{a}	6.30 ^{b}	4.19 ^{c}	4.10 ^{a}	2.61 ^{b}	3.69 ^{b}	71.1 ^{a}	3.99 ^{a}
	شریف Sharif	21.1 ^{ab}	30.5 ^{c}	14.6 ^{b}	7.02 ^{a}	4.78 ^{b}	4.12 ^{a}	2.94 ^{a}	4.14 ^{a}	66.6 ^{b}	2.89 ^{b}

*: برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$).

For each factor and in each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different based on LSD test ($p \leq 0.05$).

عملکرد ریشه

روند تغییرات عملکرد ریشه ارقام مختلف در تاریخ کاشت‌ها و مکان‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. در منطقه شیروان افزایش وزن ریشه از حدود ۲۱۰ روز پس از کاشت شروع شد، در نتیجه فرصت کافی برای رشد و افزایش وزن تا زمان برداشت نداشت. در مقابل در مناطق مشهد و خضری روند افزایش وزن ریشه از روز ۱۷۰ پس از کاشت آغاز شد و هر سه رقم به‌ویژه در تاریخ کاشت اول و دوم توانستند حداکثر عملکرد غده را تولید کنند (شکل ۵). در تاریخ کاشت اول به‌خصوص در منطقه مشهد به دلیل افزایش ساقه‌روی ارقام، وزن ریشه در مرحله قبل از برداشت کاهش یافت (شکل ۵). اختلاف بین ارقام در مناطق شیروان جزئی بود ولی در منطقه مشهد و خضری در هر سه تاریخ کاشت، رقم گیادا بیشترین و رقم شریف کمترین عملکرد ریشه را داشتند (شکل ۵)، هر چند در مراحل آخر رشد، وزن ریشه رقم گیادا در تاریخ کاشت اول و دوم به دلیل ساقه‌روی کاهش یافت (شکل ۵). همبستگی بین عملکرد ریشه و درصد ساقه‌روی مثبت و معنی‌دار (*۰/۴۵) بود (جدول ۵). یک دلیل برای وجود این همبستگی می‌تواند این باشد که در منطقه شیروان که درصد ساقه‌روی کم بوده، عملکرد ریشه نیز بسیار کم بوده است و همچنین در تاریخ کاشت اول در مناطق مشهد و خضری که بالاترین درصد ساقه‌روی را داشتند، عملکرد ریشه نیز بالا بوده است که همین عوامل باعث به‌وجود آمدن همبستگی مثبت شده است.



شکل ۵- روند افزایش عملکرد ریشه ارقام مختلف چغندرقند در تاریخ کاشت‌های مختلف و مکان‌های مختلف

A، B و C: به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه شیروان؛ D، E و F به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه مشهد و G، H و I به‌ترتیب تاریخ کاشت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ مهر در منطقه خضری

Figure 5- The trend of increasing of root weight of sugar beet cultivars in different planting dates and regions of Khorasan province

A, B, C: planting dates of 2, 7, and 12 October in Shirvan region, respectively; D, E, F, planting dates of 2, 7, and 12 October in Mashhad region, respectively, and G, H, I: planting dates of 2, 7, and 12 October in Khezri region, respectively.

جدول ۵- جدول همبستگی بین برخی ویژگی‌های کمی و کیفی چغندر قند تحت تأثیر رقم و تاریخ کاشت‌های مختلف

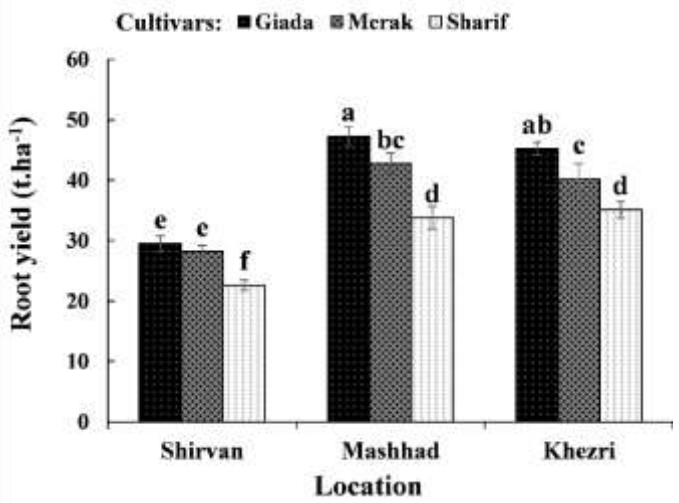
Table 5- Correlation table between some quantitative and qualitative characteristics of sugar beet cultivars under different planting dates

صفات Trails	ساقه‌روی Bolting (1)	عملکرد ریشه Root yield (2)	قند ناخالص (عیار) Sugar content (3)	پتاسیم K (4)	سدیم Na (5)	ازت مضره N (6)	قلیائیت Alkalinity coefficient (7)	قند ملاس Malas (8)	ضریب استحصال Extraction coefficien (9)	عملکرد شکر سفید White sugar yield (10)
(2)	0.45*									
(3)	-0.78**	-0.58**								
(4)	0.59**	0.19ns	-0.67**							
(5)	0.56**	0.68**	-0.68**	0.49**						
(6)	-0.27ns	-0.62**	0.48*	-0.10ns	-0.27ns					
(7)	0.59**	0.74**	-0.77**	0.56**	0.79**	-0.76**				
(8)	0.64**	0.53**	-0.74**	0.77**	0.93**	-0.16ns	0.75**			
(9)	-0.81**	-0.56**	0.94**	-0.74**	-0.84**	0.29ns	-0.77*	-0.91**		
(10)	-0.43*	0.43*	0.46*	-0.55**	-0.12ns	-0.27ns	-0.04ns	-0.34ns	0.48ns	

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

ns=not significant, significant at 0.05, 0.01 probability level

اثر منطقه، تاریخ کاشت، رقم در سطح یک درصد و همچنین اثر متقابل منطقه در رقم در سطح پنج درصد بر عملکرد ریشه چغندرقند معنی‌دار بود (جدول ۳). در منطقه شیروان، ارقام گیادا و مراک و در مناطق مشهد و خضری رقم گیادا از عملکرد ریشه بیشتری برخوردار بودند (شکل ۶). رقم گیادا در منطقه مشهد با ۴۷/۳ تن در هکتار بیشترین و رقم شریف در منطقه شیروان با ۲۲/۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را داشتند (شکل ۶).



شکل ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در رقم بر عملکرد ریشه چغندرقند

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 6- Mean comparison of interactions of location, and cultivar for root yield of sugar beet

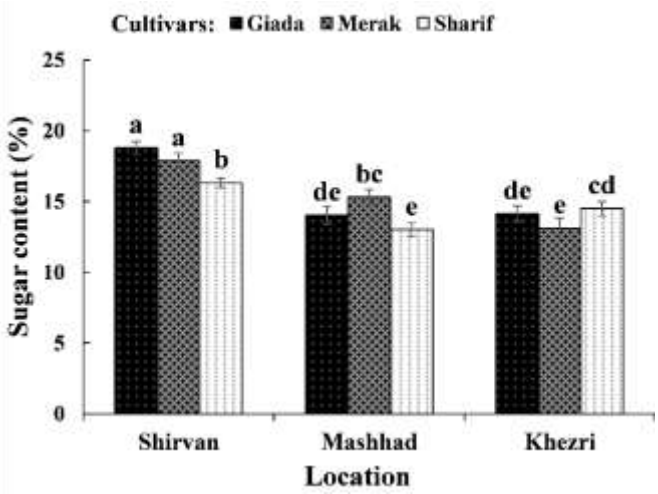
The bars indicate standard error of the mean.

منطقه شیروان عملکرد ریشه کمتری نسبت به دو منطقه دیگر داشت. تاریخ کاشت دوم (۱۵ مهر) با ۳۸/۴ تن در هکتار بیشترین عملکرد ریشه را داشت که البته با تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) اختلاف معنی‌داری نداشت. رقم گیادا با متوسط عملکرد ۴۰/۷ تن در هکتار بیشترین و رقم شریف با ۳۰/۵ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را داشتند (شکل ۶). افزایش عملکرد ریشه ممکن است به شرایط آب و هوایی خوب نسبت داده شود که باعث فتوسنتز و بهبود رشد چغندرقند و در نتیجه افزایش حجم و وزن ریشه در بوته و در نهایت سبب

افزایش عملکرد ریشه می‌شود. نتایج مشابهی توسط سایر محققین گزارش شده است که کاشت در ماه اکتبر (مهر) عملکرد ریشه را در مقایسه با کاشت زودهنگام در سپتامبر (شهریور) و یا دیرهنگام در نوامبر (آبان) به‌طور قابل‌توجهی افزایش داده است (Leilah *et al.*, 2008; Maralian *et al.*, 2008; Refay, 2010; El-Hag *et al.*, 2015; Hoosin *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2019). در پژوهش هافمن و کلاگ سورین (Hoffmann & Kluge-Severin, 2011) که کشت پاییزه و بهاره چغندرقند در تاریخ‌های مختلف کاشت و برداشت، را با یکدیگر مقایسه کردند، مشاهده شد که در همه‌ی تیمارها با افزایش دوره رشد و تأخیر در برداشت و تاریخ کاشت‌های زود هنگام، عملکرد ریشه افزایش یافت که دلیل این امر دریافت درجه روز رشد بیشتر به‌واسطه افزایش طول دوره رشد بود. کاشت زودهنگام باعث می‌شود تا قبل از شروع سرمای زمستان، سطح برگ کافی ایجاد شود و گیاه زمستان‌گذرانی مطلوبی داشته باشد و در پایان زمستان که شرایط محیطی مناسب شد حداکثر جذب نور و فتوسنتز صورت گرفته و در نتیجه سرعت رشد مناسبی در بهار حاصل شود (Nikpanah *et al.*, 2010; Al-Jbawi *et al.*, 2015; Nikpanah *et al.*, 2015).

درصد قند ناخالص (عیار)

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر منطقه، تاریخ کاشت، رقم و همچنین اثر متقابل منطقه در رقم در سطح یک درصد بر عیار چغندرقند معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین عیار قند (۱۸/۷۸ درصد) مربوط به رقم گیادا در منطقه شیروان و کمترین عیار (۱۳/۰۱ درصد) در رقم شریف در منطقه مشهد مشاهده شد (شکل ۷). به طور کلی میانگین عیار قند ارقام در منطقه شیروان ۱۷/۷ درصد بود که به‌طور معنی‌داری بیشتر از منطقه مشهد و خضری بود (جدول ۴). همچنین صرف‌نظر از منطقه و رقم، تاریخ کاشت سوم بیشترین (۱۶/۴ درصد) و تاریخ کاشت اول کمترین (۱۳/۹ درصد) عیار قند را دارا بودند (جدول ۴). در بین ارقام نیز میانگین عیار قند رقم شریف (۱۴/۶ درصد) به‌طور معنی‌داری کمتر از دو رقم دیگر بود (جدول ۴). وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (**۰/۵۸-) بین عملکرد ریشه و عیار قند نشان‌دهنده آن است که اندازه ریشه رابطه عکس با درصد قند ناخالص دارد (جدول ۵). همچنین وجود همبستگی منفی و معنی‌دار (**۰/۷۸-) بین عیار قند و درصد ساقه‌روی نشان‌دهنده تاثیر ساقه‌روی بر درصد قند است که می‌توان با تنظیم تاریخ کاشت جهت حداقل ساقه‌روی به درصد بالاتر عیار دست یافت (Taleghani *et al.*, 2011). بساطی و همکاران (Basati *et al.*, 2002) نیز گزارش کردند که تاریخ کاشت بر درصد و عملکرد قند اثرگذار بوده است. ایشان دلیل کاهش درصد قند را پدیده ساقه‌روی ذکر کردند که باعث شده مقدار قابل‌توجهی از قند ذخیره شده صرف تولید ساقه گردیده و گیاه با افت درصد قند در ریشه مواجهه گردیده است.



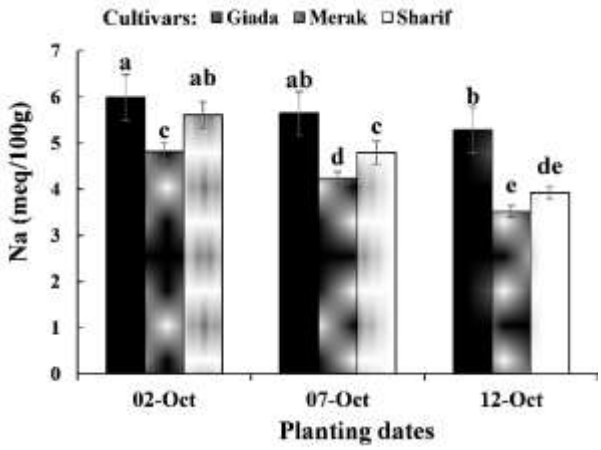
شکل ۷- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در رقم بر عیار قند چغندر
میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 7- Mean comparison of interactions of location, and cultivar for sugar content of sugar beet
The bars indicate standard error of the mean.

میزان پتاسیم، سدیم و ازت مضره در خمیر ریشه

تاریخ‌های مختلف کاشت به‌طور معنی‌داری بر صفات کیفی چغندرقند، شامل محتوای پتاسیم، سدیم و ازت مضره تأثیر گذاشت (جدول ۳). تاریخ کاشت ۲۰ مهر در مقایسه با تاریخ کاشت‌های زودتر

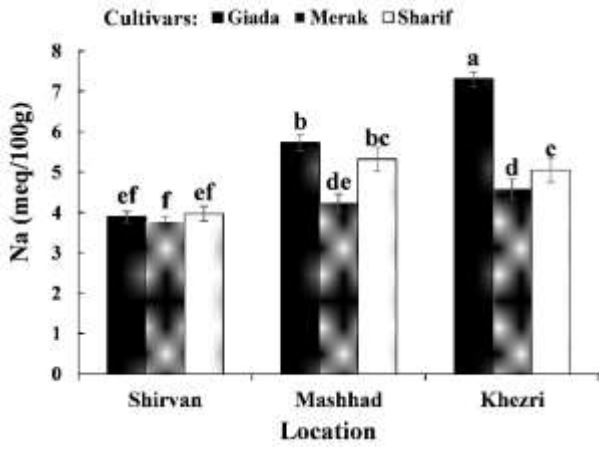
به‌طور معنی‌داری ناخالصی‌ها را کاهش داد. برخی محققان نیز گزارش کردند که تاریخ کاشت به دلیل وجود نوسان در محتوای رطوبت و دمای خاک کیفیت چغندرقند را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Leilah *et al.*, 2005; Maralian *et al.*, 2008; Illkaee *et al.*, 2016). علاوه بر این، سلماسی و همکاران (Salmasi *et al.*, 2006) و ال هاج و همکاران (El-Hag *et al.*, 2015) مشاهده کردند که همبستگی بسیار مثبتی بین عوامل اقلیمی و ویژگی‌های کیفی چغندرقند وجود دارد. همچنین اثر منطقه بر میزان سدیم و ازت مضره خمیر ریشه معنی‌دار بود (جدول ۳). به طوری که ریشه‌های رشد یافته در منطقه شیروان دارای کمترین میزان سدیم و بیشترین میزان نیتروژن مضره بودند (جدول ۴). با توجه به معنی‌دار بودن اثر متقابل منطقه در رقم و تاریخ کاشت در رقم برای میزان سدیم (جدول ۳) مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم گیادا در منطقه خضری بیشترین (۷/۳۱) و رقم مراک در منطقه شیروان کمترین (۳/۷۶) میزان سدیم خمیر ریشه را داشتند (شکل ۸). همچنین میزان سدیم در رقم گیادا در تاریخ کاشت اول بیشترین (۵/۹۹) و در رقم مراک در تاریخ کاشت سوم کمترین (۳/۵۲) بود (شکل ۹).



شکل ۹- مقایسه میانگین اثرمتقابل تاریخ کاشت در رقم بر میزان سدیم ریشه چغندرقند

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

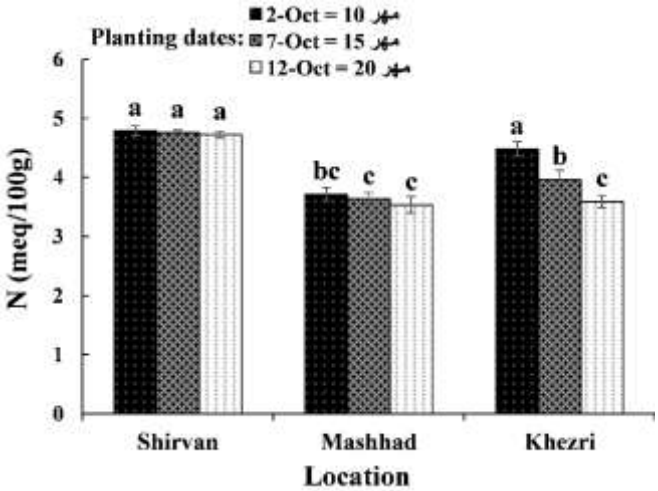
Figure 9- Mean comparison of interactions of planting date, and cultivar for Na content.
The bars indicate standard error of the mean.



شکل ۸- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در رقم بر میزان سدیم ریشه چغندرقند

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 8- Mean comparison of interactions of locations, and cultivar for Na content.
The bars indicate standard error of the mean.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در تاریخ کاشت بر میزان ازت مضره ریشه چغندر

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 10- Mean comparison of interactions of location, and planting date for N content.
The bars indicate standard error of the mean.

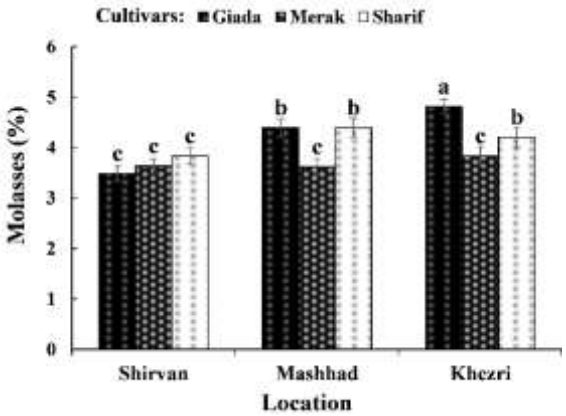
نتایج مقایسه میانگین اثر منطقه در تاریخ کاشت برای میزان ازت مضره نشان داد که در منطقه شیروان و مشهد بین تاریخ‌های مختلف کاشت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، ولی در منطقه خضری با تأخیر در کاشت، میزان ازت مضره به‌طور معنی‌داری از ۴/۴۸ به ۳/۵۹ کاهش یافت (شکل ۱۰). این نتایج با نتایج به‌دست آمده توسط سایر محققان مطابقت دارد (Maralian *et al.*, 2008; Refay, 2010; Somayeh *et al.*, 2012; Nikpanah *et al.*, 2015; Al-Jbawi & Al-Zubi, 2016).

ضریب قلیائیت

اثر منطقه، رقم و اثرات متقابل منطقه در رقم بر ضریب قلیائیت در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثر تاریخ کاشت معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در رقم نشان داد که در منطقه شیروان، بین ارقام اختلاف معنی‌داری از لحاظ ضریب قلیائیت وجود نداشت ولی در منطقه مشهد و خضری، رقم مراک ضریب قلیائیت کمتری نسبت به سایر ارقام داشت. به‌طور کلی نیز منطقه شیروان نسبت به دو منطقه دیگر از ضریب قلیائیت کمتری برخوردار بود (جدول ۴). همچنین رقم مراک با ۲/۶۱ به‌طور معنی‌داری از سایر ارقام از ضریب قلیائیت کمتری برخوردار بود (جدول ۴). در آزمایش جواهری و همکاران (Javaheri *et al.*, 2006) ارقام مورد مطالعه ایشان از نظر ضریب قلیائیت با هم تفاوت معنی‌داری داشتند. در مقابل در تحقیقی که اشرف منصوری و همکاران (Ashraf Mansouri *et al.*, 2013) در فسا انجام دادند تفاوتی بین ارقام و تاریخ کاشت‌ها از نظر میزان ضریب قلیائیت وجود نداشت.

قند ملاس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر منطقه، تاریخ کاشت، رقم و همچنین اثر متقابل منطقه در رقم در سطح یک درصد بر درصد قند ملاس معنی‌دار بود (جدول ۳). بیشترین میزان قند ملاس در تاریخ کاشت اول (۴/۴۳ درصد) و کمترین آن در تاریخ کاشت سوم (۳/۵۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۴). رقم مراک دارای کمترین قند ملاس بود که با دو رقم دیگر تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۴). در منطقه شیروان، بین ارقام اختلاف معنی‌داری از لحاظ قند ملاس وجود نداشت ولی در منطقه مشهد و خضری، رقم مراک کمترین قند ملاس را داشتند که از این نظر نسبت به سایر ارقام برتری داشت (شکل ۱۱). به نظر می‌رسد که با افزایش محتوای ناخالصی‌ها میزان قند ملاس نیز افزایش یافت و گواه آن وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار قند ملاس با پتاسیم (۰/۷۷**) و با سدیم (۰/۹۳**) است (جدول ۵). تفاوت موجود بین ارقام در خصوص این صفات ممکن است به تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی هر رقم و پاسخ آن به شرایط محیطی نسبت داده شود. این نتایج با نتایج سایر محققین (Gobarah & Mekki, 2005; Enan *et al.*, 2009; Shalaby *et al.*, 2011) مطابقت دارد



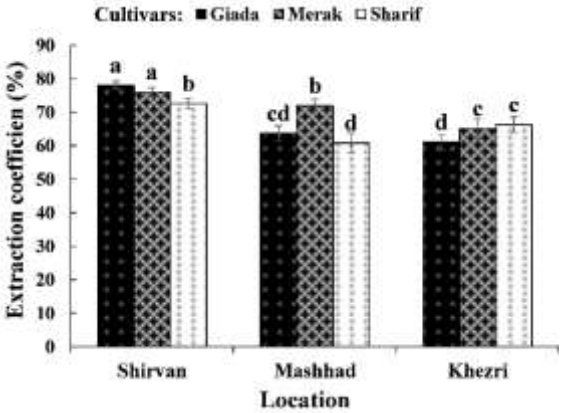
شکل ۱۱- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در تاریخ کاشت بر میزان قند ملاس چغندر
میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 11- Mean comparison of interactions of location, and planting date for Molasses.
The bars indicate standard error of the mean.

ضریب استحصال

ضریب استحصال تحت تأثیر منطقه، تاریخ کاشت، رقم و اثر متقابل منطقه در رقم قرار گرفت (جدول ۳). رقم گیادا در منطقه شیروان دارای بالاترین ضریب استحصال (۷۸/۱ درصد) و کمترین ضریب استحصال (۶۰/۸ درصد) نیز مربوط به رقم شریف در منطقه مشهد بود (شکل ۱۲). به طور کلی رقم مراک بیشترین ضریب

استحصال (۷۱/۱ درصد) و رقم شریف با میانگین ۶۶/۶ درصد کمترین ضریب استحصال را به خود اختصاص داد که با رقم گیادا اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۴). صرف‌نظر از منطقه و رقم، تاریخ کاشت اول کمترین (۶۲/۳ درصد) و تاریخ کاشت سوم بیشترین (۷۴/۲ درصد) ضریب استحصال را سبب شدند (جدول ۴). ضریب استحصال، همبستگی مثبت و معنی‌دار با عیار قند (۰/۹۴**) و همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد ریشه (۰/۵۶**-) و قند ملاس (۰/۹۱**-) داشت (جدول ۵). بنابراین با افزایش میزان پتاسیم، سدیم و نیتروژن مضره در ریشه میزان قند موجود در ملاس افزایش یافته و در نتیجه باعث کاهش ضریب استحصال شده است (Javaheri *et al.*, 2006).



شکل ۱۲- مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در رقم بر ضریب استحصال شکر چغندر
میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند

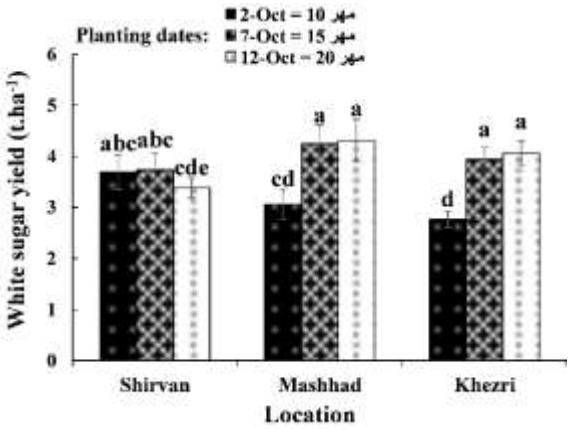
Figure 12- Mean comparison of interactions of location, and cultivar for extraction coefficient.
The bars indicate standard error of the mean.

عملکرد شکر سفید

اثر تاریخ کاشت، رقم و اثرمتقابل منطقه در رقم در سطح یک درصد و اثرمتقابل منطقه در تاریخ کاشت در سطح پنج درصد بر عملکرد شکر سفید معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در رقم نشان داد که در مناطق شیروان و خضری رقم گیادا و در منطقه مشهد رقم مراک بیشترین عملکرد شکر سفید را داشتند که البته در مناطق شیروان و مشهد بین ارقام گیادا و مراک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۱۳). در منطقه خضری رقم گیادا با تولید ۳/۹۷ تن در هکتار به‌طور معنی‌داری نسبت به دو رقم دیگر از عملکرد شکر سفید بیشتری برخوردار بود (شکل ۱۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در تاریخ کاشت نیز نشان داد که در منطقه شیروان، عملکرد شکر سفید در تاریخ کاشت‌های مختلف معنی‌دار نبود ولی در مناطق مشهد و خضری تاریخ کاشت‌های دوم و سوم به‌طور معنی‌داری نسبت به تاریخ کاشت اول از عملکرد شکر سفید بالاتری برخوردار بودند (شکل ۱۴). عملکرد شکر سفید، همبستگی مثبت و معنی‌دار با عملکرد ریشه (۰/۴۳*) داشت (جدول ۵). عملکرد شکر سفید از حاصلضرب عملکرد ریشه در درصد قند خالص به‌دست می‌آید. ناخالصی‌های ریشه از طریق کاهش قند قابل استحصال موجب کاهش عملکرد شکر سفید می‌شوند (Javaheri *et al.*, 2006). حمایتی و همکاران (Hemayati *et al.*, 2012) نیز گزارش کردند که با تأخیر در کاشت عملکرد شکر سفید کاهش می‌یابد. معمولاً بین ارقام نیز از نظر عملکرد شکر سفید تفاوت معنی‌داری وجود دارد و انتظار می‌رود ارقامی که در تاریخ کاشت‌های زودهنگام، عملکرد بیشتری دارند در تاریخ کاشت‌های بعدی نیز عملکرد بیشتری نسبت به ارقام دیگر داشته باشند (Hemayati *et al.*, 2012). جواهری و همکاران (Javaheri *et al.*, 2006) نیز بیان کردند که عملکرد شکر سفید تحت تأثیر رقم قرار گرفته است. وجود تفاوت بین ارقام چغندرقند از نظر عملکرد شکر سفید توسط محققان متعدد (El-Sheikh *et al.*, 2009; Awad *et al.*, 2014; El-Hag *et al.*, 2015; Kumar *et al.*, 2019) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

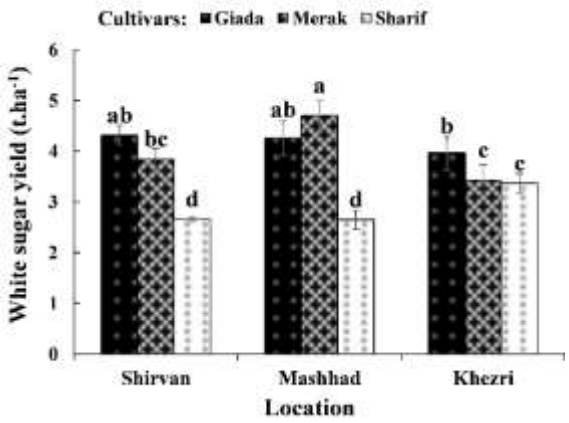
انتخاب تاریخ کاشت در مناطق با ریسک بالا برای کشت پاییزه در درجه اول با هدف کاهش ساقه‌روی و تنش سرمازدگی است. در این تحقیق در هیچ‌یک از تیمارهای مورد بررسی خطر سرمازدگی اتفاق نیفتاد. با توجه به نقش کلیدی تاریخ کاشت در بروز ساقه‌روی و اثر آن بر رشد و عملکرد کمی وکیفی چغندرقند، تعیین دقیق آن در مناطق اقلیمی و ارقام مختلف، حائز اهمیت است.



شکل ١٤- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در تاریخ کاشت بر عملکرد شکر سفید چغندر

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 14- Mean comparison of interactions of location, and planting date for white sugar yield. The bars indicate standard error of the mean.



شکل ۱۳- مقایسه میانگین اثرمتقابل منطقه در رقم بر عملکرد شکر سفید چغندر

میله‌ها نشان‌دهنده خطای استاندارد میانگین هستند.

Figure 13- Mean comparison of interactions of location, and cultivar for white sugar yield. The bars indicate standard error of the mean.

در تاریخ کاشت اول (۱۰ مهر) در منطقه مشهد برای هر سه رقم بیشترین درصد ساقه‌روی (۷۸ تا ۹۰ درصد) مشاهده شد. با تأخیر در کاشت از ۱۰ مهر تا ۲۰ مهر، به شدت از درصد ساقه‌روی ارقام کاسته شد. همچنین ارقام در تاریخ کاشت سوم (۲۰ مهر) در تمامی مناطق، درصد ساقه‌روی کمتر از ۱۰ درصد داشتند. رقم گیادا در منطقه مشهد با ۴۷/۳ تن در هکتار بیشترین و رقم شریف در منطقه شیروان با ۲۲/۶ تن در هکتار کمترین عملکرد ریشه را داشتند. منطقه شیروان عملکرد ریشه کمتری نسبت به دو منطقه دیگر داشت. بیشترین عیار قند (۱۸/۷۸ درصد) مربوط به رقم گیادا در منطقه شیروان و کمترین عیار (۱۳/۰۱ درصد) در رقم شریف در منطقه مشهد مشاهده شد. به‌طور کلی در مناطق شیروان و خضری رقم گیادا بیشترین عملکرد شکر سفید را داشت، ولی در منطقه مشهد رقم مراک با تولید ۴/۷۰ تن در هکتار بیشترین عملکرد شکر سفید را دارا بود. همچنین در منطقه شیروان تاریخ کشت ۱۰ مهر و در مناطق مشهد و خضری تاریخ کشت ۱۵ مهرماه می‌تواند منجر به حداکثر تولید عملکرد شکر سفید شود.

سپاسگزاری

بخشی از هزینه‌های انجام این پژوهش توسط معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح شماره ۳/۵۲۶۶۵ مصوب ۱۳۹۹/۸/۲۷ تأمین شده است، که بدین وسیله قدردانی می‌شود.

References

1. Abdollahian Noghabi, M., Sheykholeslami, M., & Babaei, J. (2005). Terms and meanings of technological quantity and quality of sugar beet. *Journal of Sugar Beet, 21*, 101-104. (in Persian with English abstract) https://doi.org/10.22092/JSB.2005.8201
2. Adibifard, N., Habibi, D., Bazrafshan, M., Taleghani, D. F., & Ilkaee, M. N. (2019). Study of the climatic condition of Fars province for the development of autumn-sown sugar beet planting using Geographic Information System (GIS). *Journal of Sugar Beet, 35*(1), 13-31. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/JSB.2019.116356.1169
3. Adibifard, N., Habibi, D., Bazrafshan, M., Taleghani, D. F., & Ilkaee, M. N. (2017). Investigating of cultivating the autumn sugar beet in Fars Province (Zarghan). *International Journal of Research Studies in Agricultural Sciences (IJRSAS), 3*, 1-9.
4. Al-Jbawi, E. M., & Al-Zubi, H. I. (2016). Effect of sowing date and length of storage on storability in sugar beets (*Beets vulgaris* L.) piles. *Scholarly Journal of Agriculture Science, 6*(1), 25-31.
5. Al-Jbawi, E. M., Sabsabi, W., Gharibo, G. A., & Omar, A. E. A. (2015). Effect of sowing date and plant density on bolting of four sugar beet (*Beta vulgaris* L.) varieties. *International Journal of Environment, 4*(2), 256-270. https://doi.org/10.3126/ije.v4i2.12647

6. Ashraf Mansouri, G., Sharifii, M., & Hamdi, F. (2013). Study of autumn sowing of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Fasa area. *Journal of Sugar Beet, 29*(1), 37-43. https://doi.org/10.22092/jsb.2013.1299
7. Awad, M., Abdel-Daim, A., & Sahar, M. I. M. (2014). Evaluation of six sugar beet cultivars under three harvesting dates. *Journal of Agricultural Research, 39*(1), 121-130.
8. Basati, J., Koolivand, M., Nemati, A., & Zarei, A. (2002). Evaluation of autumn-sown sugar beet production possibility in Kermanshah warm regions. *Journal of Sugar Beet, 18*(2), 119-130. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jsb.2003.8279
9. Draycott, P. (2006). *Sugar Beet*. Blackwell publishing Ltd. 514 pp.
10. El-Hag, M. A., Ahmed, A. O., & Ragga, P. W. M. (2015). Evaluation of sowing date and harvesting ages of some sugar beet (*Beta vulgaris* L.) cultivars under Guneid condition (Sudan). *International Journal of Agriculture, 3*(9), 421-424.
11. El-Sheikh, S. R. E., Khaled, K. A. M., & Enan, S. A. A. M. (2009). Evaluation of some sugar beet varieties under three harvesting dates. *Mansoura University Journal of Agricultural Sciences, 34*(3), 1559-1567. https://doi.org/10.21608/jacb.2009.90288
12. Enan, S. A. A. M., El-Sheikh, S. R. E., & Khaled, K. A. M. (2009). Evaluation of some sugar beet varieties under different levels of N and Mo fertilization. *Journal of Biological Chemistry, 4*(1), 345-362.
13. FAO. (2020). Food and Agriculture Organization. Crop production sugar beet. In: Statistical Yearbook. FAO Rome.
14. Ghasemi, S., Sadeghzadeh Hemayati, S., Taleghani, D, Siavashi, K., & Hosseinpour, M. (2020). Determination of the proper planting date and harvest of commercial sugar beet cultivars in autumn cultivation in Ilam province. *Journal of Sugar Beet, 36*(1), 15-25. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jsb.2021.343129.1240
15. Gobarah, M. E., & Mekki, B. B. (2005). Influence of boron application on yield and juice quality of some sugar beet cultivars grown under saline soil conditions. *Journal of Applied Sciences Research, 1*(5), 373-379.
16. Hemayati, S., Shirzadi, M., Aghaeezadeh, M., Taleghani, D., Javaheri, M., & Aliasghari, A. (2012). Evaluation of sowing and harvesting date effects on yield and quality of five sugar beet cultivars in Jiroft region (autumn planting). *Journal of Sugar Beet, 28*(1), 42-25. https://doi.org/10.22092/jsb.2012.659
17. Hoffmann, C. M., & Kluge-Severin, S. (2011). Growth analysis of autumn and spring sown sugar beet. *European Journal of Agronomy, 34*, 1-9. https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.09.001
18. Hoosin, M. F., Khaliq, Q. A., & Karim, A. (2015). Effect of sowing date on growth and yield of tropical sugar beet. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research, 7*(1), 53-60.
19. Illkaee, M. N., Babaei, Z., Baghdadi, A., & Golzardi, F. (2016). Effect of different planting dates and defoliation on the properties of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences, 4*(1), 52-58. http://doi.org/10.18006/2015.4(1).52.58
20. Jaggard, K., & Werker, A. (1999). An evaluation of the potential benefits and costs of autumn-sown sugar beet in NW Europe. *Journal of Agricultural Science, 132*(1), 91-102. https://doi.org/10.1017/S002185969800608X
21. Javaheri, M. A., Najafinejad, H., & Azad Shahraki, F. (2006). Investigating the possibility of autumn beet cultivation in Arzooieh region (Kerman province). *Journal of Pajhouhesh and Sazandegi, 71*, 93-85. (in Persian with English abstract).
22. Kandil, A. A., Bandawi, M. A., El-Moursy, S. A., & Abdou, U. M. A. (2004). Effect of planting dates, nitrogen levels and biofertilization treatments on growth attributes of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Science Journal of King Faisal University, 5*(2), 227-237.
23. Kumar, D., Lamani, A., & Halikatti, S. I. (2019). Performance of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to different dates of sowing under temperature regime. *International Journal of Plant and Soil Science, 27(1)*, 1-12. http://doi.org/10.9734/ijpss/2019/v27i130067
24. Leilah, A. A., Badawi, M. A., Said, E. M., Ghonema, M. H., & Abdou, M. A. E. (2005). Effect of planting dates, plant population and nitrogen fertilization on sugar beet productivity under the newly reclaimed sandy soils in Egypt. *Science Journal of King Faisal University, 6*(1), 95-110.
25. Maralian, H., Tobeh, A. A. S., Mikail, R. D., & Aghabarati, A. (2008). Effect of sowing date and limited irrigation on root yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *Asian Journal of Plant Sciences, 7*(3), 298-303. https://doi.org/10.3923/ajps.2008.298.303
26. Nabipour, Z., Habibi, D., Ahmadi, M., Taleghani, D., & Kashani, A. (2019). Study of climatic suitability for autumn sugar beet planting in North- and South Khorasan as well as Khorasan-e Razavi provinces using Geographic Information System (GIS). *Journal of Sugar Beet, 34*(2), 165-179. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/jsb.2019.116149.1168
27. Nikpanah, H., Seifzadeh, S., Hemayati, S. S., Shiranirad, A., & Taleghani, D. F. (2015). Effects of management of agronomical factors on sugar beet stickling production and growth. *International Journal of Bioinformatics Research and Applications, 7*(2), 959-964.
28. Nikpanah, H., Taleghani, D. F., Noormohammadi, G., & Khodadadi, S. (2010). Study of effects of planting and

harvesting dates on quantity and quality of monogerm sugar beet seed in Firoozkooh, Iran. *Journal of Plant Ecophysiology*, *2*(7), 37-45. (in Persian with English abstract).

29. Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., & Jauhiainen, L. (2011). Climate-induced overwintering challenges for wheat and rye in northern agriculture. *Acta Agriculture Scandinavica, Section B Soil and Plant Science*, *61*(1), 75-83. https://doi.org/10.1080/09064710903535977
30. Ramazan, C. (2002). Root yield and quality of sugar beet in relation to sowing date, plant population and harvesting date interactions. *Turk Journal of Agriculture and Forestry*, *26*, 133-139.
31. Refay, Y. A. (2010). Root yield and quality traits of three sugar beet (*Beta vulgaris* L.) varieties in relation to sowing date and stand densities. *World Journal of Agriculture Sciences*, *6*(5), 589-594.
32. Reinsdorf, E., & Koch, H. (2013). Modeling crown temperature of winter sugar beet and its application in risk assessment for frost killing in central Europe. *Journal of Agriculture Forest Meteorology*, *182-183*, 21-30. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2013.08.001
33. Rinaldi, M., & Vonella, A. V. (2006). The response of autumn and spring sown sugar beet (*Beta vulgaris* L.) to irrigation in southern Italy: water and radiation use efficiency. *Field Crops Research*, *95*, 103-114. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.12.004
34. Sadeghian Mottahar, S. Y. (1999). *Bolting, undesirable phenomenon in sugar beet*. Agricultural Education and Extension Publication No.12. Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran. (in Persian).
35. Salmasi, S. Z., Golezani, K. G., & Moghbeli, S. (2006). Effect of sowing date and limited irrigation on the seed yield and quality of dill (*Anethum graveolens* L.). *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*, *30*(4), 281-286.
36. Shalaby, N. M. E., Osman, A. M. H., & Allabbody, A. H. S. A. (2011). Relative performance of some sugar beet varieties under three plant densities in newly reclaimed soil. *Egyptian Journal of Agriculture and Research*, *89*(1), 291-299. https://doi.org/10.21608/ejar.2011.174272
37. Sogut, T., & Arioglu, H. (2004). Plant density and sowing date effects on sugar beet yield and quality. *Journal of Agronomy*, *3*(3), 215-218. https://doi.org/10.3923/ja.2004.215.218
38. Somayeh, K., Mehraban, A., Mobasser, H. R., & Zahra, B. (2012). Sowing date and transplant root size effect on transplanted sugar beet in spring planting. *Annals of Biological Research*, *3*(7), 3474-3478.
39. Stibbe, C., & Marlander, B. (2002). Field emergence dynamics significance to intraspecific competition and growth efficiency in sugar beet (*Beta vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy*, *17*, 161-171. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00005-9
40. Taleghani, D., Moharamzadeh, M., Sadeghzadeh Hemayati, S., Mohammadian, R., & Farahmand, R. (2011). Effect of planting and harvesting date on yield of autumn sown sugar beet in Moghan area. *Seed and Plant Production Journal*, *27*(3), 371-355. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/sppj.2017.110442
41. Taleghani, D., Sharifi, H., Ahmadi, M., Asharfmansouri, G., Moharramzadeh, M., Javaheri, M., Bassati, J., Ebrahamian, H., Hemayati, S., Aghaezadeh, M., Abdollahian, M., Urazizadeh, M. R., Norbina, A., Hosseinpour, M., Sadeghian Mottahar, S. Y., Mohammadian, R., Mahmoudi, S. B., & Yousefabadi, V. A. (2010). *Development of autumn sugar beet cultivars in Iran*, pp. 81-95. In: Proceedings of the 11th Crop Sciences Congress of Iran. (in Persian with English abstract).
42. Vico, G., Hurry, V., & Weih, M. (2014). Snowed in for survival: quantifying the risk of winter damage to overwintering field crops in northern temperate latitudes. *Agricultural and Forest Meteorology*, *197*, 65-75. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.06.003

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 401-415

Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations

J. Etezadi Jame[1], S. V. Eslami[2*], M. Jami Al-Ahmadi[2], M. H. Sayyari[2]

Received: 13-12-2021 Revised: 10-06-2022 Accepted: 13-06-2022	**How to cite this article:** Etezadi Jame, J., Eslami, S. V., Jami Al-Ahmadi, M., & Sayyari, M. H. (2023). Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(4): 401-415. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

Introduction

There is an urgent need to increase per capita food production to compete with high population growth while maintaining environmental sustainability. Because nitrogen plays a vital role in food production for humans and livestock, nitrogen management is essential in food production. In most cropping systems, nitrogen management seems to be a major challenge due to its high mobility and natural tendency for losses from the soil-plant system to the environment. Soil organic carbon plays a key role in improving soil ecological conditions. Adding organic matter to the soil is an excellent tool for improving physical, chemical and biological conditions and is almost always desirable. Soil organic carbon stock of crop ecosystems may be increased by improving farming practices. The application of green manure, fertilizer and the return of crop straw into the soil are known as management operations to increase soil organic carbon. Fertilizers, especially nitrogen, increase crop yield, and organic carbon is returned to the soil through roots and debris, which in most cases leads to increased soil organic carbon.

Materials and Methods

This study was conducted with the aim of utilizing a set of improving farming practices in diverse cropping systems to improve nitrogen efficiency during two crop years. Farming practices including removal of summer fallow were used by importing three crops of mung bean, corn and wild rocket in rotation plus nitrogen supply levels factor. The crop rotation factor was applied in four levels of Fallow-wheat, mung bean-wheat, corn-wheat and wild rocket-wheat and the factor of nitrogen fertilizer (0, 180 and 360 $kg.ha^{-1}$) in a randomized complete block design as factorial. Soil mineral nitrogen (nitrate and ammonium) were measured before sowing wheat and grain, straw and total plant nitrogen after harvest. Uptake efficiency, utilization efficiency, agronomic efficiency and nitrogen harvest index were calculated.

Results and Discussion

The results of combined analysis of variance showed that the crop rotation and nitrogen were significantly effective ($\rho \leq 0.01$) on plant nitrogen, harvest index and nitrogen efficiency. Increasing nitrogen fertilizer up to 360 $kg.ha^{-1}$ increased grain nitrogen, straw nitrogen, total plant nitrogen and also nitrogen harvest index. While the best uptake, utilization and agronomic efficiency of nitrogen was observed on the treatment without nitrogen fertilizer. Comparison of the means showed that the wild rocket-wheat crop rotation had the best result among all measured traits except utilization efficiency, while the utilization efficiency in the corn-wheat crop rotation showed the best performance. The results clearly show the effect of increasing organic carbon on nitrogen availability and grain nitrogen concentration as well as the role of cover crops and legume, in increasing access to nitrogen. The amount of grain nitrogen was directly affected by the amount of nitrogen fertilizer. The highest correlation coefficient was seen between agronomic and uptake efficiency (r = 0.96**). There was also a significant inverse relationship between nitrogen harvest index and the types of calculated efficiencies. The amount of uptake efficiency and agronomic efficiency in all crop rotations except corn-wheat in the second year

1- Ph.D. candidate of Agronomy, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
(*- Corresponding Author Email: sveslami@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

improved compared to the first year. The highest increase in efficiency in the second year was related to the wild rocket-wheat crop rotation. In the conditions of 360 and 180 $kg.ha^{-1}$ nitrogen fertilizer, the nitrogen harvest index increased in the second year compared to the first year. While in conditions without nitrogen fertilizer, nitrogen harvest index has a significant decrease. Therefore, at least in the short term, to increase the nitrogen harvest index, the minimum supply of nitrogen fertilizer should be used, even under improving crop management conditions such as green manure, removal of fallow and introduction of legumes in rotation and return of crop residues.

Conclusion

Continuous cropping, removal of fallow, use of cover crops and legume and preservation of residues led to increased carbon and nitrogen sequestration in soil and consequently increase biomass and nitrogen concentration in plant tissue. On the other hand, crop rotations that increased soil organic carbon and improved soil fertility quickly improved nitrogen efficiency and nitrogen harvest index.

Keywords: Cover crop, Nitrogen harvest index, Nitrogen use efficiency, Organic carbon

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٤١٥-٤٠١

بررسی کارآمدی مصرف نیتروژن گیاه در تناوب‌های مختلف زراعی

جواد اعتضادی جمع[1]، سید وحید اسلامی[2*]، مجید جامی الاحمدی[2]، محمد حسن سیاری[2]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۳

چکیده

نیتروژن یک نقش مهم و حیاتی در تولید غذا برای انسان و دام دارد و مدیریت نیتروژن در تولید غذا ضروری است. این پژوهش به منظور بهره‌گیری از مجموعه اقدامات زراعی مطلوب و با هدف بهبود کارآمدی مصرف نیتروژن طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کرات تایباد اجرا شد. در این تحقیق عامل تناوب زراعی در چهار سطح آیش-گندم، منداب-گندم، ماش-گندم و ذرت-گندم و عامل کود نیتروژن در سه مقدار ۳۶۰، ۱۸۰ و صفر کیلوگرم در هکتار کود اوره به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد که تناوب زراعی و کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری بر محتوای نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن موثر بود. همچنین تیمار منداب-گندم و ماش-گندم بدون مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب بهترین کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن را از خود نشان دادند. همچنین مقدار کارایی جذب و کارایی زراعی در همه تناوب‌های زراعی به‌جز ذرت-گندم در سال دوم نسبت به سال اول بهبود یافت. افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن و نیتروژن آلی و کاهش تلفات آن مهم‌ترین دلایل بهبود کارایی نیتروژن بودند. نتایج به وضوح نشان داد که با وجود افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از تناوب زراعی، تامین کود نیتروژن ضروری است، در غیر این صورت باعث کاهش محتوای نیتروژن گیاه و شاخص برداشت نیتروژن خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت نیتروژن، کارایی مصرف نیتروژن، کربن آلی، گیاه پوششی

مقدمه

نیاز فوری برای افزایش تولید غذا برای رقابت با رشد جمعیت بالا در حالی‌که پایداری محیطی نیز حفظ شود، وجود دارد (Musyoka *et al.*, 2017). پیش‌بینی می‌شود تقاضای جهانی برای غلات اصلی از قبیل گندم (*Triticum aestivum* L.) بیش از ۷۰ درصد تا سال ۲۰۵۰ افزایش یابد. برای نیل به این هدف، تولید غلات بایستی به‌طور پایداری افزایش یابد و از سوی دیگر ردپای محیطی کشاورزی باید به‌طور جدی کاهش یابد. دسترسی محدود به اراضی کشت نشده بر روی کره زمین و نگرانی‌های محیطی فزاینده در ارتباط با تبدیل جنگل‌ها و چمنزارهای غنی از کربن به اراضی زراعی باعث شده است که افزایش تولید غلات در آینده عمدتا بایستی از اراضی زراعی موجود حاصل گردد (GAN *et al.*, 2014).

از آن‌جایی‌که نیتروژن یک نقش مهم و حیاتی در تولید غذا برای انسان و دام دارد و روند مصرف رو به رشد آن منجر به سه برابر شدن تولید غذا در پنجاه سال گذشته شده است، مدیریت نیتروژن در تولید غذا ضروری است (Musyoka *et al.*, 2019). کشاورزان نیازمند کاربرد مقادیر بسیار زیادی کود نیتروژنی به دلیل کارایی پایین آن ناشی از تلفات زیاد در سیستم‌های خاک-گیاه می‌باشند. کمبود نیتروژن در همه خاک‌های کشاورزی و همه نظام‌های زراعی در سراسر جهان وجود دارد، بنابراین استفاده از کودهای نیتروژنی در تولید گیاهان زراعی برای جبران تقاضای فزاینده جمعیت انسانی ضروری است. تعداد زیادی از گیاهان خانواده بقولات و میکروارگانیسم‌های خاک پتانسیل تبدیل نیتروژن به فرم‌های قابل جذب گیاه را دارند. اما اهداف عملکردی مورد نیاز برای تامین نیاز جمعیت در حال رشد توسط کاربرد نیتروژن اضافی به‌دست خواهد آمد (Yadav *et al.*, 2017).

در اکثر نظام‌های زراعی، مدیریت نیتروژن به دلیل قابلیت

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
(*- نویسنده مسئول : Email: sveslami@birjand.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.74126.1128

جابه‌جایی بالا و تمایل طبیعی آن برای تلفات از سیستم خاک-گیاه به محیط‌زیست به نظر می‌رسد یک چالش بزرگ باشد. تکنیک‌های مدیریت کارآمد نیتروژن برای بهبود تحویل و حفظ نیتروژن در خاک‌ها به‌منظور افزایش کارایی مصرف نیتروژن، افزایش عملکرد اقتصادی، کاهش هزینه‌های تولید و بهبود پایداری اقتصادی در بیشتر نظام‌های زراعی ضروری است. چندین تکنیک شامل مصرف کودهای آهسته رهش، مقدار و زمان‌بندی مصرف کودها، مصرف کود دامی، تناوب زراعی، کاربرد گیاهان واسطه[1]، بقایای گیاهی و استفاده از ژنوتیپ‌های کارآمد نیتروژن می‌تواند کارایی مصرف نیتروژن را بهبود دهد (Musyoka *et al.*, 2017).

نیتروژن برای رشد و تولید مثل حیاتی است. بنابراین، هرگونه محدودیت برای جذب نیتروژن و کارایی تبدیل نیتروژن اعمال شده توسط فرآیندهای محیطی، فیزیولوژیکی و زراعی منجر به کاهش عملکرد می‌شود (de Oliveira Silva *et al.*, 2020). در واقع کاربرد کود نیتروژن در تولید گندم اغلب دو مشکل ایجاد می‌کند. اولاً کاربرد نیتروژن برای افزایش عملکرد مفید است اما ناگزیر کارایی مصرف نیتروژن را کاهش می‌دهد (Srivastava *et al.*, 2018). دوآن و همکاران (Duan *et al.*, 2019) این مشکل را تایید کردند، آن‌ها نشان دادند که کارایی جذب و تبدیل نیتروژن با افزایش مصرف کود به‌صورت خطی کاهش می‌یابد و هرچه میزان مصرف نیتروژن بیشتر باشد، مقادیر آن‌ها کمتر است. علاوه بر این، عملکرد به‌طور کلی یک رابطه خطی یا یک رابطه درجه دوم با میزان کاربرد نیتروژن نشان داد و سطوح بیش از حد کاربرد نیتروژن باعث کاهش عملکرد شد. دوما، نیتروژن گیاه نیز جذب لوکس را نشان می‌دهد. هم عملکرد و هم تجمع نیتروژن با کاربرد نیتروژن افزایش می‌یابد، اما وقتی عملکرد به حد اشباع می‌رسد، با ادامه افزایش کاربرد نیتروژن، تجمع نیتروژن نیز افزایش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد که تجمع نیتروژن یک رابطه منحنی درجه چهار با میزان کاربرد نیتروژن، مشابه عملکرد را نشان داد. این جذب غیرموثر نیتروژن در اندام‌های رویشی مانند ساقه، برگ و غلاف ذخیره می‌شود که برای محصول بی‌اثر بود اما برای تولید مؤثر بود.

نظام‌های زراعی فشرده (از قبیل کشاورزی مداوم و تک کشتی) تولید پایدار محصولات کشاورزی را در سطح ملی و جهانی به چالش کشیده است. عملیات متعددی افزایش بهره‌وری را هدف قرار داده‌اند که بر اجزا و فرآیندهای اکوسیستم تاثیر می‌گذارند. این روش‌ها نیاز به تحقیقات مستمری در رابطه با نظام‌های زراعی دارد تا مشخص شود چگونه خدمات اکوسیستمی حفظ شود و تولید در بلندمدت پایدار بماند، که در این‌جا خدمات اکوسیستمی عمدتا به ظرفیت افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی و ترسیب کربن اشاره دارد. یک الگو جایگزین برای عملیات کشاورزی رایج برای دستیابی به چالش افزایش بهره‌وری به طوری که تامین خدمات اکوسیستمی حفظ شود و بنابراین به اهداف پایداری دست یابیم تحت عنوان "تشدید اکولوژیکی"[2]، پیشنهاد گردیده است. مواردی از تشدید اکولوژیکی، شامل کشاورزی ارگانیک، نظام‌های زراعی متنوع[3]، تقلید طبیعی[4] (Pinto *et al.*, 2017)، حذف یا کاهش دوره‌های آیش (GAN *et al.*, 2014) و تعدادی از فرم‌های کشاورزی حفاظتی است. عملیاتی از قبیل کشت مخلوط، گیاهان پوششی (Chavarria *et al.*, 2016)، حفظ بقایا (Rathore *et al.*, 2018)، کشت دوگانه[5] (مضاعف، مجدد) در کشاورزی حفاظتی برای افزایش پایداری پیشنهاد شده است (Pinto *et al.*, 2017).

کربن آلی خاک یک نقش کلیدی در بهبود شرایط اکولوژیکی خاک بازی می‌کند (Alhameid *et al.*, 2017). افزودن مواد آلی به خاک یک ابزار عالی برای بهبود شرایط فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است و تقریبا همیشه مطلوب است (Powlson *et al.*, 2011). موجودی کربن آلی خاک اکوسیستم‌های زراعی ممکن است به‌وسیله بهبود عملیات زراعی افزایش یابد. کاربرد کود سبز، کود دامی و برگرداندن کاه و کلش گیاهی به داخل خاک به‌عنوان عملیات مدیریتی افزایش‌دهنده کربن آلی خاک شناخته می‌شوند (Zhang *et al.*, 2016). به‌عنوان مثال گزارش شده است که بازگشت کاه به‌طور قابل‌توجهی میانگین محتوای کربن آلی خاک را در زمین‌های زراعی جهانی به میزان ۱۲/۸٪ (۱۵-۰ عمق) افزایش داد. بازگشت کاه همچنین ممکن است حاصلخیزی خاک را با تأمین عناصر معدنی و افزایش احتباس آب بهبود بخشد، در نتیجه عملکرد محصول را افزایش دهد. علاوه بر افزایش ترسیب کربن خاک و عملکرد محصول، برگرداندن کاه همچنین به‌طور قابل‌توجهی تلفات نیتروژن را از طریق مسیرهای هیدرولوژیکی (۲۵/۶-۸/۷درصد) کاهش داد، که عمدتاً به افزایش تثبیت نیتروژن میکروبی نسبت داده شد. همچنین مطالعه فراتحلیل نشان داد که نرخ تثبیت نیتروژن خاک و نیتروژن بیومس میکروبی به‌ترتیب ۲۲۷ و ۳۸/۴ درصد افزایش یافت (Xia *et al.*, 2018). کودها مخصوصا نیتروژن عملکرد گیاه زراعی را افزایش می‌دهند و کربن آلی از طریق ریشه‌ها و بقایا به خاک برگردانده می‌شود، که در اکثریت موارد منجر به افزایش کربن آلی خاک می‌شود (Schlesinger, 2010).

افزایش کربن آلی خاک باعث بهبود ظرفیت تبادل یونی (Spohn, 2020)، بهبود ساختمان خاک و ظرفیت نگهداری آب

1- Catch Crop

2- Ecological intensification

3- Diversified farming system

4- Nature mimicry

5- Double cropping

خواهد شد (Powlson *et al.*, 2011)، که احتمالا منجر به بهبود رشد در یک سطح کودی مشخص می‌شود. پایین بودن حاصلخیزی خاک‌های کشاورزی در مناطق خشک به‌ویژه در کشاورزی مرسوم، شرایط را برای تلفات و کاهش کارایی نیتروژن فراهم می‌کند. به سبب جایگاه نیتروژن در اکوسیستم‌های زراعی، یافتن راهکار مطلوب و البته اقتصادی برای کاهش مخاطرات ناشی از تلفات نیتروژن و بهره‌مندی مطلوب از نیتروژن جهت دستیابی حداکثری به عملکرد بسیار ضروری می‌باشد. لذا در این تحقیق تلاش شده است تا با بهره‌گیری از تناوب‌های زراعی مطلوب در سطوح مختلف تامین کود نیتروژن، کارایی نیتروژن در زراعت گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در چهار فصل کشت و طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه‌ای در دشت کراتِ شهرستان تایباد واقع در استان خراسان رضوی با طول جغرافیایی ″۴/۲ ′۳۷ °۶۰ و عرض جغرافیایی ″۴۲/۲ ′۳۶ °۳۴ و ارتفاع ۹۱۰ متر از سطح دریا اجرا شد. پیش از آزمایش، نمونه‌برداری تصادفی خاک از عمق صفر تا ۱۵سانتی‌متری مزرعه انجام و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی وضعیت نیتروژن در گندم، از عامل تناوب زراعی در چهار سطح: ۱) آیش-گندم، ۲) منداب-گندم، ۳) ماش-گندم و ۴) ذرت-گندم و عامل کود نیتروژن در سه مقدار شامل: ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۱۰۰ درصد تامین کود نیتروژن)، ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره (۵۰ درصد تامین کود نیتروژن) و صفر کیلوگرم کود اوره (بدون تامین کود نیتروژن) و سه تکرار به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. مقدار کود اوره بر اساس انجام آزمون خاک و تعیین مقدار کربن آلی خاک و برآورد مقدار کود اوره مورد نیاز مطابق دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم موسسه تحقیقات آب و خاک انجام شد (Moshiri *et al.*, 2014). در طول اجرای این تحقیق، برای تامین نیاز نیتروژن برای تجزیه بقایایی که نسبت کربن به نیتروژن بالاتر از ۲۴ داشتند (کاه گندم و ذرت)، مقدار حجم بقایا و نسبت کربن به نیتروژن محاسبه و مقدار نیتروژن اضافی لازم برای تعدیل نسبت کربن به نیتروژن برآورد گردید و به میزان کود نیتروژنی که برای هر کرت در نظر گرفته شده و البته همراه با مراحل تقسیط کود به کرت‌های آزمایشی اضافه گردید (USDA, 2011).

زمین آزمایش در سال قبل از اجرا آیش بود و کشت گیاهان منداب، ذرت و ماش (قبل از گندم) در آخر خرداد و اوایل تیر ماه هر سال انجام گردید؛ همچنین برآورد نیاز کودی هر گیاه قبل از کاشت و بر اساس نتایج آزمون خاک انجام پذیرفت. مقدار بذر کاشته شده برای ذرت ۲۵ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۱۲ بوته در متر مربع، ماش ۱۲ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۲۰ بوته در متر مربع و برای منداب ۱۰ کیلوگرم در هکتار با تراکم ۸۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شد. کلیه عملیات خاک‌ورزی به‌صورت حفاظتی، با استفاده از دستگاه چیزل پیکر، انجام گرفت و تیمار آیش تابستانه بعد از عملیات خاک‌ورزی رها گردید. گیاه پوششی منداب قبل از گلدهی و بقایای دو تیمار گیاه زراعی در تناوب (ماش و ذرت)، پس از برداشت محصول و کیل‌گیری به داخل خاک برگردانده شدند؛ سپس در آبان هر سال گندم رقم پیشگام به میزان۲۰۰ کیلوگرم بذر در هکتار و تراکم ۴۵۰ بوته در متر مربع کشت گردید. توصیه کودی همه عناصر به‌جز نیتروژن طبق برآورد نیاز گیاه انجام شد. همچنین بعد از برداشت گندم کلیه بقایای گیاهی گندم در سطح مزرعه حفظ و به داخل خاک برگردانده شد. ضمنا کرتی که برای هر تیمار در نظر گرفته شد، در هر دو سال آزمایش ثابت بود. تقویم زراعی گندم و کلیه گیاهان زراعی در تناوب با گندم در جدول ۱ آمده است.

دراین آزمایش اجزای متفاوت کارایی مصرف نیتروژن به‌صورت زیر در نظر گرفته شد:

۱- نسبت نیتروژن کل گیاه به میزان تامین نیتروژن (که شامل نیتروژن معدنی شده از خاک به‌علاوه نیتروژن به‌کار برده شده به‌صورت کود می‌باشد) که تحت عنوان کارایی جذب نیتروژن می‌باشد.

۲- نسبت عملکرد اقتصادی به نیتروژن کل گیاه که تحت عنوان کارایی تبدیل نیتروژن می‌باشد.

۳- نسبت عملکرد اقتصادی به تامین نیتروژن که کارایی زراعی می‌باشد.

۴- تخصیص نیتروژن کل گیاه به عملکرد اقتصادی که اشاره به شاخص برداشت نیتروژن دارد (Musyoka *et al.*, 2017).

به منظور اندازه‌گیری نیتروژن بافت گیاه، در مرحله رسیدگی دانه به تفکیک اندام نمونه‌برداری درصد نیتروژن با روش کجلدال اندازه-گیری شد (Hosseini *et al.*, 2013). نیتروژن معدنی (نیترات و آمونیوم) در خاک از ۱۰ گرم خاک تازه با استفاده از ۵۰ میلی‌لیتر سولفات پتاسیم ۰/۵ مولار استخراج شد و غلظت نیترات و آمونیوم با استفاده از اتوآنالیزور جریان تقسیم شده[1] به‌ترتیب در طول موج ۵۴۰ و ۶۶۰ نانومتر تعیین شد (Muyoka *et al.*, 2017). نیتروژن کل خاک نیز به روش کجلدال اندازه‌گیری شد(Dikgwatlhe *et al.*, 2014) .

نرم‌افزار Excel برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به صفات و نرم‌افزار آماری SAS برای انجام آنالیز داده‌ها استفاده گردید. پس از آزمون بارتلت و اثبات یکنواختی واریانس‌ها مقایسه میانگین‌ها با آزمون FLSD در سطح پنج درصد صورت گرفت و داده‌ها به‌صورت تجزیه مرکب، با ثابت در نظر گرفتن متغیر سال، مورد آنالیز قرار

1- Segmented Flow Auto-Analyzer

گرفتند. همچنین عملیات تجزیه واریانس، مقایسه میانگین صفات و همبستگی بین صفات نیز انجام شد.

جدول ۱- برنامه زمانی تاریخ کاشت، برداشت و برگرداندن بقایا گندم و گیاهان در تناوب با گندم

Table 1- Schedule of planting, harvesting and return dates of wheat and plant residues in rotation with wheat

	سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷			سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸		
	2018-2019			2019-2020		
	کاشت	برداشت	برگرداندن بقایا	کاشت	برداشت	برگرداندن بقایا
	Sowing	Harvesting	Returning residue	Sowing	Harvesting	Returning residue
گندم	آبان12	خرداد5	خرداد12	آبان17	خرداد10	خرداد16
Wheat	3 November	26 May	2 June	8 November	31 May	6 June
منداب	خرداد20	---	مهر10	خرداد23	---	مهر16
Wild Rocket	10 June	----	2 October	13 June	----	8 October
ماش	خرداد20	شهریور23	مهر10	خرداد23	شهریور27	مهر16
Mung Bean	10 June	14 September	2 October	13 June	18 September	8 October
ذرت	تیر15	مهر 7	مهر10	تیر11	مهرماه4	مهر16
Maize	6 July	29 September	2 October	2 July	26 September	8 October

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که تناوب زراعی و سطوح مختلف تامین کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری ($P\leq 0.01$) بر محتوای نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن موثر بود (جدول ۲). مقایسه میانگین سطوح مختلف تامین کود نیتروژن نیز نشان داد که تامین کامل کود نیتروژن (۳۶۰ کیلوگرم در هکتار) باعث افزایش نیتروژن دانه، نیتروژن کاه، نیتروژن کل گیاه و همچنین شاخص برداشت نیتروژن گردید. در حالی‌که بهترین کارایی جذب، تبدیل و زراعی نیتروژن در سطح بدون تامین کود نیتروژن مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین تناوب زراعی نشان داد که تناوب زراعی منداب-گندم بهترین نتیجه را در میان تمامی صفات اندازه‌گیری شده به‌استثنای کارایی تبدیل داشت، در حالی‌که کارایی تبدیل در تناوب زراعی ذرت-گندم بهترین عملکرد را نشان داد (جدول ۳).

محتوی نیتروژن گیاه: نتایج نشان داد که بالاترین مقدار نیتروژن دانه، کاه و نیتروژن کل گیاه مربوط به تیمار منداب-گندم با مقدار ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بود. تیمار ماش-گندم با همین مقدار مصرف کود نیتروژن نیز بعد از منداب بهترین عملکرد را در میزان نیتروژن بافت‌های مختلف گیاه نشان داد. از سویی دیگر تیمار ذرت-گندم بدون تامین کود نیتروژن و پس از آن تیمار آیش گندم بدون تامین کود نیتروژن پایین‌ترین مقدار نیتروژن در بافت‌های مختلف گیاهی را نشان دادند (جدول ۳). در مطالعه‌ای مشابه که اثر بقایای گیاهی و سطوح مختلف کود نیتروژن را بر غلظت نیتروژن دانه گندم بررسی کردند، مشاهده شد که بیشترین میزان نیتروژن دانه در تیمار کاربرد ۵۰ درصد کاه جو+ کود سبز ماشک به‌دست آمد، که البته با تیمار کاربرد کود سبز ماشک به تنهایی تفاوت معنی‌داری نداشت (Khamdi *et al*., 2015). نتایجی که به روشنی تاثیر افزایش کربن آلی بر فراهمی نیتروژن و غلظت نیتروژن دانه و همچنین نقش کود سبز به‌ویژه گیاهان خانواده بقولات را در افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن مشابه آن‌چه در نتایج این تحقیق به‌دست آمد (جدول ۳)، نشان می‌دهد.

همچنین نتایج به‌وضوح نشان داد که میزان نیتروژن دانه مستقیما تحت تاثیر میزان تامین کود نیتروژن قرار گرفت (Dordas & Sioulas, 2009)، البته گیاه در تناوب بسته به میزان تجزیه‌پذیری و نسبت کربن به نیتروژن باعث کاهش شدت اثرپذیری کود نیتروژن گردید، به طوری‌که در مطالعه برهمکنش تناوب زراعی و تامین سطوح مختلف کود نیتروژن بر میزان نیتروژن بافت گیاه مشخص گردید، که کمترین تفاوت بین سطوح ۳۶۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، مربوط به تناوب زراعی منداب-گندم می‌باشد، که می‌تواند به ظرفیت تامین بخش زیادی از نیاز نیتروژن گیاه توسط گیاه پوششی به خاک برگردانده شده باشد که منجر به کاهش نیاز گیاه گندم به کود نیتروژنه گردید. وضعیتی که در تناوب زراعی ماش-گندم البته به نسبت ضعیف‌تری قابل مشاهده است. تناوب زراعی ذرت-گندم به دلیل نسبت بالای کربن به نیتروژن بقایای ذرت و همچنین توقع بالای کشت ذرت به مواد غذایی منجر به رسوب بخش بزرگی از نیتروژن در بقایای گیاهی گردید، که به علت سرعت تجزیه پایین آن، نتایج پایین‌ترین مقدار نیتروژن گیاه را در تناوب زراعی ذرت-گندم به‌ویژه در شرایط عدم تامین نیاز کود نیتروژن نشان داد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) نیتروژن گیاه، شاخص برداشت و کارایی نیتروژن تحت تاثیر تناوب زراعی و کود نیتروژن

Table 2- Analysis of variance (mean squares) of plant nitrogen, nitrogen harvest index and nitrogen efficiency under the influence of crop rotation and nitrogen fertilizer

منابع تغییرات S.O.V.	درجه آزادی d.f	صفات مرتبط با نیتروژن در گیاه Nitrogen-related traits in the crop						
		نیتروژن دانه Grain Nitrogen	نیتروژن کاه Straw Nitrogen	نیتروژن کل گیاه Total Nitrogen	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی تبدیل نیتروژن NUtE	کارایی زراعی نیتروژن NUE	شاخص برداشت نیتروژن NHI
بلوک Block	2	0.007	0.00066	0.00729	0.0009	9.9455	13.28	22.85
سال Year	1	0.003	0.00001	0.00001	0.0441	0.0001	49.23	4.87*
سال × بلوک Block × Year	2	0.001	0.00011	0.00014	0.0038	0.8344	3.71	0.24
تناوب Rotation	3	0.743**	0.00665**	0.25368**	0.2641**	60.0878**	201.86**	369.19**
تناوب زراعی × سال Year × Crop rotation	3	0.014*	0.00052*	0.00766**	0.0085**	1.0626	7.50*	7.67*
نیتروژن Nitrogen	2	2.464**	0.03003**	0.95060**	0.9074**	183.2560**	2148.23**	1291.57**
نیتروژن × سال Year × Nitrogen	2	0.004	0.00004	0.00560**	0.0019	3.2335	8.01*	29.38**
نیتروژن × تناوب زراعی Crop rotation × Nitrogen	6	0.022**	0.00004	0.00511**	0.0189**	3.6565	30.34**	17.36**
نیتروژن × تناوب زراعی × سال Year × Crop rotation × Nitrogen	6	0.001	0.00005	0.00038	0.0013	0.7763	1.67	1.20
خطا Error	44	0.004	0.00013	0.00093	0.0011	1.8091	2.03	2.59
ضریب تغییرات (درصد) C.V.%	--	17.0	6.2	17.7	26.9	8.6	32.1	9.7

**، * به‌ترتیب معنی‌دار بودن در سطح احتمال یک و پنج درصد را نشان می‌دهد.

**,* Significance at the probability level of 1 % and 5%, respectively

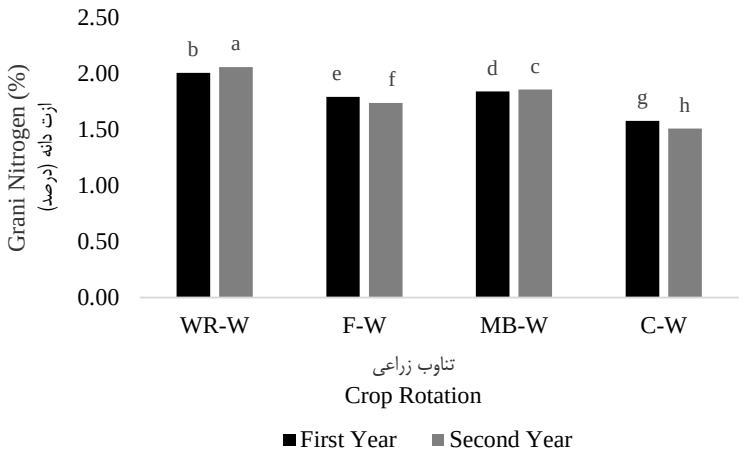
جدول ۳- اثر متقابل سطوح تامین کود نیتروژن و تناوب زراعی بر نیتروژن گیاه، شاخص نیتروژن و کارایی نیتروژن

Table 3- Interaction of supply levels of nitrogen fertilizer and cropping system on plant nitrogen, nitrogen harvest index and nitrogen efficiency

تیمار Treatment		صفات مرتبط با نیتروژن گیاه Nitrogen-related traits in the crop						
تناوب زراعی Crop rotation	نیتروژن Nitrogen (kg ha^{-1})	نیتروژن دانه Grain Nitrogen content (%)	نیتروژن کاه Straw Nitrogen content (%)	نیتروژن کل گیاه Total nitrogen (%)	کارایی جذب kg N kg^{-1}N NUpE	کارایی تبدیل kg kg^{-1}N NUtE	کارایی زراعی kg kg^{-1}N NUE	شاخص برداشت نیتروژن NHI (%)
مناب-گندم Wild Rocket-wheat	0	1.65	0.50	0.90	1.12	38.84	43.68	64.07
	180	2.18	0.55	1.22	0.84	33.54	28.11	73.25
	360	2.27	0.57	1.32	0.64	33.39	21.42f	75.72
آیش-گندم Fallow-wheat	0	1.39	0.48	0.77	0.84	42.04	35.27	58.35
	180	1.86	0.53	1.05	0.64	37.55d	24.05	69.70
	360	2.05	0.54	1.18	0.53	36.01f	19.18	73.73
ماش-گندم Mung Bean-wheat	0	1.53	0.50	0.84	1.09	39.78	43.32	60.97
	180	1.93	0.55	1.10	0.78	36.28	28.29	69.82
	360	2.10	0.57	1.21	0.61	34.80	21.32	72.84
ذرت-گندم Corn-wheat	0	1.22	0.46	0.67	0.77	41.74	31.95	50.66
	180	1.54	0.51	0.86	0.59	39.75	23.43	61.16
	360	1.88	0.53	1.05	0.49	36.72	18.18	69.00
FLSD (0.05)		0.109	0.018	0.0502	0.055	2.21	2.34	2.64

نتایج همچنین نشان داد که با افزایش مقدار کود نیتروژن، نیتروژن دانه بیش از نیتروژن کاه افزایش یافت (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده توسط دورداس و سیولاس (Dordas & Sioulas, 2009) قویا مشاهدات آزمایش حاضر را تایید می‌کند. آن‌ها مطالعه‌ای را برای بررسی تاثیر سطوح کود نیتروژن بر تجمع ماده خشک و توزیع نیتروژن در گیاه گلرنگ انجام دادند، مشاهده کردند که میزان نیتروژن در اندام‌های گیاه تحت تاثیر میزان کوددهی است. آن‌ها همچنین نشان دادند که با افزایش مصرف کود نیتروژن تا حد بهینه افزایش نیتروژن در برگ و ساقه نسبت به دانه کمتر بود. البته افزایش بیش از حد بهینه در میزان نیتروژن، باعث کاهش کارایی تبدیل و افزایش نیتروژن در بخش غیر اقتصادی گیاه گردید.

مقدار نیتروژن دانه در تناوب زراعی منداب–گندم و پس از آن ماش–گندم در سال دوم افزایش ناچیزی پیدا کرد، در حالی‌که مقدار نیتروژن دانه در دو تناوب زراعی دیگر به‌ترتیب در آیش–گندم و ذرت–گندم کاهش یافت (شکل ۱). مشابه این نتایج برای نیتروژن کاه و کل نیز ثبت شد. مطالعات نشان داد، که چرخه نیتروژن می‌تواند از طریق کاشت گیاهان پوششی و یا کشت گیاهان خانواده بقولات بهبود یابد. کاشت گیاهان پوششی علاوه بر مزایای مهم اکولوژیکی باعث بهبود کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک می‌گردد و در نتیجه تلفاتشان را در محیط کاهش می‌دهد (Mazzoncini *et al*., 2011; Coombs *et al*., 2017). افزایش ترسیب کربن و نیتروژن در خاک به‌طور مستقیم منجر به افزایش بیومس گیاهی و همچنین افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاه می‌گردد و در نتیجه حفظ بقایا افزایش کربن آلی خاک و نیتروژن کل خاک را تشدید می‌کند. چرخه‌ای که تا رسیدن به پایداری در خاک باعث افزایش مداوم کربن آلی و نیتروژن می‌گردد (Liang *et al*., 2018).



شکل ۱- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر نیتروژن دانه

WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 1- Interaction of year and crop rotation on grain nitrogen

WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn

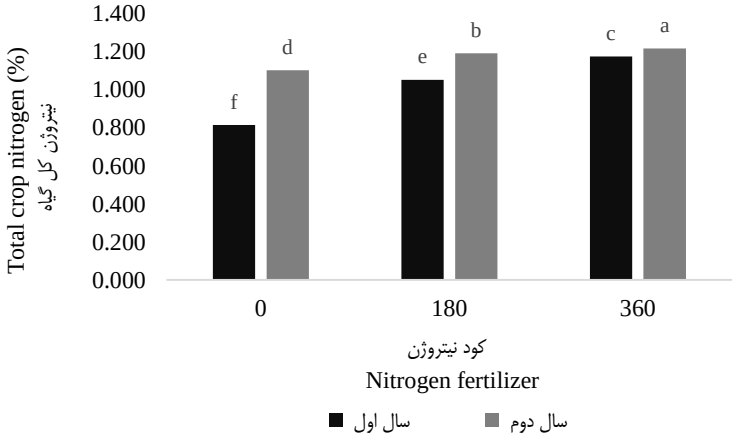
همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، مقدار نیتروژن گیاه در هر سه میزان کود نیتروژن در سال دوم آزمایش بیشتر از سال اول آزمایش بود، که می‌تواند نتیجه افزایش دسترسی گیاه به نیتروژن ناشی از افزایش کربن آلی خاک و بهبود شرایط حاصلخیزی خاک باشد. استفاده از خاک‌ورزی حفاظتی، برگرداندن صد درصد بقایای کشت گندم، حذف آیش، کشت گیاه پوششی یا سیستم‌های تغذیه آلی مختلف (آلی، شیمیایی، بیولوژیک و تلفیقی) عواملی بود که مقدار نیتروژن خاک و به تبع آن نیتروژن گیاه را افزایش داد (Jamshidi *et al*., 2011; Verma & Pandy, 2013).

رابطه معکوس و معنی‌داری بین نیتروژن دانه و نیتروژن گیاه با کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی زراعی مشاهده شد. نتایج نشان داد که همبستگی بین نیتروژن دانه با کارایی تبدیل بیش از دو کارایی دیگر است. بیشترین همبستگی بین صفات مرتبط با نیتروژن گیاه بین نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن مشاهده شد. نتایج رابطه مثبت و بسیار معنی‌داری بین نیتروژن دانه و شاخص برداشت نیتروژن نشان داد. همچنین ارتباط بین نیتروژن دانه و نیتروژن کل گیاه نیز یک رابطه مثبت و بسیار معنی‌دار را نشان می‌دهد (جدول ۴).

کارایی نیتروژن: نتایج نشان داد که تیمار منداب–گندم و ماش–گندم بدون مصرف کود نیتروژن بهترین کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن را از خود نشان دادند. در حالی‌که تیمار ذرت–گندم و آیش–گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود نیتروژن به‌ترتیب پایین‌ترین کارایی جذب و زراعی را ثبت کردند. کارایی تبدیل بهترین

رانـدمان را در تیمـار آیـش–گنـدم و ذرت–گنـدم داشـتند و دو تیمـار منداب–گندم با ۱۸۰ و ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار مصرف کود نیتروژن و پس از آن تیمار ماش–گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کـود نیتـروژن پایین‌ترین راندمان را نشان دادند (جدول ۳). در مطالعه‌ای مشابه تاثیر تناوب زراعی و سطوح مختلف کـوددهی نیتـروژن بـر شـاخص‌هـای کارایی نیتروژن در گندم بررسی شد، نتایج نشان داد که کارایی تبدیل نیتروژن در تناوب آیش–گندم بیش از سایر تناوب‌ها بود و این موضوع باعث می‌شود که تلفات نیتروژن در این نظام تناوبی به حداقل برسـد.

همچنین تناوب تربچه‌روغنی–گنـدم دارای بیشـترین کـارایی زراعـی نیتروژن بود، به طوری که این تناوب بـه‌ازای هـر کیلـوگرم نیتـروژن مصرفی عملکرد اقتصادی ۲۰/۳۶ کیلوگرم در هکتـار افـزایش یافـت. کارایی زراعی نیتروژن در تناوب زراعی تربچه‌روغنی–گندم سـه برابـر تناوب آیش–گندم بود، به عبارت دیگر بازده اقتصـادی کـود نیتـروژن مصرفی در تناوب تربچه‌روغنی–گندم سه برابر نظام‌های رایـج کشـت گندم بود (Nasri *et al*., 2015).



شکل ۲- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر نیتروژن کل گیاه

Figure 2- Interaction of year and nitrogen fertilizer on total plant nitrogen

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین صفات مرتبط با نیتروژن گیاه

Table 4- Correlation coefficients between traits related to plant nitrogen

NHI	NUE	NUtE	NUpE	TN	GN	
					1.00	GN
				1.00	0.93**	TN
			1.00	-0.39**	-0.35**	NUpE
		1.00	0.30*	-0.88**	-0.93**	NUtE
	1.00	0.54**	0.96**	-0.58**	-0.56**	NUE
1.00	-0.52**	-0.79**	-0.36**	0.97**	0.96**	NHI

GN: نیتروژن دانه، TN: نیتروژن کل گیاه، NUpE: کارایی جذب، NUtE: کارایی تبدیل، NUE: کارایی زراعی نیتروژن، NHI: شاخص برداشت نیتروژن

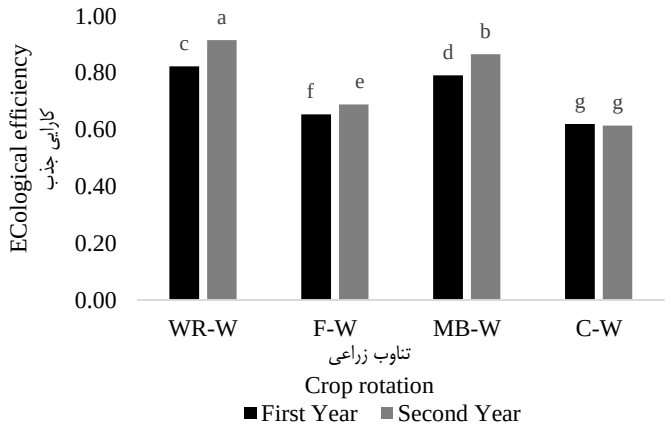
SN: Grain Nitrogen, TN: Total Plant Nitrogen, NUpE: Nitrogen Uptake Efficiency, NUtE: Nitrogen Utilization Efficiency, NUE: Nitrogen Agronomic Efficiency, NHI: Nitrogen Harvest Index

مطالعه همبستگی صفات نشان داد که هر سه نوع کارایی جـذب، فیزیولوژیکی و زراعی رابطه معکوس و معنی‌داری با نیتروژن دانه، کاه و کل بوته نشان دادند. بالاترین ضریب همبستگی بین کارایی زراعـی و جذب (r = 0.96**) دیده شـد. همچنـین رابطـه معنـی‌داری بـین کارایی زراعی و کارایی تبدیل (r = 0.54**) و کارایی جذب و کارایی تبدیل (r = 0.3 *) مشاهده شد. همچنین رابطه معکوس و معنی‌داری بین شاخص برداشت نیتروژن و انواع کارایی‌های محاسبه شده وجـود داشت (جدول ۴). افزایش تامین کود نیتروژن باعـث کـاهش کـارایی جذب می‌گردد و بالعکس کاهش دسترسی گیاه بـه نیتـروژن کـارایی جذب نیتروژن را افزایش می‌دهد (Yang *et al*., 2017). نتایج نشان می‌دهد که کارایی مصرف نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی از ۳۵ به ۲۷/۵ کیلوگرم بر کیلوگرم نیتروژن برای اکثر غلات مهم در طی دهه ۹۰ در چین کاهش یافت که عمدتا به دلیل افزایش مصرف کودهای نیتروژن در این مدت بوده است (Zhang *et al*., 2008).

نتایج همچنین نشان داد که مقدار کارایی جذب و کـارایی زراعـی در همه تناوب‌های زراعی به‌جز ذرت–گنـدم در سـال دوم نسـبت بـه

سال اول بهبود یافت. همچنین بیشترین افزایش کارایی در سال دوم مربوط به تناوب زراعی منداب–گندم و پس از آن به تناوب زراعی ماش–گندم مربوط بود (شکل ۳ و ۴). البته نقش گندم در بهبود کربن آلی و افزایش حاصلخیزی خاک را نبایستی نادیده گرفت. مطالعات نشان می‌دهد که ارزش گندم در تناوب با سایر گیاهان زراعی بیشتر از ارزشی تجاری آن است. حفظ تنوع تناوب ابزاری برای افزایش کارایی و عملکرد گیاهانی از قبیل سویا و ذرت با استفاده از ورودی نیتروژن کمتر بود. به‌عنوان مثال نتایج یکی از این مطالعات نشان داد که ورود گندم به تناوب باعث شد عملکرد گندم و سویا افزایش یابد و نیاز به کود نیتروژن را برای به حداکثر رساندن عملکرد ذرت کاهش دهد. نتایج برخی محققان نشان داد که میزان کود نیتروژن بهینه در تیمارهایی که گندم همراه با ذرت و سویا کشت شد، کاهش یافت.

مزایای گندم می‌تواند بیشتر به افزایش نسبت دسترسی نیتروژن خاک برای گیاه نسبت داده شود تا افزایش کارایی کود و بنابراین معدنی‌سازی بیومس ریشه گندم و کاه و کلش آن عامل این افزایش دسترسی می‌باشد (Gaudin *et al*., 2015). البته نقش افزایش کربن آلی در بهبود کارایی مصرف نیتروژن حتی در شرایط افزایش تامین کود نیتروژن را نباید نادیده گرفت. بهبود حاصلخیزی خاک، کاهش تلفات نیتروژن و بهبود عملکرد مهمترین دلایل برای افزایش کارایی‌های نیتروژن در گیاه می‌باشد، که می‌توان آن را پیامد افزایش بقایای گیاهی ناشی از کود سبز (منداب) یا گیاه در تناوب (ماش و ذرت)، حفظ کاه و کلش گندم و اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و کاهش اکسیداسیون ناشی از به هم خوردن خاک دانست.

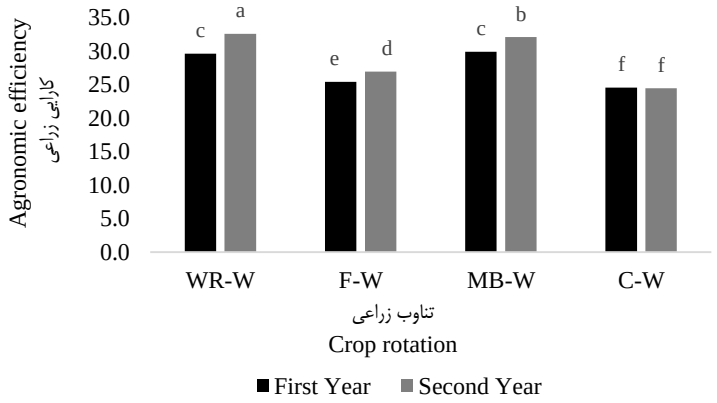


شکل ۳- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر کارایی جذب

WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 3- Interaction of year and crop rotation on ecological efficiency

WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn



شکل ٤- اثر متقابل سال و تناوب زراعی بر کارایی زراعی

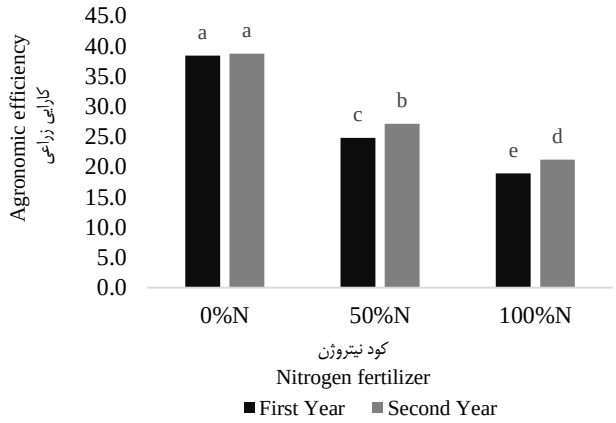
WR: منداب، W: گندم، F: آیش، C: ذرت

Figure 4- Interaction of year and crop rotation on agronomic efficiency

WR: Wild Rocket, W: Wheat, F: Fallow, C: Corn

بنابراین نکته کلیدی در افزایش کارایی نیتروژن در همه مطالعات مشابه با نتایج ما در افزایش کربن آلی به هر طریق ممکن از قبیل افزودن بقایای گیاهی، کودهای دامی، کود سبز و کشت مستمر به‌ویژه در تناوب با خانواده بقولات (به منظور افزایش مواد آلی ناشی از بیومس و ترشحات ریشه و جلوگیری از اکسیداسیون آن طی زمان آیش) می‌باشد (Musyoka *et al.*, 2017).

مطالعه برهمکنش سال و سطوح مختلف کود نیتروژن بر کارایی زراعی نیتروژن نیز نشان داد که کارایی مصرف نیتروژن در هر سه مقدار کودی در سال دوم افزایش یافت، که بهبود شرایط حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی خاک می‌تواند دلیل اصلی این بهبود باشد. این افزایش در دو مقدار کودی ۳۶۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بسیار بیشتر از مقدار بدون تامین کود نیتروژن بود. نتایج همچنین نشان داد که کارایی زراعی در شرایط بدون تامین کود نیتروژن تقریبا دو برابر تیمار ۳۶۰ کیلوگرم کود نیتروژن می‌باشد، که نشان‌دهنده بالاتر بودن بازده نیتروژن خاک در تیمار بدون کوددهی است (شکل ۵).



شکل ۵- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر کارایی زراعی

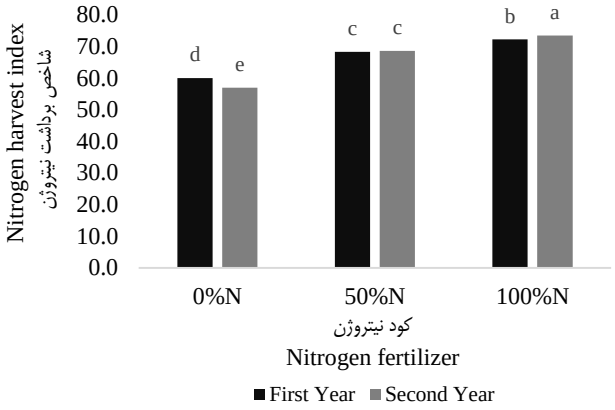
Figure 5- Interaction of year and nitrogen fertilizer on agronomic efficiency

شاخص برداشت نیتروژن: نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین همه سطوح کود نیتروژن در میزان شاخص برداشت نیتروژن وجود دارد، ضمن این‌که افزایش تامین کود باعث افزایش شاخص برداشت نیتروژن شد. تیمار منداب-گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به علت افزایش تامین نیتروژن گیاه هم از طریق کود و هم از طریق کود سبز کشت شده بهترین شاخص برداشت نیتروژن را نشان داد، پس از آن ماش-گندم با ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بهترین عملکرد را داشت. در مقابل تیمارهای ذرت-گندم و آیش-گندم بدون تامین کود نیتروژن به‌ترتیب بدترین عملکرد شاخص برداشت نیتروژن را نشان دادند (جدول ۳). البته با وجود نقش بسیار موثر تامین کود نیتروژن در افزایش شاخص برداشت در این تحقیق، نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد که شاخص برداشت نیتروژن تحت تاثیر تیمارهای مختلف آزمایش از جمله سطوح مختلف تامین نیتروژن قرار نگرفت. آن‌ها معتقد هستند که شاخص برداشت نیتروژن از جمله شاخص‌هایی است که بیشتر وابسته به خصوصیات ژنوتیپی رقم مورد مطالعه گندم است و کمتر تحت تاثیر عوامل مدیریتی یا مدیریت تغذیه‌ای گیاه قرار می‌گیرد (Ebrahimian *et al.*, 2012). البته در مقابل برخی مطالعات نشان می‌دهند که شاخص برداشت نیتروژن اگرچه عمدتا تحت تاثیر ژنوتیپ می باشد، لیکن نبایستی از نقش موثر مصرف کارآمد نیتروژن چشم‌پوشی کرد (Musyoka *et al.*, 2017).

در یک مطالعه مشابه نتایج نشان داد که واکنش تناوب‌های مختلف به مصرف کود نیتروژن متفاوت بود. به عبارتی دیگر شاخص برداشت نیتروژن در بین تناوب‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نشان داد، در حالی‌که مصرف نیتروژن تاثیری بر شاخص برداشت نیتروژن نداشت. آن‌ها معتقد بودند که در شرایط مصرف زیاد کود نیتروژنه، نیتروژن اضافی جذب شده نمی‌تواند در افزایش عملکرد اقتصادی تاثیر چندانی داشته باشد، لذا شاخص برداشت نیتروژن با افزایش مصرف نیتروژن بیش از نیاز گیاه افزایش نخواهد یافت و حتی باعث کاهش این شاخص می‌گردد (Nasri *et al.*, 2015). حسینی و همکاران (Hosseini *et al.*, 2013) نیز افزایش مصرف تامین نیتروژن را باعث کاهش شاخص برداشت نیتروژن دانستند و علت آن را عدم تخصیص نیتروژن به دانه متناسب با میزان جذب نیتروژن دانستند.

نتایج همچنین نشان داد که در شرایط مصرف ۳۶۰ و ۱۸۰

کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن شاخص برداشت نیتروژن در سال دوم نسبت به سال اول افزایش یافت، که این افزایش در صورت مصرف ۳۶۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن بیشتر بود. در حالی‌که در شرایط بدون تامین کود نیتروژن شاخص برداشت نیتروژن کاهش معنی‌داری دارد. لذا حداقل در کوتاه‌مدت برای افزایش شاخص برداشت نیتروژن تامین حداقلی کود نیتروژن حتی با اعمال شرایط مدیریت زراعی بهبودیافته از قبیل استفاده از کود سبز، حذف آیش و وارد کردن بقولات در تناوب و برگرداندن بقایای گیاهی بایستی استفاده شود، در غیر این صورت کاهش عملکرد اقتصادی باعث کاهش شاخص برداشت نیتروژن خواهد گردید (شکل ۶).



شکل ٦- اثر متقابل سال و کود نیتروژن بر شاخص برداشت نیتروژن

Figure 6- Interaction of year and nitrogen fertilizer on nitrogen harvest index

مطالعه ضرایب همبستگی صفات رابطه مثبت و بسیار معنی‌داری بین ازت کل، دانه و کاه و شاخص برداشت نیتروژن نشان داد. همچنین رابطه معکوس و معنی‌داری بین کارایی‌های مختلف نیتروژن و شاخص برداشت نیتروژن وجود داشت. بهترین همبستگی بین شاخص برداشت نیتروژن و کارایی تبدیل مشاهده شد (r = -0.79**) و پس از آن بیشترین ضریب همبستگی مربوط به کارایی زراعی (r = -0.52**) و کارایی جذب (r = -0.36**) بود. ارتباط بیشتر کارایی تبدیل یا کارایی تبدیل با شاخص برداشت نیتروژن دقیقا مرتبط به تعریف این کارایی و نحوه تخصیص نیتروژن به عملکرد اقتصادی آن است که باعث بیشترین همبستگی با این شاخص می‌گردد (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

کود نیتروژن و تناوب زراعی هر دو بر میزان نیتروژن کاه و دانه گندم تاثیرگذار بودند. کشت مستمر و حذف آیش، استفاده از گیاه پوششی و یا گیاهان خانواده بقولات یا غلات در تناوب زراعی و حفظ بقایا منجر به افزایش ترسیب کربن و نیتروژن در خاک و به تبع آن منجر به افزایش بیومس گیاهی و همچنین افزایش غلظت نیتروژن در بافت گیاه گردید. به طوری که در شرایط مصرف کود نیتروژن مشابه، مقدار نیتروژن محتوی بافت گیاه در میان تناوب‌های مختلف متفاوت بود. تناوب زراعی مناب-گندم به‌ویژه هنگامی که با تامین کود نیتروژن (۳۶۰ یا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) همراه بود، بیش از سایر تناوب‌های زراعی دیگر باعث افزایش محتوی نیتروژن گیاه (دانه و کاه) گردید، که ناشی از حجم بالای بیومس منداب و تجزیه‌پذیری بالای بقایا به علت نسبت کربن به نیتروژن پایین بود. ماش هم به دلیل تجزیه‌پذیری بالا و همچنین قابلیت تثبیت نیتروژن پاسخ بسیار خوبی به افزایش محتوی نیتروژن گیاه داشت، که البته احتمالا مقدار کمتر بقایا ماش و کربن آلی برگردانده شده به خاک، میزان مزیت آن را نسبت به منداب کمتر نشان داد. تناوب زراعی منداب-گندم همچنین باعث افزایش کارایی جذب و کارایی زراعی نیتروژن گردید. بهبود شرایط خاک ناشی از افزایش کربن آلی مهم‌ترین علت بهبود کارایی جذب و زراعی نیتروژن بود. افزایش حاصلخیزی خاک ناشی از افزایش کربن آلی و نیتروژن و کاهش تلفات آن مهم‌ترین دلایل بهبود کارایی نیتروژن بودند. البته همان‌طور که قابل انتظار بود با افزایش تامین نیتروژن کارایی نیتروژن کاهش یافت. نتایج به وضوح نشان داد که حداقل در کوتاه مدت تامین حداقلی کود نیتروژن (۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) حتی با اعمال شرایط مدیریت زراعی بهبودیافته از قبیل استفاده از کود سبز، حذف آیش و وارد کردن بقولات در تناوب و برگرداندن بقایای گیاهی بایستی انجام شود، در غیر این صورت باعث کاهش محتوای نیتروژن گیاه و شاخص برداشت نیتروژن خواهد شد.

References

1. Alhameid, A., Ibrahim, M., Kumar, S., Sexton, P., & Schumacher, T. (2017). Soil organic carbon changes impacted by crop rotational diversity under no‐till farming in South Dakota, USA. *Soil Science Society of America Journal*, *81*, 868-877. https://doi.org/10.2136/sssaj2016.04.0121
2. Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems (USDA). (2011). Retrieved from: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd331820.pdf
3. Chavarria, D. N., Verdenelli, R. A., Serri, D. L., Restovich, S. B., Andriulo, A. E., Meriles, J. M., & Vargas-Gil, S. (2016). Effect of cover crops on microbial community structure and related enzyme activities and macronutrient availability. *European Journal of Soil Biology*, *76*, 74-82. https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2016.07.002
4. Coombs, C., Lauzon, J. D., Deen, B., & Van Eerd, L. L. (2017). Legume cover crop management on nitrogen dynamics and yield in grain corn systems. *Field Crops Research*, *201*, 75-85. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.11.001
5. de Oliveira Silva, A., Ciampitti, I. A., Slafer, G. A., & Lollato, R. P. (2020). Nitrogen utilization efficiency in wheat: A global perspective. *European Journal of Agronomy*, *114*, 126008. https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126008
6. Dikgwatlhe, S. B., Chen, Z. -D., Lal, R., Zhang, H. -L., & Chen, F. (2014). Changes in soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage and residue management under wheat–maize cropping system in the North China Plain. *Soil and Tillage Research*, *144*, 110-118. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.07.014
7. Dordas, C. A., & Sioulas, C. (2009). Dry matter and nitrogen accumulation, partitioning, and retranslocation in safflower (*Carthamus tinctorius* L.) as affected by nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, *110*, 35-43. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.06.011
8. Duan, J., Shao, Y., He, L., Li, X., Hou, G., Li, S., Feng, W., Zhu, Y., Wang, Y., & Xie, Y. (2019). Optimizing nitrogen management to achieve high yield, high nitrogen efficiency and low nitrogen emission in winter wheat. *Science of the Total Environment*, *697*, 134088. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134088
9. Ebrahimian, A., Kouchaki, A. R., Mahallati, M. N., Khorramdel, S., & Beheshti, A. R. (2012). The effect of different tillage systems and crop residues on the efficiency of nitrogen uptake and consumption in Wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Research*, *6*. (in Persian).
10. Gan, Y., Liang, C., Chai, Q., Lemke, R. L., Campbell, C. A., & Zentner, R. P. (2014). Improving farming practices reduces the carbon footprint of spring wheat production. *Nature Communications*, *5*, 1-13. https://doi.org/10.1038/ncomms6012
11. Gaudin, A. C., Janovicek, K., Deen, B., & Hooker, D. C. (2015). Wheat improves nitrogen use efficiency of maize and soybean-based cropping systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *210*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.034
12. Hosseini, R. S, Gashi, S., Soltani, A., Kalateh, M., & Zahed, M. 2013. The effect of nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency indices in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Agricultural Research*, *11*, 300-306. (in Persian).
13. Jamshidi, A., Qalavand, A., Sefidkan, F., & Tappeh, M. M. G. (2011). The effect of application of different nutritional systems (organic, chemical, biological and integrated) on the performance and concentration of foliar elements And fennel seeds. *Environmental Science*, *8*, 72-59. (in Persian).
14. Khamdi, F., Mesgarbashi, M., Hasibi, P., Farzaneh, M., & Zamir, N. A. (2015). The effect of plant residues and different levels of nitrogen fertilizer on the quality and concentration of micronutrients in wheat grain. *Applied Agricultural Research*, *28*, 158-166. (in Persian with English abstract).
15. Liang, S., Li, Y., Zhang, X., Sun, Z., Sun, N., Duan, Y., Xu, M., & Wu, L. (2018). Response of crop yield and nitrogen use efficiency for wheat-maize cropping system to future climate change in northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, *262*, 310-321. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.07.019
16. Mazzoncini, M., Sapkota, T. B., Barberi, P., Antichi, D., & Risaliti, R. (2011). Long-term effect of tillage, nitrogen fertilization and cover crops on soil organic carbon and total nitrogen content. *Soil and Tillage Research*, *114*, 165-174. https://doi.org/10.1016/j.still.2011.05.001
17. Moshiri, F., Tehrani, M. M., Shahabi, A. A., Keshavarz, P., Khogar, Z., Feyzi, V., Asadi, H., Samavat, S., Sedri, M. H., Rashidi, N., Soadat., S., & Khademi, Z. (2014). Instructions for integrated management of soil and wheat nutrition. *Soil and Water Research Institute*. (in Persian).
18. Musyoka, M. W., Adamtey, N., Bünemann, E. K., Muriuki, A. W., Karanja, E. N., Mucheru-Muna, M., Fiaboe, K. K., & Cadisch, G. (2019). Nitrogen release and synchrony in organic and conventional farming systems of the Central Highlands of Kenya. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *113*, 283-305. https://doi.org/10.1007/s10705-019-09978-z
19. Musyoka, M. W., Adamtey, N., Muriuki, A. W., & Cadisch, G. (2017). Effect of organic and conventional farming systems on nitrogen use efficiency of potato, maize and vegetables in the Central highlands of Kenya. *European Journal of Agronomy*, *86*, 24-36. https://doi.org/10.1016/j.eja.2017.02.005

20. Nasri, R., Kashani, A., Nejad, F. P., Vazan, S., & Barari, M. (2015). Evaluation of the effect of different nitrogen fertilizer cycles and levels on yield, yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) and Nitrogen efficiency indicators. *Iranian Agricultural Research, 13*, 553-569. (in Persian with English abstract).
21. Pinto, P., Long, M. E. F., & Piñeiro, G. (2017). Including cover crops during fallow periods for increasing ecosystem services: Is it possible in croplands of Southern South America? *Agriculture, Ecosystems & Environment, 248*, 48-57. https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.028
22. Powlson, D. S., Whitmore, A. P., & Goulding, K. W. (2011). Soil carbon sequestration to mitigate climate change: a critical re examination to identify the true and the false. *European Journal of Soil Science, 62*, 42-55. https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2010.01342.x
23. Rathore, S., Kumar, V., Vivek, P., Singh, S., Mahajan, N. C., & Kumar, Y. (2018). Long term effects of tillage and residue management on soil aggregation, soil carbon sequestration and energy relations under rice–wheat cropping system in Typic Ustochrept soil of Uttar Pradesh. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry, 7*, 237-247.
24. Schlesinger, W. H. (2010). On fertilizer‐induced soil carbon sequestration in China's croplands. *Global Change Biology, 16*, 849-850. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01958.x
25. Spohn, M. (2020). Increasing the organic carbon stocks in mineral soils sequesters large amounts of phosphorus. *Global Change Biology, 26*, 4169-4177. https://doi.org/10.1111/gcb.15154
26. Srivastava, R., Panda, R., Chakraborty, A., & Halder, D. (2018). Enhancing grain yield, biomass and nitrogen use efficiency of maize by varying sowing dates and nitrogen rate under rainfed and irrigated conditions. *Field Crops Research, 221*, 339-349. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.06.019
27. Van der Meer, H. (2008). Optimising manure management for GHG outcomes. *Australian Journal of Experimental Agriculture, 48*, 38-45. https://doi.org/10.1071/EA07214
28. Verma, N. K., & Pandey, B. K. (2013). Effect of varying rice residue management practices on growth and yield of wheat and soil organic carbon in rice-wheat sequence. *Global Journal of Science Frontier Research Agriculture and Veterinary Sciences, 13*, 32-38.
29. Xia, L., Lam, S. K., Wolf, B., Kiese, R., Chen, D., & Butterbach Bahl, K. (2018). Trade offs between soil carbon sequestration and reactive nitrogen losses under straw return in global agroecosystems. *Global Change Biology, 24*(12), 5919-5932. https://doi.org/10.1111/gcb.14466
30. Yadav, M., Kumar, R., Parihar, C., Yadav, R., Jat, S., Ram, H., Meena, R., Singh, M., Verma, A., & Kumar, U. (2017). Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews, 38*, 29-40. https://arccjournals.com/journal/agricultural-reviews/R-1677
31. Yang, X., Lu, Y., Ding, Y., Yin, X., & Raza, S. (2017). Optimising nitrogen fertilisation: a key to improving nitrogen-use efficiency and minimising nitrate leaching losses in an intensive wheat/maize rotation (2008–2014). *Field Crops Research, 206*, 1-10. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.02.016
32. Zhang, F., Wang, J., Zhang, W., Cui, Z., Ma, W., Chen, X., & Jiang, R. (2008). Nutrient use efficiencies of major cereal crops in China and measures for improvement. *Acta Pedologica Sinica, 45*, 915-924.
33. Zhang, X., Sun, N., Wu, L., Xu, M., Bingham, I. J., & Li, Z. (2016). Effects of enhancing soil organic carbon sequestration in the topsoil by fertilization on crop productivity and stability: Evidence from long-term experiments with wheat-maize cropping systems in China. *Science of the Total Environment, 562*, 247-259. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.193

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 417-434

Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh

F. Moallem Banhangi[1], P. Rezvani Moghaddam[2*], S. Khorramdel[3], M. Nassiri Mahallati[4]

Received: 01-02-2022 Revised: 12-04-2022 Accepted: 16-04-2022	**How to cite this article:** Moallem Banhangi, F., Rezvani Moghaddam, P., Khorramdel, S., & Nassiri Mahallati, M. (2023). Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh. *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4), 417-434. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

Introduction

During the 1950s and 1960s, the green revolution led to a dramatic increase in global food and fodder production to eliminate hunger and boost food security. This production enhancement was accompanied by an intensified agricultural and chemical input consumption and increased cultivated area and mechanization. Although yield per unit area has improved in most crops, concerns about food security for the world's rising population are still significant. Guaranteeing food security in the future will necessitate a shift in management approaches to boost output, agroecosystem sustainability, and stability and reduce the environmental harm caused by agriculture. The first step to achieving sustainability and ecological intensification in agricultural systems is to have a comprehensive agroecological analysis of agricultural systems in each region. Hence, the complete evaluation and analysis of agroecological features according to their type in each region is necessary for establishing an optimal management technique. After analyzing the present state of each region's shared ecosystems, the optimal strategy for boosting production stability must be devised and implemented.

Materials and Methods

The goal of this study was to undertake a detailed investigation of the agroecological state of the sugar beet ecosystems on a local scale. For this purpose, data were collected on the area under cultivation, yield, and input consumption (including nitrogen and phosphorus fertilizers and chemical pesticides) from 2001 to 2016. Data was acquired from the Ministry of Agriculture and other related organizations and direct interviews with the farmers. In addition, data on climatic parameters (including daily minimum and maximum temperatures, precipitation, and sunny hours) were collected from the Torbat-e Heydariyeh meteorological station. This study researched the most important agroecological indicators of sugar beet farming systems in the Torbat-e Heydarieh region. Study indicators include variations in sugar beet cultivation area and yield, Potential yield via the methods FAO and FAO modified, beet yield gap, Regional Yield Factor trend, Changes in the intensification, yield stability, nitrogen uptake, and nitrogen utilization, and nitrogen use efficiency.

Results and Discussion

According to this study results, sugar beet production increased by 59 percent between 2001 and 2016. During the research years, sugar beet ecosystems saw a drop in the cultivation area. Potential yield calculations using both FAO and modified FAO methodologies revealed that potential yield was nearly consistent over the research period in the region.

1- PhD Student of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
4- Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: rezvani@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

The sugar beet yield gap averaged 35 ton.ha^{-1} over the research period. According to the findings, the percentage of sugar beet yield gap ranged from 53 to 69 %, with an average of 63 %. The extent of the yield gap decreased over the research period. The study of the regional yield factor (RYF) revealed that improving the management system resulted in higher actual yield and thus a smaller yield gap in sugar beet ecosystems. In sugar beet cultivation systems, the results revealed that by increasing intensification, the stability decreased. In sugar beet cultivation systems, there was a reduction in yield stability. Given that nitrogen consumption efficiency is one of the most important factors influencing the degree of stability in agricultural systems, the findings revealed that the rate of nitrogen uptake efficiency (NUpE), nitrogen utilization efficiency (NUtE), and nitrogen use efficiency (NUE) all decreased during the studied years in the region.

Conclusion

According to the findings, the major cause of the increase in nitrogen consumption, growing intensification, and decreasing stability in the analyzed systems appears to be a deficiency of nitrogen use efficiency and its downward trend. As a result, planning and altering management methods focusing on enhancing Nitrogen use efficiency may be proposed as the first step toward boosting sustainability in the Torbat-e Heydarieh sugar beet agroecosystems.

Keywords: Data analysis, Intake efficiency, Regional yield factor, Stability

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٤٣٤-٤١٧

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در منطقه تربت حیدریه

فاطمه معلم بنهنگی[۱]، پرویز رضوانی مقدم[۲*]، سرور خرم دل[۳]، مهدی نصیری محلاتی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۷

چکیده

این مطالعه با هدف دستیابی به یک تحلیل اگرواکولوژیک از بوم‌نظام‌های چغندرقند در مقیاس محلی طراحی و اجرا شد. بدین منظور مجموعه‌ای از مهم‌ترین شاخص‌های اگرواکولوژیک بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، در بازه زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که عملکرد چغندرقند در بازه زمانی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، ۵۹ درصد افزایش پیدا کرده است. درحالی که سطح زیرکشت چغندرقند روندی کاهشی داشت. محاسبه‌ی عملکرد پتانسیل با دو روش فائو و فائو تغییریافته نشان داد که میزان عملکرد پتانسیل در طول دوره‌ی مطالعه در منطقه تقریبا ثابت بود. میزان خلا عملکرد در بوم‌نظام مورد مطالعه درحالی کاهش یافته که بررسی ضریب عملکرد منطقه‌ای نشان داد که ارتقای سیستم مدیریتی منجر به بهبود عملکرد واقعی و درنتیجه کاهش خلا عملکرد گردیده است. در طی سال‌های مورد مطالعه، میزان فشرده‌سازی افزایش و ثبات عملکرد کاهش یافته‌است. کاهش ثبات عملکرد نشان‌دهنده‌ی عدم وجود پایداری در بوم‌نظام مورد مطالعه بود. با توجه به اهمیت کارایی مصرف نیتروژن بر پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی، نتایج نشان داد که میزان کارایی جذب، کارایی استفاده و کارایی مصرف نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه در منطقه کاهش یافته‌است. بر این اساس به نظر می‌رسد، پایین بودن کارایی مصرف نیتروژن و روند کاهشی آن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام مورد مطالعه می‌باشد. از این‌رو برنامه‌ریزی و تغییر شیوه‌ی مدیریتی با تمرکز بر افزایش کارایی مصرف نیتروژن می‌تواند به‌عنوان اولین گام در جهت حرکت به سمت افزایش پایداری در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد گردد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز داده، ثبات، ضریب عملکرد منطقه‌ای، کارایی جذب

مقدمه

در سال ۱۹۵۰ میلادی (۱۳۲۹ شمسی) جمعیت ایران ۱۷/۱۱ میلیون نفر بود. در طی هفتاد سال جمعیت ایران به ۸۴ میلیون نفر افزایش یافت. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که جمعیت ایران در سال ۲۰۵۰ میلادی (۱۴۲۹ شمسی) به ۱۰۳ میلیون نفر افزایش خواهد یافت (United Nations, 2019). در این شرایط تامین پایدار امنیت غذایی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش‌روی بشر شمرده می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که برای دستیابی به امنیت غذایی جهانی، تولید غذا بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۵۰ باید حدود ۷۰ درصد افزایش یابد (Kopittke *et al.*, 2019). در این راستا بروز انقلاب سبز با هدف کاهش گرسنگی و تقویت تولید مواد غذایی، منجر به افزایش چشمگیر تولید غذا و علوفه در سراسر جهان شد. به طوری‌که در مقیاس جهانی سطح گرسنگی از ۳۹٪ در سال ۱۹۶۵ به ۱۷٪ در سال ۲۰۱۰ کاهش یافت (Hazell, 2010). این افزایش تولید در سیستم‌های کشاورزی همزمان با افزایش کاربرد ماشین‌آلات

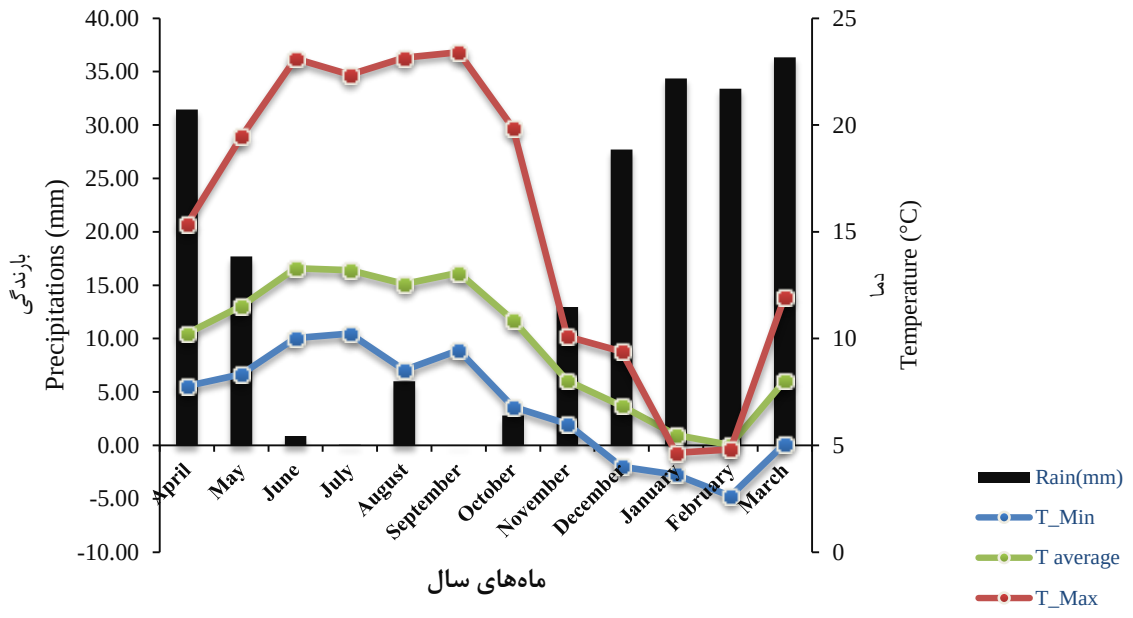
۱- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۴- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: rezvani@um.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75055.1147

کشاورزی و مصرف روزافزون نهاده‌های شیمیایی انجام گرفت (Pellegrini & Fernández, 2018). به‌طوری‌که در خلال دهه‌های اخیر، فشرده‌سازی با مدیریت فشرده و افزایش مصرف مواد شیمیایی، در اکثر بوم‌نظام‌های زراعی مهم‌ترین نقش را در شکل‌گیری ساختار کشاورزی و افزایش تولید در نقاط مختلف جهان ایفا کرد (Beckmann *et al.*, 2019). فشرده‌سازی کشاورزی عبارت است از افزایش تولیدات کشاورزی به نسبت نهاده‌های ورودی (نیروی کار، زمین، کود، بذر و سرمایه) (Palmer, 2008). مطالعات سال‌های اخیر نشان می‌دهد که افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های زراعی در کنار افزایش تولید، تبعات مختلفی به همراه داشته است. از جمله تبعات فشرده‌سازی، آسیب به محیط‌زیست (Clay *et al.*, 2020) کاهش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی (Pittelkow *et al.*, 2016) و به مخاطره انداختن امنیت غذایی بوده‌است (Kopittke *et al.*, 2019). به این ترتیب با وجود این‌که در اکثر محصولات زراعی عملکرد در واحد سطح افزایش یافته‌است، اما نگرانی برای تامین امنیت غذایی جمعیت رو به افزایش کره زمین همچنان پابرجاست (Funk *et al.*, 2009). در این شرایط تامین امنیت غذایی در آینده مستلزم تغییر شیوه‌های مدیریتی به سمتی است که در حین افزایش تولید، پایداری و ثبات بوم‌نظام‌های کشاورزی افزایش یافته و تلفات زیست‌محیطی ناشی از کشاورزی به حداقل برسد (Berry *et al.*, 2015). برای تحقق این پایداری در بوم‌نظام‌های کشاورزی در اولین گام نیاز است که تحلیل جامع اگرواکولوژیک از سیستم‌های کشاورزی در هر منطقه انجام شود تا مشخص گردد که با شیوه‌ی مدیریتی فعلی موجود در هر منطقه، بوم‌نظام‌های کشاورزی آن منطقه از چه خصوصیات اکولوژیک برخوردار هستند و با این شیوه مدیریتی از نظر پایداری چه آینده‌ای در انتظار آن‌ها است، تا در صورت لزوم با حفظ یا تغییر برخی از روش‌های مدیریتی بتوان بهترین برنامه را برای افزایش تولید، در حین حرکت به سمت افزایش پایداری، در هر محصول برای هر منطقه طراحی و اجرا کرد (Brzozowski & Mazourek, 2018). از طرفی دیگر، با توجه به وجود تنوع مکانی عملکرد در مقیاس بزرگ، تجزیه و تحلیل خصوصیات اکولوژیک و ارائه‌ی روش‌های مدیریتی در مقیاس بزرگ چندان مفید نمی‌باشند و بنابراین مطالعات دقیق‌تر در مقیاس‌های کوچک محلی نیز ضرورت دارد (Neumann *et al.*, 2010). چغندرقند با نام علمی *Beta vulgaris* L. یکی از محصولات زراعی مهم کشور است که در محدوده وسیعی از شرایط اقلیمی ایران کشت می‌شود (Dihim Fard & Nazari, 2015). ایران با حدود ۱۰۸ هزار هکتار سطح زیرکشت و عملکرد ۵۱/۷ تن در هکتار (Ministry of Agriculture-Jahad, 2020) یازدهمین کشور تولیدکننده چغندرقند در جهان و سومین کشور در خاورمیانه است (FAO, 2018). چغندرقند مهم‌ترین منبع تولید شکر در ایران است به‌طوری‌که با ۲۲/۵ درصد از سطح برداشت محصولات صنعتی، رتبه اول این گروه را به خود اختصاص داده است (Dihim Fard & Nazari, 2015). علاوه بر تولید شکر، کشت چغندرقند از نظر میزان اشتغال‌زایی در کشور نیز دارای اهمیت بالایی است. نیکویی و همکاران (Nikoei *et al.*, 2007) در مطالعه‌ای با بررسی میزان اشتغال‌زایی چغندرقند در ایران گزارش دادند که برای تولید هر تن چغندرقند از مرحله تولید تا برداشت به‌طور متوسط ۷/۱۵ نفر–روز نیروی کار مشغول به کار بودند که بر این اساس سالانه ۲۵۳۲۰۷ نفر در صنعت چغندرقند کشور اشتغال کامل داشتند. در بین مناطق متعدد کشت چغندرقند در ایران، استان خراسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین استان‌های کشور با ۱۶۳۵۴ هکتار سطح زیر کشت بعد از آذربایجان غربی بیشترین سطح زیر کشت این محصول را در کشور به خود اختصاص داده است (Ministry of Agriculture-Jahad, 2020).

با عنایت به مطالب فوق هدف از این پژوهش، به‌کارگیری رهیافتی سیستمیک در تجزیه و تحلیل بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، شمال شرق ایران است.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی و تجزیه و تحلیل اکولوژیک بوم‌نظام زراعی چغندرقند در منطقه تربت حیدریه، آمار مربوط به سطح زیر کشت، عملکرد و میزان مصرف نهاده‌ها (شامل آب، کودهای نیتروژن و فسفر) در زراعت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰–۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. به‌منظور جمع‌آوری داده‌ها از داده‌های آماری آمارنامه‌ها و بانک اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی (Ministry of Agriculture-Jahad, 2001-2016)، مرکز آمار ایران (www.amar.org.ir) و مراجعه حضوری به موسسات مرتبط با کشاورزی از قبیل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی، مدیریت جهاد کشاورزی مشهد، مدیریت جهاد کشاورزی تربت‌حیدریه و همچنین مصاحبه با کشاورزان منطقه استفاده شد. همچنین داده‌های آب و هوایی منطقه (شامل دمای کمینه و بیشینه روزانه، بارندگی و تعداد ساعات آفتابی) در بازه زمانی مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی تربت حیدریه تهیه شد.



شکل ۱- میانگین ۱۵ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵) دما و بارش ماهانه در تربت حیدریه

Figure 1- 15-year (2001-2016) average monthly temperature and precipitations in Torbat-e Heydarieh

براساس اطلاعات به‌دست آمده برای دستیابی به رهیافتی سیستمیک در تجزیه و تحلیل بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت‌حیدریه موارد ذیل مورد بررسی قرار گرفت.

آنالیز روند

یکی از اجزای مهم در تجزیه و تحلیل بوم نظام‌ها بررسی وضعیت فعلی و روند تغییرات تولیدات کشاورزی می‌باشد. به این منظور روند تغییرات عملکرد و سطح زیرکشت چغندرقند در منطقه تربت‌حیدریه در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی روند از طریق برازش رگرسیون خطی به تغییرات هر متغیر (y) در طی زمان (x) انجام شد. شیب خط رگرسیون تعیین‌کننده‌ی نرخ تغییر در واحد زمان می‌باشد.

برآورد عملکرد پتانسیل به روش فائو

عدم دسترسی به داده‌های کامل و صحیح از مهم‌ترین مشکلات محققین کشور برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی در برآورد عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد می‌باشد. در چنین شرایطی به‌کارگیری مدل‌های ساده‌شده که در آن‌ها الگوریتم محاسباتی مدل‌های رشد در قالب دو یا چند معادله ساده ارائه می‌شود راهکاری جایگزین محسوب می‌شود. در این روش که توسط فائو برای استفاده در پهنه‌بندی‌های اگرواکولوژیک محصولات زراعی ارائه شده (FAO, 1978, 1981) سرعت رشد در مرحله خطی (LGR، کیلوگرم در هکتار در روز) و کل ماده خشک تولیدشده (TDM، کیلوگرم در هکتار) در شرایط پتانسیل از روابط (۱) و (۲) به‌دست می‌آید:

$$LGR = \frac{0.72 \times GPHOT}{(1 + 0.25 \times C_i \times p)} \quad (۱)$$

$$TDM = \frac{0.36 \times GPHOT}{(\frac{1}{p} + 0.25 \times C_i)} \quad (۲)$$

در این معادلات GPHOT میانگین سرعت فتوسنتز ناخالص کانوپی (کیلوگرم گلوکز در هکتار در روز)، p طول دوره رشد (۲۳۸ روز در نظر گرفته شد) و Ci ضریب تنفس نگهداری (Maintenance respiration) است و مقادیر ثابت این معادلات مربوط به تنفس رشد (Growth respiration) و تصحیح ضریب تنفس نگهداری می‌باشد.

برآورد عملکرد پتانسیل به روش فائو تغییریافته

در این روش که مدل خلاصه‌شده ورستیخ و ون کیولن (Versteeg & van Keulen, 1986) می‌باشد و نوع تغییریافته روش فائو محسوب می‌شود، برای محاسبه‌ی کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) به داده‌های طول دوره رشد، میانگین دما ($^{\circ}C$) و میانگین روزانه تشعشع خورشیدی ($MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$) در طی دوره رشد خطی نیاز است. کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) از رابطه (۳) به‌دست آمد:

$$0.5 \times p \times TDM = 2500 + (0.4 \times p \times LGR) + (0.15 \times LGR) \quad (۳)$$

که در آن LGR سرعت رشد در مرحله خطی (کیلوگرم در هکتار در روز) p طول دوره رشد می‌باشد. ضرایب ۰/۴ و ۰/۱۵ به‌ترتیب

نشان‌دهنده سهم دوره رشد خطی و رشد نهایی از کل دوره رشد بوده و سرعت رشد در مرحله نهایی نصف LGR در نظر گرفته‌شده‌است. جزئیات روش فائو و فائو تغییریافته در مقاله نصیری محلاتی و همکاران (Nassiri mahallati & Koocheki, 2018)، کاملا تشریح شده‌است. در نهایت میزان کل ماده خشک تولید شده (TDM، کیلوگرم در هکتار) در هر دو روش فائو و فائو تغییریافته در شاخص برداشت عملکرد ریشه ضرب شده و مقدار ماده خشک تولیدشده در هر سال محاسبه شد (مقدار شاخص برداشت عملکرد ریشه چغندرقند بیانگر نسبت عملکرد ریشه چغندرقند به کل زیست‌توده گیاه می‌باشد که ۰/۷۵ (Sanghera *et al.*, 2016) در نظر گرفته شد). در نهایت عملکرد ریشه چغندرقند بر مبنای ۲۵ درصد ماده خشک محاسبه شد (Abdollahian-Noghabi *et al.*, 2013). نتایج به‌دست آمده از روش فائو و فائو تغییریافته با استفاده از آزمون‌های آماری میانگین جذرمربعات خطا تعیین اعتبار شد. RMSE% معیاری است که در آن انحراف معیار خطای پیش‌بینی (RMSE) به‌عنوان درصدی از میانگین مشاهدات بیان می‌شود (رابطه ۴).

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad (۴)$$

برآورد خلاء عملکرد

اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد واقعی به‌دست آمده در یک منطقه خلا عملکرد نامیده می‌شود. میزان خلا عملکرد (YG) از رابطه (۵) محاسبه شد که در آن اختلاف بین عملکرد پتانسیل محاسبه شده (YFi) از عملکرد واقعی مشاهده شده (Yai) به‌عنوان خلا عملکرد لحاظ گردید (رابطه ۵):

$$YGi = YFi - Yai \quad (۵)$$

ضریب عملکرد منطقه (RYF)

ضریب عملکرد منطقه (Regional Yield Factor) معیاری است از بهبود روش‌های مدیریت یک منطقه در طی زمان (Andarzian, 2019) که از رابطه (۶) محاسبه شد.

$$RYF = Ya/Yp \quad (۶)$$

در این معادله، Ya عملکرد واقعی و Yp عملکرد پتانسیل است. مقدار ضریب عملکرد منطقه‌ای بین صفر و ۱ متغیر بوده و نشان‌دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت صحیح آب، مواد غذایی، آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز و بهینه‌سازی عملیات زراعی نظیر تراکم و تاریخ کاشت، مقدار عملکرد واقعی به پتانسیل نزدیک‌تر شده و RYF به سمت ۱ خواهد رفت که نشان‌دهنده میزان توسعه نظام تولید در یک منطقه است. با مدیریت عوامل محدودکننده و عوامل کاهنده تولید می‌توان مقدار عملکرد واقعی را به عملکرد پتانسیل نزدیک کرد (Badsar *et al.*, 2017).

فشرده‌سازی

در این مطالعه فشرده سازی بوم‌نظام‌های زراعی چغندرقند در بازه‌ی زمانی سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در منطقه تربت‌حیدریه با استفاده از شاخص‌های مرتبط با ورودی‌ها و شاخص‌های مرتبط با خروجی‌ها محاسبه شد.

سنجش فشرده‌سازی بر اساس ورودی‌ها

برای محاسبه میزان فشرده‌سازی از شاخص هزینه برای ورودی‌های مزرعه شامل انواع کودهای شیمیایی معمول مورد استفاده در منطقه شامل کود اوره (مقدار نیتروژن ۴۶٪) و سوپرفسفات تریپل (P_2O_5) استفاده شد. در نهایت بعد از محاسبه هزینه‌های مصرفی در هر هکتار مقایسه فشرده‌سازی در سال‌های مورد مطالعه بر مبنای هزینه انجام شده صورت گرفت (Commission, 2012). برای محاسبه‌ی هزینه‌ی هر کدام از نهاده‌ها در هر سال، میانگین قیمت هر نهاده در هر سال از سایت www.indexmundi.com استخراج شد. با توجه به نوسانات زیاد قیمت ریال در طی سال‌های اخیر، تمامی قیمت‌های به دلار آمریکا محاسبه شد.

سنجش فشرده‌سازی بر اساس خروجی‌ها

از لحاظ فیزیولوژیک فشرده‌سازی در خروجی عبارت است از افزایش تولید به ازای واحد سطح و زمان (Hunt, 2000). برای محاسبه فشرده‌سازی با استفاده از این سنجش میزان تولید چغندرقند در هر سال به‌ازای واحد سطح محاسبه شده و گراف مربوط به تغییرات این روند در سال‌های مورد مطالعه رسم شد. ارزیابی روند از طریق برازش رگرسیون خطی به تغییرات هر متغیر (y) در طی زمان (x) انجام شد. شیب خط رگرسیون تعیین‌کننده‌ی نرخ تغییر در واحد زمان می‌باشد.

ارزیابی ثبات عملکرد

در این مطالعه ثبات عملکرد چغندرقند در منطقه تربت حیدریه با دو روش مختلف مورد ارزیابی قرارگرفت.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس باقی‌مانده رگرسیون

معادله رگرسیون عملکرد هر محصول در سال‌های متوالی نشان‌دهنده‌ی روند تغییرات عملکرد در طی زمان است. باقی‌مانده این معادله رگرسیون یعنی اختلاف بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی شده در هر سال نشان‌دهنده تاثیر شرایط محیطی (آب و هوایی) بر عملکرد بوده و بنابراین، شاخصی از ثبات محسوب می‌شود (Nassiri

(Mahallati & Koocheki, 2014). جهت محاسبه دقیق باقی‌مانده رگرسیون لازم است که ابتدا مدل رگرسیونی مناسبی برای توصیف روند تغییرات عملکرد هر محصول به‌دست آید. پایین بودن ضریب تبیین (R^2) معادله روند موجب افزایش باقی‌مانده رگرسیون شده و نتایج را غیرقابل‌اتکا خواهد کرد بر این اساس در این مطالعه مدل‌های رگرسیون خطی (رابطه ۷) و خطی دو قطعه‌ای (رابطه ۸) و سه قطعه‌ای (رابطه ۹) برای توصیف روند عملکرد هر یک از محصولات تحت بررسی مورد مقایسه قرارگرفت و بهترین مدل بر اساس بزرگ‌ترین ضریب تبیین و نرمال بودن توزیع باقی‌مانده آن‌ها (Calderini & Slafer, 1998) انتخاب شد.

مدل خطی (۷)

$$Y = a + bx$$

مدل خطی دو قطعه‌ای (۸)

$$Y = a + bx \quad \text{if } x \le c$$
$$Y = a + bc + d(x-c) \quad \text{if } x < c$$

مدل خطی سه قطعه‌ای (۹)

$$Y = a + bx \quad \text{if } x \le c$$
$$Y = a + bc + d(x-c) \quad \text{if } e \le x < c$$
$$Y = a + bc + d(e-c) + f(x-c) \quad \text{if } x < e$$

که در آن‌ها Y عملکرد، x سال (از ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵)، a عرض از مبدا، b سرعت افزایش عملکرد طی اولین مرحله خطی، c سالی که در آن اولین نقطه عطف بروز می‌کند، d سرعت افزایش عملکرد در طی دومین مرحله خطی، e سالی که در آن دومین نقطه عطف معادله روند قرار دارد و f سرعت افزایش عملکرد در طی سومین مرحله خطی می‌باشد. پس از انتخاب مدل، اختلاف بین عملکرد واقعی و پیش‌بینی‌شده به‌وسیله مدل رگرسیون به‌عنوان باقی‌مانده عملکرد محاسبه شد. از آن‌جا که در ارزیابی ثبات، تنها قدر مطلق تغییرات عملکرد اهمیت دارد، قدرمطلق تمامی باقی‌مانده‌های عملکرد محاسبه‌شده و پس از آن با تقسیم باقی‌مانده عملکرد بر عملکرد واقعی، باقی‌مانده نسبی عملکرد بوسیله مدل رگرسیونی محاسبه شد تا مشخص شود که باقی‌مانده عملکرد در هر سال چه درصدی از عملکرد آن سال است (Calderini & Slafer, 1998). نهایتا با رسم نمودار مقادیر نسبی باقی‌مانده عملکرد در سال‌های تحت بررسی، روند ثبات عملکرد برای هر محصول به‌دست آمد.

ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس ضریب تغییرات عملکرد

ضریب تغییرات عملکرد برای دوره‌های دوساله با تقسیم انحراف معیار بر میانگین آن دو سال به‌دست آمد و معادله رگرسیون خطی آن نیز به منظور تعیین جهت روند ضریب تغییرات عملکرد محاسبه شد. شیب مثبت این معادله (b) به معنای افزایش بی‌ثباتی، شیب منفی به معنای افزایش ثبات و شیب صفر ثبات نسبی ضریب تغییرات عملکرد را در طی دوره مورد مطالعه نشان می‌دهد.

کارایی جذب، استفاده و مصرف نیتروژن

کارایی مصرف نیتروژن (NUE) شامل کیلوگرم عملکرد اقتصادی ریشه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن مصرف شده است که به دو جز کارایی جذب و کارایی استفاده از نیتروژن تقسیم می‌شود (Moll *et al.*,1982).

کارایی جذب نیتروژن (NUpE) مقدار نیتروژن برداشت شده توسط گیاه به‌ازای هر واحد نیتروژن موجود در خاک است (Moll *et al.*, 1982) که از رابطه (۱۰) محاسبه شد (Bicharanloo *et al.*, 2021).

$$NUpE = \frac{N_u}{N_f} \times 100 \qquad (۱۰)$$

در این فرمول Nu نیتروژن جذب شده توسط گیاه (کیلوگرم در هکتار) و Nf مقدار نیتروژن موجود در خاک (نیتروژن کودی مصرف شده و نیتروژن خاک) می‌باشند.

به‌منظور محاسبه Nf (رابطه ۱۱) برای محصول چغندرقند، مقدار نیتروژن خالص مصرفی از طریق کود برای هر سال محاسبه شد. علاوه بر آن با استفاده از جرم مخصوص ظاهری خاک، مقدار نیتروژن موجود در خاک نیز تخمین زده شد. مجموع نیتروژن خالص مصرفی و نیتروژن موجود در خاک مقدار Nf این محصول را تشکیل داد (Bicharanloo *et al.*, 2021). با توجه به کوچک بودن بذر چغندرقند، و ناچیز بودن مقدار نیتروژن موجود در بذر، نیتروژن بذری برای این محصول در نظر گرفته نشد.

Nf = نیتروژن خاک + نیتروژن کود (۱۱)

برای تخمین مقدار نیتروژن جذب شده توسط گیاه، ابتدا عملکرد ماده خشک سالانه با تقسیم عملکرد اقتصادی ریشه بر شاخص برداشت عملکرد ریشه محاسبه شد (شاخص برداشت عملکرد ریشه چغندرقند ۰/۷۵ (Sanghera *et al.*, 2016) در نظر گرفته شد) تفاضل عملکرد ماده خشک از عملکرد اقتصادی، عملکرد زیست‌توده برای هر سال خواهد بود. در نهایت نیتروژن جذب شده توسط گیاه از جمع نیتروژن محصول اقتصادی (درصد نیتروژن ×عملکرد اقتصادی) و نیتروژن زیست‌توده (درصد نیتروژن زیست‌توده×عملکرد زیست‌توده) به‌دست آمد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017). کارایی استفاده از نیتروژن (NUtE) کیلوگرم عملکرد اقتصادی ریشه به‌ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده که به کارآیی فیزیولوژیکی نیتروژن نیز موسوم است (رابطه ۱۲).

$$NUtE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{Nu} \qquad (۱۲)$$

در رابطه (۱۲) GY fertilized عملکرد اقتصادی ریشه با مصرف نیتروژن، GY unfertilized عملکرد اقتصادی ریشه بدون مصرف نیتروژن می‌باشند. عملکرد اقتصادی بدون مصرف نیتروژن معادل

عرض از مبدا خط رگرسیون (رابطه ۱۳) بین عملکرد اقتصادی ریشه (GY) و میزان کود مصرفی متناظر با آن (Nf) به‌عنوان GYunfertilized در نظر گرفته شد (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017).

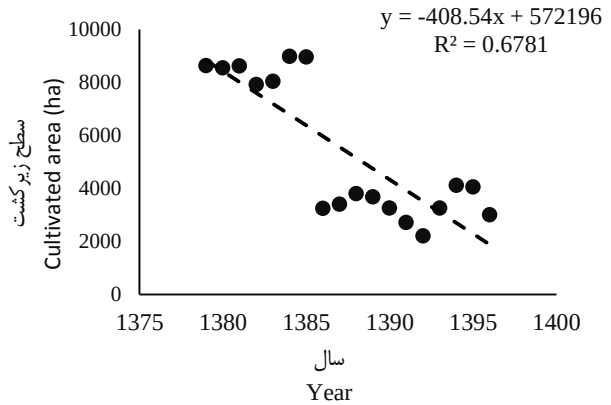
$$GY = a + PNP \times N_f \quad (۱۳)$$

در نهایت میزان کارایی مصرف نیتروژن (NUE) نیز با استفاده از رابطه (۱۴) محاسبه شد.

$$NUE = \frac{GY_{fertilized} - GY_{unfertilized}}{N_f} \quad (۱۴)$$

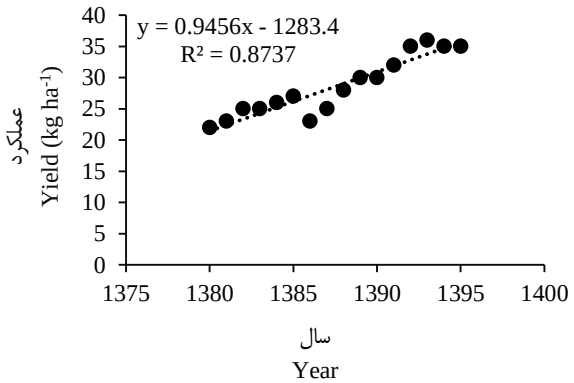
نتایج و بحث

بررسی روند سطح زیر کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه نشان داد که در بازه‌ی زمانی ۹۵-۱۳۸۰ سطح زیر کشت این محصول روندی کاهشی داشت (شکل ۲). در این بازه‌ی زمانی، سالانه ۴۰۸ هکتار از سطح زیر کشت مزارع چغندرقند در منطقه تربت حیدریه کاسته شد. بررسی روند تغییرات سطح زیر کشت چغندرقند در کل کشور نیز نشان داد که از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۵ سطح زیرکشت چغندرقند در کشور ۲۹ درصد کاهش یافت (Ministry of Agriculture-Jahad, 2001, 2016).



شکل ۲- روند تغییرات سطح زیرکشت چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

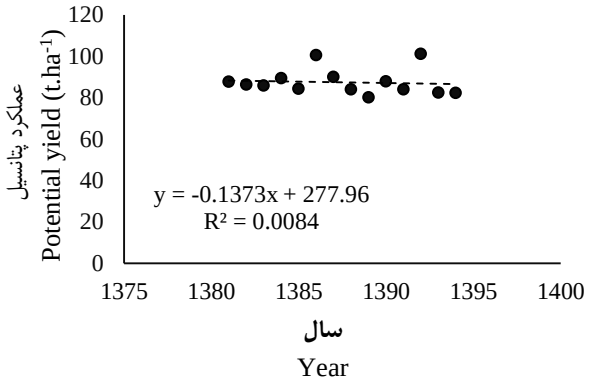
Figure 2- Trend of sugar beet cultivated area variations in the Torbat-e Heydariyeh from 2001-2016



شکل ۳- روند تغییرات عملکرد چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

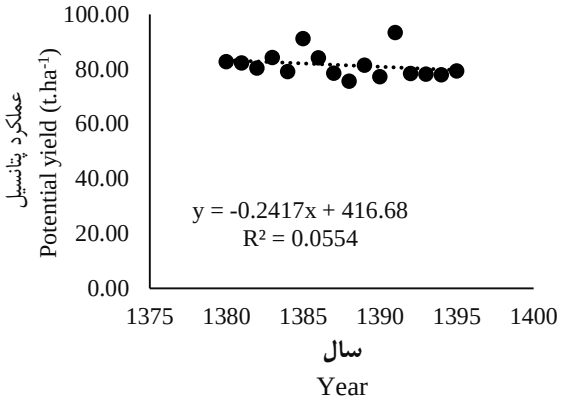
Figure 3- Trend of sugar beet yield variations in the Torbat-e Heydariyeh from 2001-2016

برخلاف سطح زیرکشت، تغییرات عملکرد چغندرقند در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۰ در منطقه تربت حیدریه روندی افزایشی نشان داد (شکل ۳). بر اساس این مدل در دوره‌ی مورد اشاره متوسط رشد سالانه عملکرد چغندرقند ۰/۹۴ تن در هکتار بود. متوسط عملکرد چغندرقند در دوره‌ی مورد مطالعه ۲۸/۵ تن در هکتار برآورد شد (شکل ۳). با وجود کاهش سطح زیرکشت چغندرقند، عملکرد این محصول در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی ۱۵ ساله ۵۹ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد در یک منطقه می‌تواند به کمک روش‌های به‌نژادی یا روش‌های به‌زراعی تحقق یابد (Cobb *et al.*, 2013). روش‌های به‌نژادی از طریق بهبود عملکرد پتانسیل با کمک اصلاح نباتات (Brummer *et al.*, 2011) و روش‌های به‌زراعی از طریق بهبود عملکرد واقعی با کمک تغییر در روش‌های مدیریتی و کاهش خلا عملکرد محقق می‌شود (Senapati & Semenov, 2020). باعنایت به این مطالب عملکرد پتانسیل در بازه زمانی مورد مطالعه با استفاده از دو روش فائو و فائو تغییریافته تخمین زده شد. نتایج به‌دست آمده از هر دو روش با استفاده از معیار آماری RMSE% تعیین اعتبار شد. مقدار RMSE% برای هر دو روش فائو و فائو تغییریافته نشان‌دهنده‌ی پیش‌بینی خوب مدل بود. نتایج نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو ۸۷ تن در هکتار (شکل ۴) و به روش فائو تغییریافته ۸۱/۳ تن در هکتار (شکل ۵) محاسبه شد. روند عملکرد پتانسیل با هر دو روش محاسباتی طی سال‌های مورد مطالعه تغییر زیادی نداشته و با شیب خیلی کم رو به کاهش داشت.



شکل ٤- تخمین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

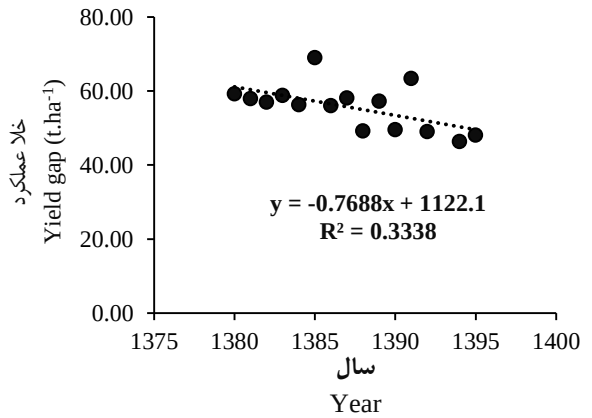
Figure 4- Predicted potential yield of sugar beet obtained via the FAO method from 2001-2016

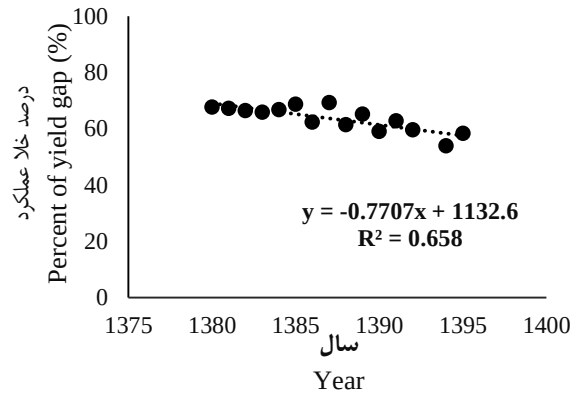


شکل ٥- تخمین عملکرد پتانسیل چغندرقند به روش فائو تغییریافته حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 5- Predicted potential yield of sugar beet obtained via the modified FAO method from 2001-2016

کاهش جزئی عملکرد پتانسیل در طی ۱۵ سال در هر دو روش (شکل ۴ و ۵) نشان می‌دهد که دلیل افزایش میانگین عملکردهای مشاهده شده در این بازه، به دلیل بهبود عملکرد پتانسیل نبوده و افزایش عملکرد مشاهده شده در بازه زمانی مورد مطالعه تحت تاثیر عوامل به‌زراعی صورت گرفته است. عوامل به‌زراعی با کمک استفاده از روش‌های مدیریتی در مزارع، بهبود عملکرد واقعی و کاهش خلا عملکرد در منطقه افزایش عملکرد را رقم می‌زنند (Senapati & Semenov, 2020). از همین رو در گام بعدی پژوهش تغییرات خلا عملکرد چغندرقند در بازه‌ی زمانی ۱۳۹۵-۱۳۸۰ مورد بررسی قرار گرفت. اختلاف بین عملکرد پتانسیل و حداکثر عملکرد واقعی به‌دست آمده در یک منطقه خلا عملکرد نامیده می‌شود. بررسی نتایج نشان داد که خلا عملکرد چغندرقند در بازه زمانی مورد مطالعه در منطقه تربت حیدریه به‌طور میانگین ۳۵ تن در هکتار برآورد شد، که این میزان در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه روندی کاهشی داشت (شکل ۶). درصد خلا عملکرد چغندرقند در طی سال‌های مورد مطالعه بین ۵۳ تا ۶۹ درصد محاسبه شد. که به‌طور میانگین میزان درصد خلا عملکرد چغندرقند در طی این سال‌ها ۶۳ درصد محاسبه شد (شکل ۶).



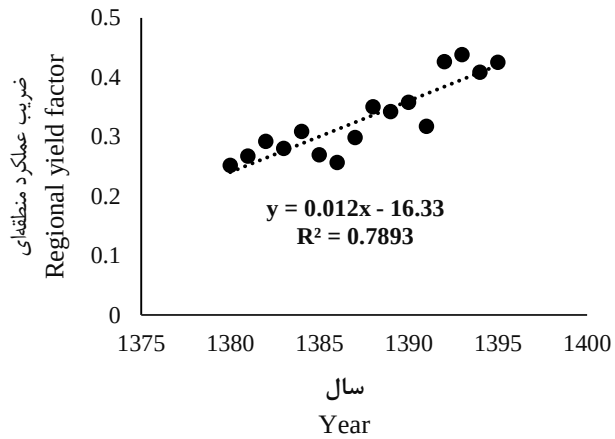


شکل ٦- روند تغییرات خلاعملکرد و درصد خلا عملکرد چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 6- Trend of sugar beet yield gap and percentage of yield gap in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

در سال‌های پایانی مطالعه (۱۳۹۵) درصد خلا عملکرد چغندرقند ۱۳ درصد نسبت به سال‌های اولیه‌ی مورد مطالعه (۱۳۸۵) بهبود یافت (شکل ۶). مطالعات مختلف نشان می‌دهد که میزان خلا عملکرد با شرایط آب و هوایی سالانه بستگی دارد به این صورت که میزان خلا عملکرد در سال‌هایی با پتانسیل تولید پایین‌تر، کمتر از سال‌هایی با پتانسیل بالاتر است (Caldiz *et al.*, 2001; Abeledo *et al.*, 2008). باعنایت به مطالب فوق به نظر می‌رسد که کاهش جزئی عملکرد پتانسیل در بازه‌ی زمانی مورد مطالعه در منطقه بر کاهش

خلا عملکرد تاثیر جزئی داشته است اما دلیل اصلی کاهش خلا عملکرد از طریق افزایش عملکرد واقعی در منطقه حاصل شد. به طوری‌که افزایش قابل‌توجه عملکرد واقعی (شکل ۳) در کنار کاهش جزئی عملکرد پتانسیل (شکل ۴ و ۵)، کاهش خلا عملکرد را در پی داشته است (شکل ۶). گوبت و همکاران (Gobbett *et al.*, 2017) نیز بیان داشتند که از بین بردن فاصله بین عملکردی که در حال حاضر در مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند حاصل شود، از طریق بهبود مدیریت ممکن می‌شود. با عنایت به مطالب فوق میزان ضریب عملکرد منطقه (RYF) به‌عنوان معیاری برای بررسی میزان بهبود روش‌های مدیریت در طی زمان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین ضریب عملکرد منطقه‌ی تربت حیدریه در طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵، ۰/۳۳ به‌دست آمد (شکل ۷). در طی سال‌های مطالعه روند ضریب عملکرد منطقه‌ای برای چغندرقند افزایش یافت. به‌طوری‌که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ برای چغندرقند ۶۹ درصد افزایش ضریب عملکرد منطقه‌ای مشاهده شد (شکل ۷).

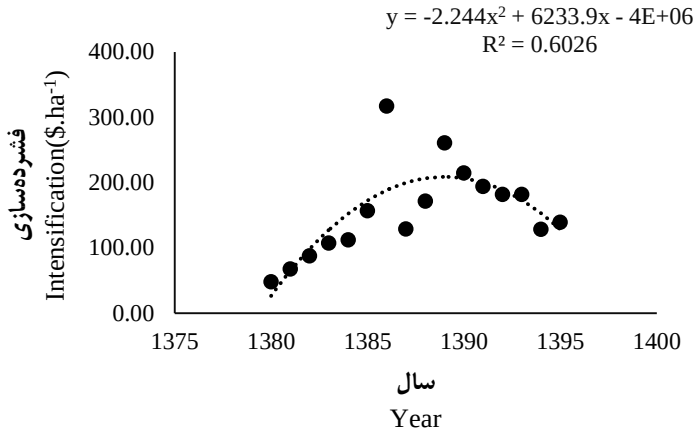


شکل ۷- روند تغییرات ضریب عملکرد منطقه‌ای چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵
Figure 7- Trend of sugar beet regional yield factor in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

با توجه به این‌که ضریب عملکرد منطقه‌ای عملیات مدیریتی کشاورزان هر منطقه را نمایش می‌دهد (Lobell *et al.*, 2009) افزایش این ضریب نشان‌دهنده ارتقای عملیات مدیریتی در بوم‌نظام‌های مورد مطالعه بود. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر عملیات مدیریتی بوم‌نظام‌های کشاورزی به سمت مدیریت فشرده و استفاده از فناوری‌های گوناگون، خاک‌ورزی فشرده، کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌های شیمیایی در حرکت است که منجر به افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های کشاورزی می‌گردد (Thomson *et al.*, 2019; Cassman & Grassini, 2020). بنابراین به‌منظور بررسی روند تغییرات فشرده‌سازی، میزان فشرده‌سازی در طی ۱۵ سال مورد مطالعه برای بوم‌نظام چغندرقند در منطقه تربت حیدریه مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش میزان فشرده‌سازی با استفاده از دو روش (براساس پارامترهای ورودی و خروجی) محاسبه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده میزان فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ افزایش یافت (شکل ۸). نتایج نشان داد که میزان فشرده‌سازی در بوم‌نظام چغندرقند از ۴۷/۵ دلار در هکتار در سال ۱۳۸۰ به ۱۳۹ دلار در هکتار در سال ۱۳۹۵ افزایش یافت (شکل ۸). در طی دوره‌ی مطالعه درصد افزایش فشرده‌سازی در چغندرقند بیشتر از صد در صد بود به طوری‌که، میزان فشرده‌سازی در چغندرقند ۱۹۲ درصد افزایش یافت. بررسی روند تغییرات میزان فشرده‌سازی نشان داد که میزان فشرده‌سازی در سال ۱۳۸۶ افزایش شدیدی داشت به طوری‌که از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۶ روند فشرده‌سازی افزایشی و بعد از آن از سال ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۵ روندی کاهشی از خود نشان داد (شکل ۸).

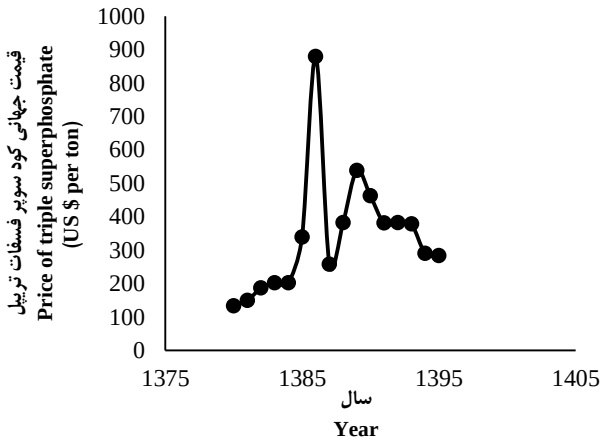
دلیل افزایش شدید فشرده‌سازی در سال ۱۳۸۶ به دلیل افزایش ناگهانی قیمت کود سوپر فسفات تریپل (شکل ۹) و اوره (شکل ۱۰) در سطح بین‌المللی در این سال بود (www.indexmundi.com).

با وجود روند کاهشی فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۶ به بعد، اما میزان مصرف هر دو کود اوره و سوپرفسفات تریپل در محصولات مورد بررسی روندی افزایشی داشت (شکل ۱۱). لذا به نظر می‌رسد که دلیل روند کاهشی فشرده‌سازی از سال ۱۳۸۶ به بعد در این پژوهش صرفا به دلیل کاهش قیمت‌های جهانی این نهاده‌ها بوده است، در حالی که مصرف کودهای شیمیایی مورد استفاده افزایش یافته بود.



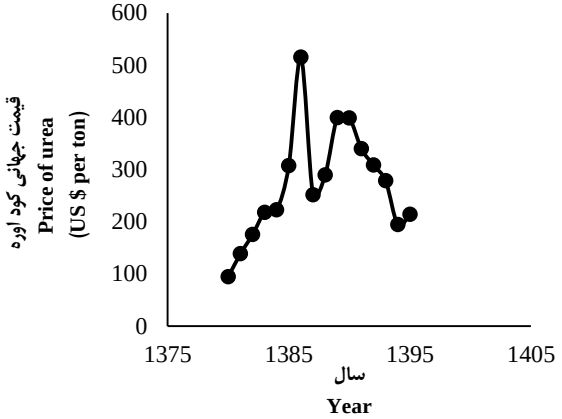
شکل ۸- روند تغییرات فشرده‌سازی بوم‌نظام‌های چغندرقند در تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 8- Trend of intensification of sugar beet systems in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016



شکل ۹- روند تغییرات جهانی قیمت کود سوپر فسفات تریپل از سال ۱۳۸۰-۱۳۹۵

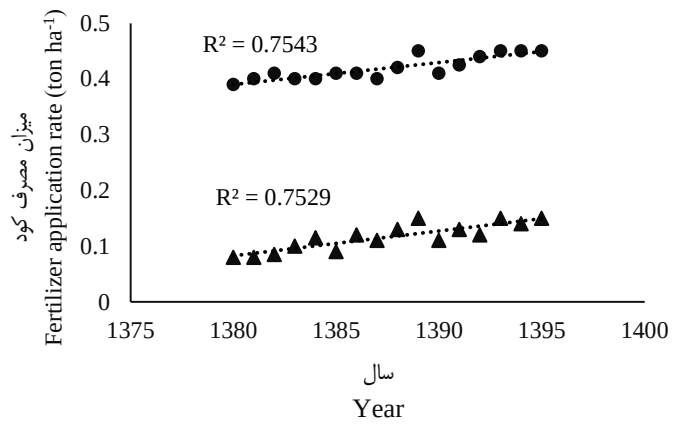
Figure 9- Trend of global changes in the price of triple superphosphate fertilizer from 2001-2016



شکل ۱۰- روند تغییرات جهانی قیمت کود اوره از سال ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 10- Trend of global changes in the price of urea fertilizer from 2001-2016

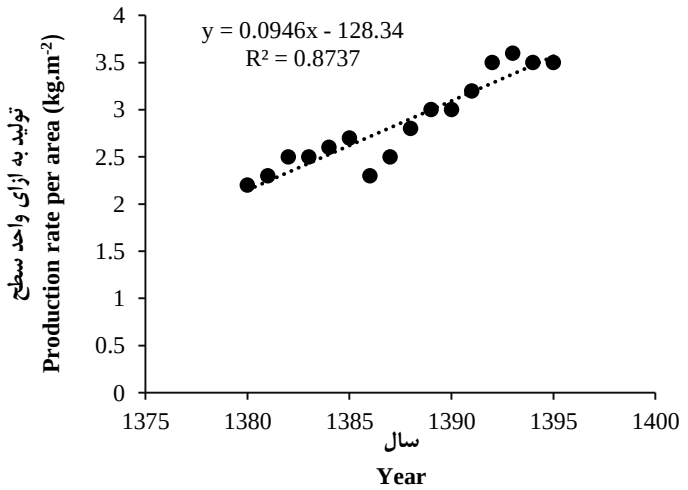
میزان مصرف کودهای شیمیایی در منطقه در حال افزایش است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که متوسط مصرف اوره در ایران ۳۸ درصد بیشتر از میانگین جهانی است (Dihim Fard & Nazari, 2015). در همین راستا کاروالهو (Carvalho, 2006) اظهار داشت که کشورهای در حال‌توسعه و توسعه‌یافته در میزان استفاده از سموم شیمیایی در دو جهت مخالف در حال حرکت هستند، در حالی‌که کشورهای در حال توسعه تمایل به استفاده بیشتر از سموم شیمیایی دارند، کشورهای توسعه‌یافته در حال کاهش میزان استفاده از سموم هستند. به‌عبارتی پژوهشگران دلیل افزایش سریع مصرف سموم در کشورهای در حال توسعه را ناشی از اهمیت بیشتر تامین غذا نسبت به نگرانی‌های زیست‌محیطی دانسته‌اند (Wilson & Otsuki, 2004). هانت (Hunt, 2000) معتقد است به علت این‌که هدف از کشاورزی تولید می‌باشد، شاخص‌های خروجی در سیستم‌های کشاورزی برآورد دقیق‌تر و بهتری از فشرده‌سازی اراضی به‌دست می‌دهند به‌همین دلیل میزان فشرده‌سازی بر اساس پارامترهای خروجی نیز اندازه‌گیری شد. براساس گزارش کمیسیون مشترک کشورهای متحده اروپا (Commission, 2012) فشرده‌سازی عبارت است از افزایش ورودی‌های کشاورزی در هر هکتار زمین زراعی که نهایتا باعث افزایش تولید در واحد سطح می‌گردد. در همین راستا بررسی فشرده‌سازی بر اساس میزان تولید به ازای واحد سطح نشان داد که میزان تولید به‌ازای واحد سطح روندی افزایشی داشت (شکل ۱۲).



شکل ۱۱- روند تغییرات میزان مصرف کود اوره و سوپر فسفات تریپل در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵ در منطقه تربت حیدریه

Figure 11- Trend of changes in urea and triple superphosphate fertilizer application in the sugar beet systems in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

Superphosphate▲ Urea ●

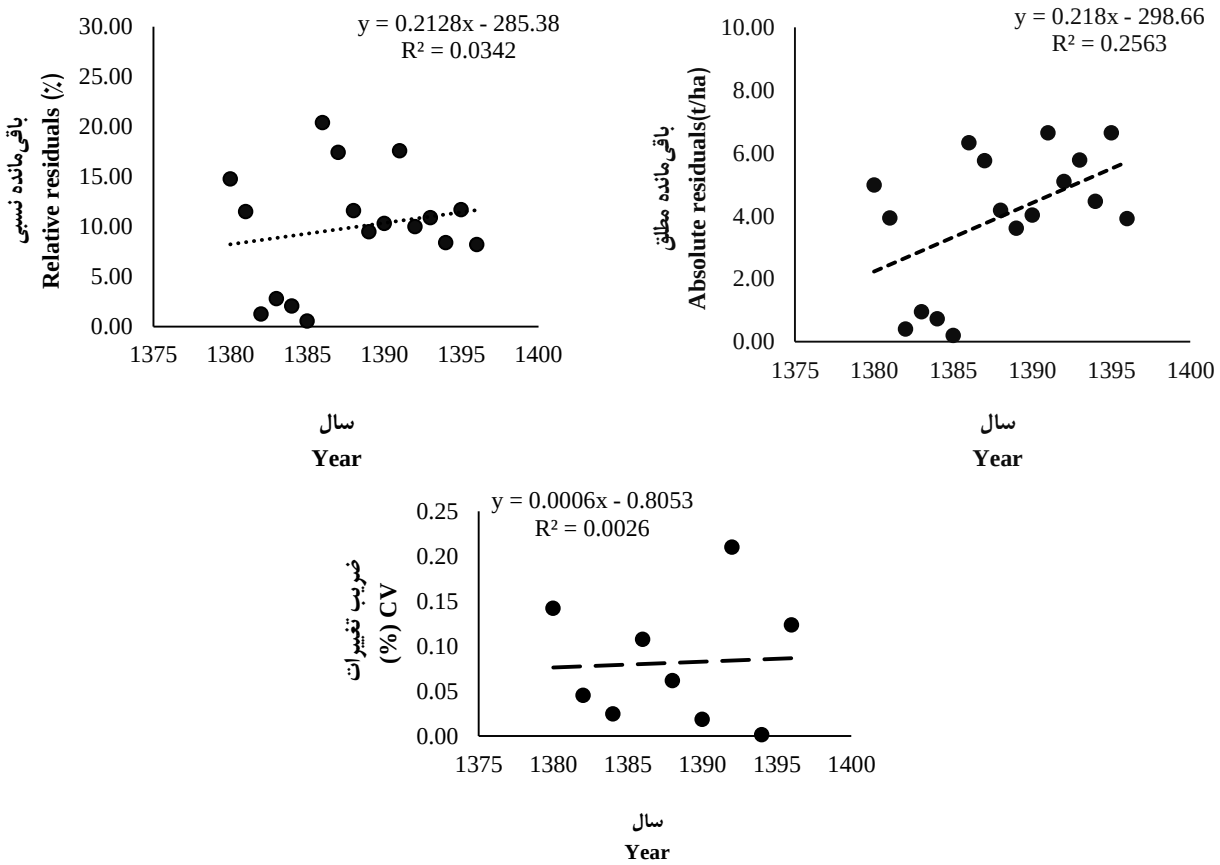


شکل ۱۲- روند تغییرات میزان تولید چغندرقند به ازای واحد سطح در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 12- Trend of in sugar beet production changes per unit area in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میزان تولید چغندرقند در یک مترمربع از دو کیلوگرم در مترمربع سال ۱۳۸۰ به ۳/۶ کیلوگرم در مترمربع سال ۱۳۹۵ افزایش یافت. که نشان‌دهنده افزایش ۸۰ درصدی در طی سال‌های مورد مطالعه است (شکل ۱۲). با توجه به این‌که یکی از اهداف مهم در فشرده‌سازی افزایش عملکرد و در نتیجه افزایش تولید است. افزایش تولید به‌ازای واحد سطح و زمان در یک منطقه، معیاری از افزایش فشرده‌سازی است (Beckmann *et al.*, 2019). بررسی نتایج در منطقه تحت بررسی برای بوم‌نظام چغندرقند نشان‌دهنده کاهش خلا عملکرد و افزایش عملکرد در طی سال‌های مورد مطالعه است. اما مطالعات نشان می‌دهد که افزایش عملکرد و کاهش خلاء عملکرد مشاهده‌شده در این منطقه در صورتی تضمین‌کننده‌ی امنیت غذایی خواهد بود که با ثبات عملکرد همراه باشد (Urruty *et al.*, 2016). به‌عبارت دیگر، افزایش تولید باید به‌نحوی باشد که بوم‌نظام‌های کشاورزی، توانایی حفظ پایدار پتانسیل تولید در طی زمان را داشته‌باشند (Altieri, 2002). یکی از مولفه‌های مهم تولید پایدار در بوم‌نظام‌های کشاورزی، ثبات عملکرد است (Knapp & der Heijden, 2018). ثبات بیان‌کننده شدت نوسانات عملکرد در مواجه با تغییرات کوتاه‌مدت محیطی بوده و معیاری از نوسانات سال به سال عملکرد در یک منطقه است (Nielsen & Vigil, 2018). نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که در طی ۱۵ سال گذشته به دلیل

نوسانات عملکرد، پراکندگی نسبتا زیادی در میزان باقی‌مانده مطلق عملکرد چغندرقند مشاهده شد. بررسی نتایج نشان داد که میزان پراکندگی مقادیر مطلق باقی‌مانده رگرسیون در چغندرقند بین ۰/۲ تا ۶/۶ تن در هکتار متغیر بود و روند تغییرات آن افزایشی بود که نشان‌دهنده افزایش بی‌ثباتی در سیستم‌های کشت چغندرقند بود (شکل ۱۳).

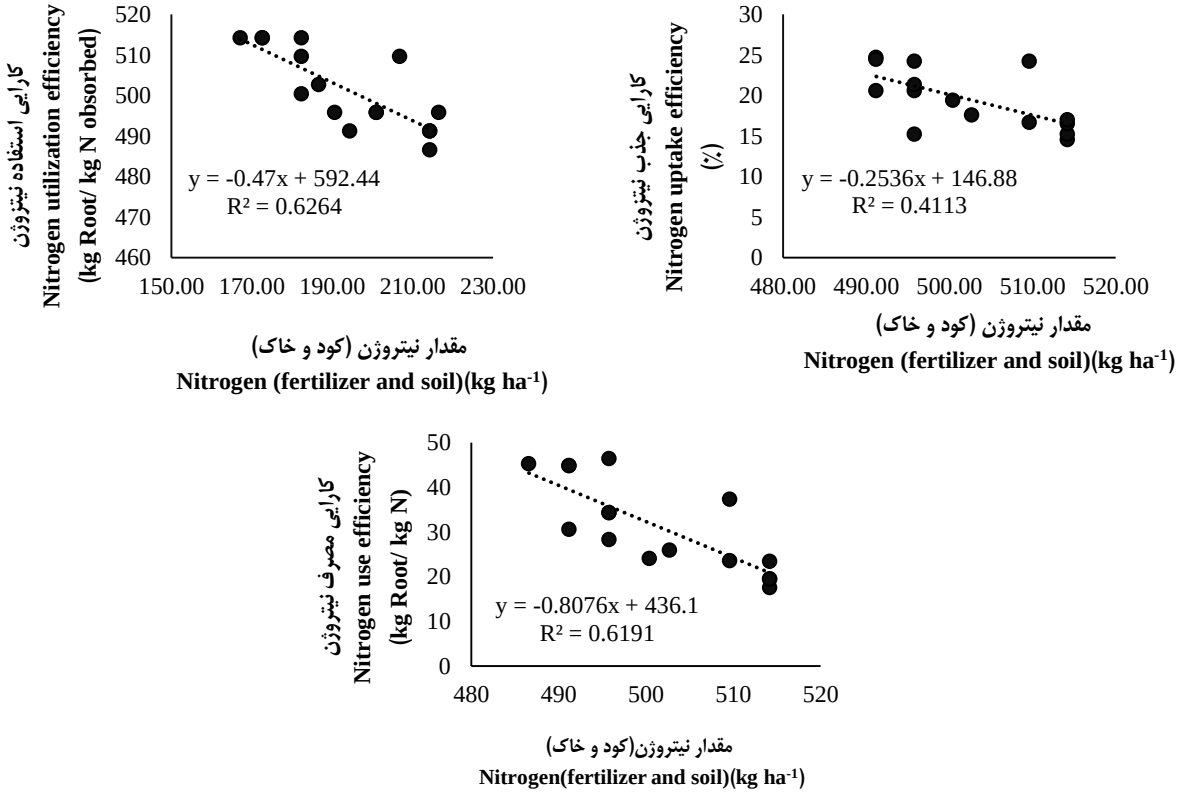


شکل ۱۳- روند تغییرات ثبات عملکرد (مقادیر مطلق و نسبی باقی‌مانده عملکرد و ضریب تغییرات عملکرد) چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 13- Trend of changes in stability (absolute, relative residual values and coefficient of variation) of sugar beet yield in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

بررسی روند تغییرات مقادیر باقی‌مانده نسبی چغندرقند در طی ۱۵ سال مورد مطالعه نیز نشان داد که، باقی‌مانده نسبی عملکرد چغندرقند هر ساله با ۲۱ درصد افزایش به‌سوی بی‌ثباتی بیشتر پیش‌رفته است (شکل ۱۳). به نظر می‌رسد که علاوه بر افزایش فشرده‌سازی در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند، بروز تغییرات سالانه‌ی آب و هوایی نیز منجر به کاهش ثبات عملکرد در بوم‌نظام مورد مطالعه گردیده است. در این راستا آبلدو و همکاران (Abeledo *et al.*, 2008) بیان داشتند که در چند دهه گذشته با به‌کارگیری روش‌های نوین کشاورزی عملکرد محصولات، روندی افزایشی داشته است و میزان خلا عملکرد کاهش یافته است اما این کاهش خلا عملکرد با افزایش بی‌ثباتی در بوم‌نظام‌های زراعی همراه بوده است. علاوه بر آن در دهه‌های اخیر افزایش فراوانی پدیده‌های حدی نظیر خشکسالی، موج‌های گرما و سرما که از پیامدهای قطعی تغییر اقلیم می‌باشد نیز تاثیر زیادی بر کاهش ثبات عملکرد محصولات زراعی داشته است (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014). ضریب تغییرات به‌عنوان معیاری ساده و پرکاربرد، انحراف معیار عملکرد نسبت به میانگین را در محیط‌ها، دوره‌های زمانی و یا سال‌های مختلف اندازه‌گیری می‌کند، بنابراین ضریب تغییرات بیشترعملکرد، به معنای نوسانات بیشتر و در نتیجه بی‌ثباتی بیشتر عملکرد است (Ray *et al.*, 2015). دامنه‌ی ضریب تغییرات عملکرد چغندرقند بین صفر تا ۰/۲۱درصد مشاهده‌شد که نشان‌دهنده‌ی بی‌ثباتی در بوم‌نظام مورد مطالعه بود (شکل ۱۳). شیب روند ضریب‌تغییرات عملکرد برای چغندرقند (۰/۰۰۰۶ درصد)

تقریبا ثبات به‌دست‌آمد که نشان می‌دهد شرایط بی‌ثباتی این بوم‌نظام در طی سال‌های مورد مطالعه همچنان به حالت بی‌ثبات حفظ شده است (شکل ۱۳). مطالعات مختلفی بیانگر وجود نوعی رابطه منفی بین عملکرد و ثبات در سیستم‌های کشاورزی می‌باشد (Urruty *et al.*, 2016; Nassiri Mahallati & Koocheki, 2014). عدم ثبات عملکرد مطلوب در بوم‌نظام‌مورد مطالعه نشان می‌دهد که افزایش عملکرد مشاهده‌شده در این بوم‌نظام در درازمدت پایدار نخواهد بود. لذا عدم تغییر شیوه مدیریتی این بوم‌نظام‌ها در درازمدت خطر کاهش شدید تولید و عملکرد را در پی خواهد داشت. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر میزان ثبات عملکرد محصولات زراعی، کارایی مصرف کودهای شیمیایی است (Dimkpa *et al.*, 2020). در چند دهه گذشته کاهش کارایی مصرف کودهای شیمیایی باعث افزایش میزان مصرف این نهاده‌ها شده که خود منجر به افزایش بی‌ثباتی در سیستم‌های زراعی می‌گردد (Foulkes *et al.*, 2009). از این‌رو بهبود کارایی مصرف نیتروژن نوعی استراتژی کلیدی جهت پیش‌برد نظام‌های کشاورزی پایدار است که منجر به رسیدن به حداکثر عملکرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و هدر رفت نیتروژن می‌شود (Congreves *et al.*, 2021). کارایی مصرف نیتروژن به دو جز کارایی جذب و کارایی استفاده از نیتروژن تقسیم می‌شود (Moll *et al.*, 1982). بررسی میزان کارایی جذب نیتروژن نشان داد که میزان کارایی جذب نیتروژن در بوم‌نظام‌های چغندرقند در سال‌های مورد مطالعه کمتر از ۳۰ درصد بود که نشان‌دهنده پایین بودن کارایی جذب نیتروژن است (شکل ۱۳). مطالعات نشان می‌دهد که در سیستم‌های فشرده‌ی کشاورزی بیش از ۵۰ درصد از نیتروژن اعمال شده در مزرعه توسط گیاه استفاده نمی‌شود. با توجه به افزایش میزان مصرف کودهای شیمیایی در بوم‌نظام‌های چغندرقند (شکل ۱۱)، مقدار کارایی جذب نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه با افزایش مصرف کود نیتروژن کاهش یافت (شکل ۱۴).



شکل ١٤- روند تغییرات کارایی جذب، استفاده و مصرف نیتروژن در چغندرقند در منطقه تربت حیدریه در بازه‌ی زمانی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۵

Figure 14- Trend of nitrogen uptake efficiency, nitrogen utilization efficiency and nitrogen use efficiency of sugar beet in the Torbat-e Heydariyeh region from 2001-2016

بر اساس نتایج به‌دست آمده افزایش مصرف نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه منجر به کاهش ۰/۴۷کیلوگرم محصول اقتصادی تولید شده به ازای کیلوگرم نیتروژن جذب شده (کارایی استفاده از نیتروژن) در بوم‌نظام چغندرقند گردید. نتایج نشان داد

به‌ازای افزایش یک کیلوگرم نیتروژن در دسترس گیاه (مجموع نیتروژن کود و خاک) کارایی استفاده از نیتروژن و چغندرقند ۰/۴۷ kg Root/ kg N کاهش یافت (شکل ۱۴). در طی سال‌های مورد مطالعه با افزایش مصرف کود نیتروژن مقدار کارایی مصرف نیتروژن نیز کاهش یافت (شکل ۱۴). با توجه به روند کاهشی کارایی جذب، کارایی استفاده و کارایی مصرف نیتروژن در طی سال‌های مورد مطالعه در منطقه، به نظر می‌رسد که کمبود کارایی مصرف نیتروژن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام‌ها مورد مطالعه بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده کمبود کارایی مصرف نیتروژن منجر به افزایش مصرف نیتروژن در بوم‌نظام‌های چغندرقند در طی سال‌های مورد مطالعه گردیده است که نهایتا افزایش فشرده‌سازی و کاهش ثبات عملکرد را در پی داشته است. مطالعات بسیاری نشان داده است که با تغییر برخی شیوه‌های زراعی، افزایش ۳۰ تا ۵۰ درصدی کارایی مصرف نیتروژن امکان‌پذیر است (Hutchings *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Langholtz *et al.*, 2021). از جمله روش‌های زراعی جهت بهبود کارایی مصرف نیتروژن می‌توان به تعیین بهترین زمان مصرف کودهای نیتروژنی (Dimkpa *et al.*, 2020; Wallace *et al.*, 2020)، تعیین بهترین نحوه‌ی مصرف کود نیتروژنی به طوری‌که تلفات مصرف را کاهش دهد (Zhang *et al.*, 2020) استفاده از روش‌های مطلوب کودپاشی مثل کودپاشی با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و یا کشت کود در عمق بذر (Wu *et al.*, 2021)، استفاده از مالچ‌های زیستی برای جلوگیری از هدر رفت نیتروژن (Yang *et al*, 2021) و استفاده از منابع زیستی و بومی تامین نیتروژن (Sharma & Bali, 2017) اشاره کرد. علاوه بر مدیریت زراعی تغییر روش‌ها و اهداف اصلاح ارقام زراعی تاثیر بالایی بر افزایش پایداری بوم‌نظام‌های کشاورزی دارد. اولویت قرار دادن بحث افزایش کارایی استفاده از نیتروژن و سایر نهاده‌ها در کنار افزایش عملکرد جهت تولید بذرهایی با کارایی بالاتر (Cormier *et al.*, 2016; van Bueren *et al.*, 2017) می‌تواند علاوه بر افزایش پایداری سیستم‌های کشاورزی، کارایی مصرف نهاده‌های کودی را افزایش داده و آلودگی‌های زیستی محیطی ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی را نیز کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

تجزیه و تحلیل اگرواکولوژی بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۵ در منطقه تربت حیدریه نشان داد که عملکرد چغندرقند در منطقه مورد مطالعه رو به افزایش است اما این افزایش عملکرد از ثبات کافی برخوردار نمی‌باشد و همین امر پایداری کشت این محصول را در منطقه به خطر می‌اندازد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، به نظر می‌رسد که کاهش کارایی مصرف نیتروژن عامل اصلی افزایش مصرف نیتروژن، تشدید فشرده‌سازی و کاهش ثبات در بوم‌نظام‌ها کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه بوده است. لذا برنامه‌ریزی و تغییر شیوه‌ی مدیریتی در جهت بهره‌گیری از راهکارهای پایدار به منظور ارتقای کارایی مصرف نیتروژن، می‌تواند به‌عنوان اولین گام در جهت افزایش عملکرد و حرکت به سمت فشرده‌سازی اکولوژیک و افزایش پایداری در بوم‌نظام‌های کشت چغندرقند در منطقه تربت حیدریه پیشنهاد گردد.

References

1. Abdollahian-Noghabi, M., Sharifi, H., Babaei, B., & Bahmani, G. (2013). Introduction of new formula for determination of autumn sugar beet purchase. *Journal of Sugar Beet*, 29(2), 227-215. https://doi.org/10.22092/jsb.2014.5635
2. Abeledo, L. G., Savin, R., & Slafer, G. A. (2008). Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal of Agronomy*, *28*, 541-550. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.12.001
3. Altieri, M. A. (2002). Agroecology: the science of natural resource management for poor farmers in marginal environments. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *93*(3): 1-24. https://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00085-3
4. Andarzian, S. B. (2019). Determination of sowing time, grain yield potential, yield gap, and risk analysis of wheat production in rainfed regions of Khuzestan Province in Iran. *Seed and Plant Production Journal*, *35*(2), 159-181. https://doi.org/10.22092/sppj.2019.120755
5. Badsar, M., Kamkar, B., Soltani, A., & Abdi, O. (2017). Yield gap estimation in wheat-grown fields using GIS and RS approach and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan, Iran). *Cereal Research*, *7*(2), 195-215. https://doi.org/10.22124/c.2017.2547
6. Berry, E. M., Dernini, S., Burlingame, B., Meybeck, A., & Conforti, P. (2015). Food security and sustainability: can one exist without the other? *Public Health Nutrition*, *18*(13), 2293-2302. https://doi.org/10.1017/S136898001500021X
7. Beckmann, M., Gerstner, K., Akin‐Fajiye, M., Ceauu, S., Kambach, S., Kinlock, N. L., Phillips, H. R., Verhagen, W., Gurevitch, J., Klotz, S., & Newbold, T. (2019). Conventional land‐use intensification reduces species richness and increases production: A global meta‐analysis. Global Change Biology, 25(6), 1941-1956.

https://doi.org/10.1111/gcb.14606
8. Brzozowski, L., & Mazourek, M. (2018). A sustainable agricultural future relies on the transition to organic agroecological pest management. *Sustainability*, *10*(6), 2023. https://doi.org/10.3390/su10062023
9. Bicharanloo, B., Rezvani Moghaddam, P., & Asadi, G. (2021). Does summer irrigation alter nitrogen uptake and utilisation efficiency of saffron (*Crocus sativus* L.) for different organic and chemical fertilisers? *Archives of Agronomy and Soil Science*, *67*(13), 1754-1769. https://doi.org/10.1080/03650340.2020.1808200
10. Brummer, E. C., Barber, W. T., Collier, S. M., Cox, T. S., Johnson, R., Murray, S. C., Richard T. O., Richard C. P., & Thro A. M. (2011) Plant breeding for harmony between agriculture and the environment. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *9*(10), 561-568. https://doi.org/10.1890/100225
11. Calderini, D. F., & Slafer, G. A. (1998). Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. *Field Crops Research*, *57*(3), 335-347. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00080-X
12. Caldiz, D. O., Gaspari, F. J., Haverkort, A. J., & Struik, P. C. (2001). Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina. *Agricultural and Forest Meteorology*, *109*, 311-320**.** https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00231-3
13. Cassman, K. G., & Grassini, P. (2020). A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability*, *3*(4), 262-268. https://doi.org/10.1038/s41893-020-0507-8
14. Carvalho, F. P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science & Policy*, *9*(7-8): 685-692. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002
15. Clay, N., Garnett, T., & Lorimer, J. (2020). Dairy intensification: Drivers, impacts and alternatives. *Ambio 49*(1): 35-48. https://doi.org/10.1007/s13280-019-01177-y
16. Commission, E. (2012). *Agri-Environmental Indicator- Intensification- Extensification*. Belgium, EU Rural Rwview. 2014.
17. Cobb, J. N., DeClerck, G., Greenberg, A., Clark, R., & McCouch, S. (2013). Next-generation phenotyping: requirements and strategies for enhancing our understanding of genotype–phenotype relationships and its relevance to crop improvement. *Theoretical and Applied Genetics*, *126*(4), 867-887. https://doi.org/10.1007/s00122-013-2066-0
18. Congreves, K. A., Otchere, O., Ferland, D., Farzadfar, S., Williams, S., & Arcand, M. M. (2021). Nitrogen use efficiency definitions of today and tomorrow. *Frontiers in Plant Science*, *12*, 637108. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.637108
19. Cormier, F., Foulkes, J., Hirel, B., Gouache, D., Moënne‐Loccoz, Y., & Le Gouis, J. (2016). Breeding for increased nitrogen‐use efficiency: a review for wheat (*T. aestivum* L.). *Plant Breeding*, *135*(3), 255-278. https://doi.org/10.1111/pbr.12371
20. Dimkpa, C. O., Fugice, J., Singh, U., & Lewis, T. D. (2020). Development of fertilizers for enhanced nitrogen use efficiency–Trends and perspectives. *Science of the Total Environment*, *731*(13), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139113
21. Dihim Fard, R., & Nazari, S. (2015). Effect of nitrogen application on quantitative and qualitative of sugar beet cultivars. *Journal of Plant Production Research*, *22*(2), 71-93. https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1394.22.2.4.3
22. FAO. (2018). FAOSTAT. Retrieved from: http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor
23. FAO. (1978). *Report on the Agroecological Zones Project. Vol. 1. Methodology and results for Africa*. World Soil Resources Report 48/1. FAO, Rome, 158cpp. http://faostat.fao.org
24. FAO. (1981). *Report on the Agroecological Zones Project. Vol. 3. Methodology and results for South and Central America*. World Soil Resources Report 48/3. FAO, Rome, 251 pp. http://faostat.fao.org
25. Funk, C. C., & Brown, M. E. (2009). Declining global per capita agricultural production and warming oceans threaten food security. *Food Security*, *1*(3), 271-289. https://doi.org/10.1007/s12571-009-0026-y
26. Foulkes, M. J., Hawkesford, M. J., Barraclough, P. B., Holdsworth, M. J., Kerr, S., Kightley, S., & Shewry, P. R. (2009). Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Research*, *114*(3), 329-342. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.005
27. Gobbett, D. L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J. N., Grassini, P., & Cassman, K. G. (2017). Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *The Journal of Agricultural Science*, *155*, 282-299. https://doi.org/10.1017/S0021859616000381
28. Hazell, P. B. (2010). An assessment of the impact of agricultural research in South Asia since the green revolution. *Handbook of Agricultural Economics*, *4*, 3469-3530. https://doi.org/10.1016/S1574-0072(09)04068-7
29. Hunt, R. C. (2000). Labor productivity and agricultural development: Boserup Revisited. *Human Ecology*, *28*, 251-277. https://doi.org/10.1023/A:1007072120891
30. Hutchings, N. J., Sorensen, P., Cordovil, C. M., Leip, A., & Amon, B. (2020). Measures to increase the nitrogen use efficiency of European agricultural production. *Global Food Security*, *26*, 100381. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100381
31. Knapp, S., & der Heijden, V. M. G. (2018). A global meta-analysis of yield stability in organic and conservation

agriculture. *Nature Communications*, *9*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/s41467-018-05956-1
32. Kopittke, P. M., Menzies, N. W., Wang, P., McKenna, B. A., & Lombi, E. (2019). Soil and the intensification of agriculture for global food security. *Environment International*, *132*, 105078. https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105078
33. Langholtz, M., Davison, B. H., Jager, H. I., Eaton, L., Baskaran, L. M., Davis, M., & Brandt, C. C. (2021). Increased nitrogen use efficiency in crop production can provide economic and environmental benefits. *Science of the Total Environment*, *758*, 143602. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143602
34. Lobell, D. B., Cassman, K. G., & Field, C. B. (2009). Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. *Annual Review of Environment and Resources*, *34*, 179-204. https://doi.org/10.1146/annurev.environ.041008.093740
35. Ministry of Agriculture-Jahad (2001-2020) Agricultural Statistics, (Vol. 2). Islamic Republic of Iran, Ministry of Agriculture-Jahad, Press.
36. Moll, R. H., Kamprath, E. J., & Jackson, W. A. (1982). Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*, *74*, 562e564. https://doi.org/10.2134/agronj1982.00021962007400030037x
37. Nassiri mahalati, M., & Koocheki, A. (2018). Yield monitoring for wheat and sugar beet in Khorasan Province: 1-Analysis of Methods for Estimating Potential Yield. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *16*(4), 723-741. http://doi.org/10.22067/gsc.v17i1.62557
38. Nassiri mahalati, M., Koocheki, A. (2014). Long term evaluation of yield stability trend for cereal crops in Iran. *Journal of Agroecology*, *6*(3), 607-621. https://doi.org/10.22067/jag.v6i3.26802
39. Nassiri mahalati, M., & Koocheki, A. (2017). Trend analysis of nitrogen use and productivity in wheat (*Triticum aestivum* L.) production systems of Iran. *Journal of Agroecology*, *9*(2), 360-378. https://doi.org/10.22067/jag.v9i2.29287
40. Neumann, K., Verberg, P. H., Stehfest, E., & Muller, C. (2010). The yield gap of global grain production: a spatial analysis. *Agricultural Systems*, *103*, 316-326. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.02.004
41. Nielsen, D. C., & Vigil, M. F. (2018). Wheat yield and yield stability of eight dryland crop rotations. *Agronomy Journal*, *110*(2), 594-601. https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0407
42. Nikoei, A., Bagheri, A., Soleimanipor, I., Shirvanian, A., Zare, Sh., Nemati, A., & Ebrahimian, H. (2007). Survey of sugar beet employment rate in Iran. *Journal of Sugar Beet*, *23*(1), 93-108. https://doi.org/10.22092/jsb.2007.1255
43. Palmer, C. (2008). Environmental Ethics and Agricultural Intensification. In: Thompson P.B. (eds) The Ethics of Intensification. *The International Library of Environmental, Agricultural and Food Ethics*, *16*, 131-148. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8722-6_9
44. Pellegrini, P., & Fernández, R. J. (2018). Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *115*(10), 2335-2340. https://doi.org/10.1073/pnas.1717072115
45. Pittelkow, C. M., Zorrilla, G., Terra, J., Riccetto, S., Macedo, I., Bonilla, C., & Roel, A. (2016). Sustainability of rice intensification in Uruguay from 1993 to 2013. *Global Food Security*, *9*, 10-18. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2016.05.003
46. Ray, D. K., Gerber, J. S., MacDonald, G. K., & West, P. C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, *6*(1), 1-9. https://doi.org/10.1038/ncomms6989
47. Sanghera, G. S., Singh, R. P., Kashyap, L., Tyagi, V., & Sharma, B. (2016). Evaluation of sugarbeet genotypes (*Beta Vulgaris* L.) for root yield and quality traits under subtropical conditions. *Journal of Krishi Vigyan*, *5*(1), 67-73. http://doi.org/10.5958/2349-4433.2016.00037.4
48. Senapati, N., & Semenov, M. A. (2020). Large genetic yield potential and genetic yield gap estimated for wheat in Europe. *Global Food Security*, *24*, 100340. https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100340
49. Sharma, L. K., & Bali, S. K. (2017). A review of methods to improve nitrogen use efficiency in agriculture. *Sustainability*, *10*(1), 1-23. https://doi.org/10.3390/su10010051
50. Thomson, A. M., Ellis, E. C., Grau, H. R., Kuemmerle, T., Meyfroidt, P., Ramankutty, N., & Zeleke, G. (2019). Sustainable intensification in land systems: trade-offs, scales, and contexts. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *38*, 37-43. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.04.011
51. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World Population Prospects 2019 - Special Aggregates, Online Edition. Rev. 1. https://population.un.org/wpp2019/Download/SpecialAggregates/EconomicTrading/
52. Urruty, N., Tailliez-Lefebvre, D., & Huyghe, C. (2016). Stability, robustness, vulnerability and resilience of agricultural systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *36*(1), 15-32. https://doi.org/10.1007/s13593-015-0347-5
53. Van Bueren, E. T. L., & Struik, P. C. (2017). Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *37*(5), 1-24. https://doi.org/10.1007/s13593-017-0457-3

54. Versteeg, M. N., & Van Keulen, H. (1986). Potential crop production prediction by some simple calculation methods, as compared with computer simulations. *Agricultural Systems*, *19*(4), 249-272. https://doi.org/10.1016/0308-521X(86)90109-5
55. Wallace, A. J., Armstrong, R. D., Grace, P. R., Scheer, C., & Partington, D. L. (2020). Nitrogen use efficiency of 15 N urea applied to wheat based on fertiliser timing and use of inhibitors. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, *116*(1), 41-56. https://doi.org/10.1007/s10705-019-10028-x
56. Wu, P., Liu, F., Li, H., Cai, T., Zhang, P., & Jia, Z. (2021). Suitable fertilizer application depth can increase nitrogen use efficiency and maize yield by reducing gaseous nitrogen losses. *Science of The Total Environment*, *781*, 146787. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146787
57. Wilson, J. S., & Otsuki, T. (2004). To spray or not to spray: pesticides, banana exports, and food safety. *Food Policy*, *29*(2), 131-146. https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2004.02.003
58. Yang, H., Mo, P., Chen, Y., Chen, R., Wei, T., Xie, W., Xiang, X., Huang, X., Zheng, T., & Fan, G. (2021). Genetic progress in grain yield radiation and nitrogen use efficiency of dryland winter wheat in Southwest China since 1965: Progress and prospect for improvements. *Crop Science*, *61*(6), 4255-4272. https://doi.org/10.1002/csc2.20608
59. Zhang, Z., Zhang, Y., Shi, Y., & Yu, Z. (2020). Optimized split nitrogen fertilizer increase photosynthesis, grain yield, nitrogen use efficiency and water use efficiency under water-saving irrigation. *Scientific Reports*, *10*(1), 1-14. https://doi.org/10.1038/s41598-020-75388-9

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 435-449

Effect of Nano Silicon and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biomass, Nodulation and Some Physiological Traits of Grasspea (*Lathyrus sativus* L.)

R. Seyed Sharifi[1*], R. Seyed Sharifi[2], H. Narimani[3]

Received: 26-02-2022 Revised: 03-05-2022 Accepted: 07-05-2022	**How to cite this article:** Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2023). Effect of Nano Silicon and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biomass, Nodulation and Some Physiological Traits of Grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4), 435-449. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75528.1149

Introduction

Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) is one of the most important forage crops in the world. It contains 12 to 20% protein. Silicon (Si) existing in the Earth's crust is classified as the most abundant element after oxygen. Although silicon is not considered an essential element for plant growth, but a number of studies have reported that it as an important factor in plants that plays an important role in the resistance mechanisms of plants against environmental stress. Also, it plays a crucial physiological role in photosynthetic rate and chlorophyll content. One of the most effective factors in increasing the Grasspea biomass is seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). Some of the benefits provided by PGPR are the ability to produce gibberellic acid, cytokinins and ethylene, N_2 fixation, solubilization of mineral phosphates and other nutrients. Numerous studies have shown a substantial increase in dry matter accumulation via inoculation with PGPR. Some researchers reported that seed inoculation with PGPR enhanced relative water content and photochemical efficiency of PSII lathyrus under water limitations. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of nano silicon and seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on biomass, nodulation and some physiological traits of Grasspea.

Materials and Methods

In order to study the effect of nano silicon and plant growth-promoting rhizobacteria on biomass, nodulation and some physiological traits of Grasspea, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications in research farm of University of Mohaghegh Ardabili in 2021. Treatment were included application of plant growth-promoting rhizobacteria at four levels (no inoculation as control, seed inoculation with *Azosprillum lipoferum* strain OF, *Psedomonas putida* strain 186, both application of *Azospirillium* and *Pseudomonas*) and nano silicon foliar application at four levels (foliar application with water as control, foliar application 25, 50 and 75 mg.L^{-1} nano silicon). The area is located at 38° 15′ N latitude and 48° 20′ E longitude with an elevation of 1350 m above mean sea level. Climatically, the area is situated in the wet zone with cool winter and hot summer. For inoculation, seeds were coated with gum Arabic as an adhesive and rolled into the suspension of bacteria until uniformly coated. Seeds were inoculated with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) at the rate of approximately 1×10^7 colony forming units (CFU) mg^{-1} just before planting. Foliar application of nano silicon was conducted in two stages of vegetative growth. Nano silicon powder added to deionized water and was placed on ultra sonic equipment (100 W and 40 kHz) on a shaker for better solution. At the Flowering stage, the leaves of plants were selected to measure the stem and leaf protein, chlorophyll index, RWC (relative water content), quantum yield, stomatal conductance and EC (electrical conductivity).

1- Professor, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, Department of Animal Sciences, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3- Ph.D Student, Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
(*- Corresponding Author Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75528.1149

RWC was calculated based on method of Kostopoulou *et al*. (2010). Chlorophyll Index was calculated by chlorophyll meter (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). The Quantum yield of leaves was calculated with fluorometer (chlorophyll fluorometer; Optic Science-OS-30 USA). Stomata conductance was measured with a porometer system (Porometer AP4, Delta-T Devices Ltd., Cambridge, UK) according to the instructions in its manual. Leaf electrical conductivity (EC) values were measured at room temperature of 23±1°C using an electrical-conductivity meter. Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS 9.1 computer software packages. The main effects and interactions were tested using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results showed that both application of *Azospirillium* and *Pseudomonas* and foliar application of 75 $mg.L^{-1}$ nano silicon increased root weight and volume (40.4 and 41.9%), number of active nodules (81.2%), percentage of active nodules (33.2%), nodule dry weight (37.4%), chlorophyll index (46%), relative water content (46.3%), stomatal conductance (34.6%) and quantum yield (34.1%) in comparison with no application of PGPR and nano silicon. Also, the highest leaf and stem protein (23.37 and 12.66%) and total biomass (37.7 %) were obtained in both application of *Azospirillium* and *Pseudomonas* and foliar application of 75 $mg.L^{-1}$ nano silicon in comparison with no application of PGPR and nano silicon.

Conclusion

It seems that application of PGPR and foliar application of nano silicon can increase biomass of *Lathyrus sativus* due to nodulation and improving physiological traits.

Keywords: Active nodules, *Azospirillium*, *Pseudomonas*, Quantum yield, Relative water content

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ۱٤۰۱، ص ٤٤۹-٤۳۵

تاثیر نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر (*Lathyrus sativus* L.)

رئوف سید شریفی[۱*]، رضا سید شریفی[۲]، حامد نریمانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۷

چکیده

خلر یک گیاه فراموش شده است که تولید آن در کشاورزی پایدار اهمیت دارد. از این‌رو به‌منظور بررسی تاثیر نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای آزمایشی شامل کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، سودوموناس، کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس) و محلول‌پاشی نانوسیلیکون در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. نتایج نشان داد که کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون وزن و حجم ریشه (به‌ترتیب ۴۰/۴ و ۴۱/۹٪)، تعداد گره‌های فعال (۸۱/۲۵٪)، درصد گره‌های فعال (۳۳/۲٪)، وزن خشک گره (۳۷/۴٪)، شاخص کلروفیل (۴۶٪)، محتوای نسبی آب (۴۶/۳٪)، هدایت روزنه‌ای (۳۴/۶٪) و عملکرد کوانتومی (۳۴/۱٪) را نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون، افزایش داد. همچنین بیش‌ترین درصد پروتئین برگ و ساقه (۲۳/۴ و ۱۲/۷٪) و زیست‌توده کل (۳۴/۷٪) در کاربرد توام آزوسپریلیوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون به‌دست آمد. به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون می‌تواند زیست‌توده کل خلر را به‌واسطه گره‌زایی و بهبود صفات فیزیولوژیکی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آزوسپریلیوم، سودوموناس، عملکرد کوانتومی، گره‌های فعال، محتوای نسبی آب

مقدمه

خلر (*Lathyrus sativus* L.) از گیاهان علوفه‌ای یک‌ساله خانواده لگوم‌ها است که به‌دلیل کوتاهی طول دوره رشد و نمو و امکان کشت در زمان‌های مختلف، می‌تواند حتی به‌عنوان کود سبز یا کشت دوم (کشت تابستانه) برای تولید علوفه مورد استفاده قرار گیرد. خلر به‌دلیل توانایی تثبیت زیستی نیتروژن (Hooker *et al*., 2008)، فراهمی شرایط بهینه برای فعالیت ریز جانداران مفید خاک‌زی(Steenwerh & Belina, 2008; Hooker *et al*., 2008)، تغذیه دام، کاشت در اراضی کم بازده، مقاومت به سرما و کم‌آبی و بهبود حاصلخیزی خاک، از اهمیت خاصی برخوردار است (Seyed Sharifi & Hokmalipour, 2012). ارزش غذایی این گیاه با شبدر (*Trifolium* spp.)، یونجه (*Medicago sativa* L.) و اسپرس (*Onobrychis vicieafolia* L.) برابر بوده و پروتئین آن با توجه به مرحله برداشت، بین ۱۲ تا ۲۰ درصد متغیر است.

ناحیه اطراف سیستم ریشه (رایزوسفر) ناحیه محدودی در خاک بوده که مکان مناسب برای تکثیر میکروارگانیسم‌هایی است که موجب سلامت گیاه و حاصلخیزی خاک می‌شوند. باکتری‌های محرک رشد گیاه (Plant Growth Promoting Rhizobactria) مانند

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳- دانشجوی دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: raouf_ssharifi@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75528.1149

Azospirillum، *Azotobacter* و *Pseudomonas* از مهم‌ترین ریزو باکتری‌های موثر در بهبود رشد گیاهی است (Ruzzi & Aroca, 2015) که می‌توانند با تقویت ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی و بیولوژی خاک و تاثیر بر بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی از جمله حل شدن فسفر، تثبیت نیتروژن، دسترسی به آب و عناصر غذایی، تولید ویتامین‌ها، هورمون‌های گیاهی و تنظیم‌کننده‌های رشدی، به‌عنوان یک روش جایگزین برای کودها و مواد شیمیایی عمل نموده و عملکرد گیاهان را بهبود بخشند. این باکتری‌ها در بهبود محتوای نسبی آب و رنگدانه‌های فتوسنتزی نقش اساسی ایفا می‌کنند (Abdelaal *et al.*, 2021) و با تولید ایندول استیک اسید در گره‌های ریشه لگوم و فعال کردن آنزیم پمپ پرتون (H^+ ATPase)، موجب تولید انرژی در گره‌ها و افزایش گره‌زایی می‌شود (Figueiredo *et al.*, 2010). عبدالکریم و همکاران (Abdelkarim *et al.*, 2018) بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد با افزایش تولید هورمون اکسین، بهبود انحلال فسفات، تثبیت نیتروژن و همچنین افزایش گره‌زایی و وزن خشک ریشه، موجب افزایش وزن اندام هوایی خلر می‌شوند. سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi *et al.*, 2020) گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد از طریق کمک به افزایش تعداد گره، کاهش هدایت الکتریکی، افزایش شاخص کلروفیل و عملکرد کوانتومی، موجب افزایش زیست‌توده کل و محتوای پروتئین برگ و ساقه ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth) شد. در بررسی خان و همکاران (Khan *et al.*, 2020) نیز کاربرد باکتری‌های محرک رشد با انحلال فسفر، تولید اکسین و همچنین افزایش گره‌زایی و وزن ریشه، موجب افزایش محتوای نسبی آب، کلروفیل، پروتئین و در نهایت وزن اندام هوایی در گیاه نخود (*Cicer arietinum* L.) شد.

امروزه استفاده از سیلیکون به‌عنوان یک عنصر مفید برای بهبود رشد گیاهان مطرح است که با تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیک، بیوشیمیایی و مولکولی، موجب بهبود وضعیت گیاه به تنش‌های زیستی و غیر زیستی شده و در بسیاری از فرآیندهای گیاهی از جمله واکنش‌های اسمزی، فرآیندهای متابولیکی، فیزیولوژی روزنه، فیتوهورمون‌ها و روابط مبدا و مقصد، دخیل بوده (Ahire *et al.*, 2021) و با بهبود استحکام مکانیکی گیاه و افزایش مقاومت در برابر انواع مختلف تنش‌های زیستی و غیرزیستی، عملکرد و کیفیت گیاهان زراعی را بهبود می‌بخشد (Yan *et al.*, 2018). این عنصر با تحریک ژن گره‌زایی و تاثیر بر بیوسنتز و متابولیسم ترکیبات فنلی از جمله ایزو فلاونوئید، در افزایش گره‌زایی ریشه نقش مهمی ایفا می‌کند (Chung *et al.*, 2020). گزارش شده است که کاربرد سیلیکون با بهبود جذب آب از ریشه و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای و ظرفیت تثبیت دی‌اکسیدکربن و رشد بهتر گیاه شد (Habibi & Hajiboland, 2013). آل کاهتانی و همکاران (Al-Kahtani *et al.*, 2021) گزارش کردند که کاربرد سیلیکون از طریق بهبود ساختار ریشه و جذب عناصر غذایی، کاهش نشت الکترولیت برگ، افزایش کلروفیل و محتوای نسبی آب، موجب افزایش زیست‌توده شد. ساجد گلجه و همکاران (Sajed Gollojeh *et al.*, 2020) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی با بهبود شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب و کاهش نشت الکترولیت برگ، موجب افزایش عملکرد کوانتومی فتوسیستم II در برگ کلزا (*Brassica napus* L.) شد.

عملکرد خلر در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور به‌دلایل مختلفی از جمله کمبود مواد آلی در خاک و ناکافی بودن نزولات، پایین است. از آنجایی‌که کاربرد ریزوبیوم با باکتری‌های محرک رشدی مانند ازتوباکتر و آزوسپریلوم، با کمک به افزایش بازده همزیستی، در بهبود رشد و افزایش گره‌زایی ریشه لگوم‌های مختلفی همچون نخود (*Cicer arietinum* L.) (Verma *et al.*, 2010)، باقلا (*Vicia faba* L.) (Dashadi *et al.*, 2011) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) (Yadegari, 2014) موثر بوده است. از این رو به‌دلیل اهمیت خلر در کوتاهی طول دوره رشد و برخورداری از ارزش غذایی مشابه با شبدر، یونجه و اسپرس، و از طرفی نقش نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشدی در کمک به بهبود شرایط رشدی گیاه و گره‌زایی ریشه و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توام این عوامل، موجب شد تا اثر سیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است. نتایج حاصل از تجزیه ویژگی‌های فیزیکو شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ و شرایط اقلیمی منطقه مورد کشت در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکو شیمیایی خاک

Table 1- Soil physico-chemical characteristics

ویژگی Characteristic	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی Organic carbon	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	آهک $CaCO_3$	درصد عصاره اشباع Saturated extract	بافت Texture	pH
مقادیر	mg kg^{-1}					٪						
Amount	1.8	212	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4	49	Loamy	7.8

جدول ۲- مشخصات جوی در طول دوره رشدی خلر

Table 2- Atmospheric characteristics during *Lathyrus sativus* L. growth

Parameter پارامتر	Nov آبان	Oct مهر	Sep شهریور	Aug مرداد	July تیر
Rainfall (mm) بارندگی	28	5	0.6	11.8	3.5
Average temperature (°C) میانگین دما	7.1	12	18.3	20.8	21.3
Total sunny hours جمع ساعات آفتابی	166.5	164	287.5	268.7	309
Mean of relative humidity متوسط رطوبت نسبی (درصد)	71	73	67	59	58

فاکتورهای مورد بررسی شامل باکتری‌های محرک رشد در چهار سطح (عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، سودوموناس، کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس) و چهار سطح محلول‌پاشی نانوسیلیکون (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون) بود. سویه خالص باکتری‌های سودوموناس (*Psedomunas putida* Strain186) و آزوسپریلیوم (*Azospirillum lipoferum* strain OF) از موسسه خاک و آب تهیه شدند. هر گرم از مایه تلقیح این باکتری‌ها حاوی 10^{7} باکتری زنده و فعال بود. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. تمام بذرها به مدت دو ساعت در مایه تلقیح در شرایط تاریکی قرار گرفتند. علاوه بر تلقیح بذر خلر با ریزوبیوم در تمامی واحدهای آزمایشی، با باکتری‌های محرک رشدی نیز بسته به سطح این باکتری‌ها، عمل تلقیح بذر انجام شد. در تابستان بعد از برداشت گندم (*Triticum aestivum* L.) و تهیه زمین، در هشتم مرداد ماه کاشت به‌روش دستی انجام شد. هر واحد آزمایشی به ابعاد شش متر مربع شامل چهار خط کاشت به طول سه متر با فاصله بین ردیفی ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بذر از هم روی ردیف چهار سانتی‌متر (تراکم ۵۰ بوته در متر مربع) بود. در این بررسی از خلر رقم محلی استفاده شد. این رقم به دلیل برخورداری از طول دوره رشدی کوتاه، عملکرد کمی و کیفی نسبتا مناسب و سازگاری با شرایط اقلیمی منطقه، هر ساله توسط کشاورزان کشت می‌شود. نانوسیلیکون (SiO_2-Nano) با اندازه ذرات ۲۰ الی ۳۰ نانومتر محصول شرکت Nanomaterial US Research بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه شد و محلول‌پاشی با آن در طول دوره رشد رویشی انجام شد. برای حلالیت بهتر نانوسیلیکون در آب، با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) در آب دیونیزه حل گردید (Prasad *et al.*, 2012). کنترل علف‌های هرز در طول دوره رشد به‌روش دستی انجام شد. در طول دوره رشد کود خاصی استفاده نشد. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری‌های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی و بر اساس عرف متداول زارعین محلی انجام شد. به‌منظور امکان برآورد دقیق وزن و حجم ریشه و تعیین اثر تیمارها بر تعداد و وزن خشک گره، گلدان‌هایی با قطر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر در خطوط اصلی هر واحد آزمایشی هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شده و با همان خاک مزرعه پر شدند. آبیاری گلدان‌ها نیز همانند دیگر ردیف‌های کاشت انجام شد. تراکم کاشت در این گلدان‌ها مانند دیگر ردیف‌های کاشت مزرعه در نظر گرفته شد. در مرحله گلدهی، بوته‌های هر گلدان به همراه ریشه به‌طور کامل جدا شده و پس از شستشوی ریشه‌ها، گره‌ها با پنس از ریشه جدا و تعداد آن‌ها تعیین شد. وزن خشک گره‌ها نیز پس از قرارگیری در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۵±۷۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Namvar *et al.*, 2011). معیار تشخیص گره‌های موثر از غیر موثر بر این اساس بود که در برش گره‌ها، گره‌های موثر به رنگ صورتی یا قرمز گوشتی است. این گره‌ها به تعداد کم‌تر ولی درشت‌تر از گره‌های غیر موثر بوده و بر روی محور اصلی ریشه قرار می‌گیرند در حالی‌که گره‌های غیر موثر کوچک‌تر بوده و بر روی ریشه‌های فرعی قرار دارند (Seyed Sharifi & Gholinezhad, 2021). برای تعیین وزن و حجم ریشه‌ها، پس از خارج‌سازی ریشه‌ها از خاک در زمان رسیدگی، ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد، طوری‌که اختلاف حجم ایجاد شده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به‌عنوان حجم ریشه منظور شد.

شاخص کلروفیل با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) و هدایت روزنه‌ای برگ با

استفاده از دستگاه پورومتر (Porometer AP4, Delta-T Devices ltd., Cambridge, UK) در هر کرت به‌طور تصادفی روی چهار برگ توسعه‌یافته در مرحله گلدهی اندازه‌گیری شدند. همچنین، عملکرد کوانتومی برگ در مزرعه توسط دستگاه فلورسانس کلروفیل (مدل OS-30p، شرکت OPTI SCIENCES، آمریکا) از هر تیمار به‌طور تصادفی شش برگ توسعه‌یافته (در فاصله زمانی ساعت ۱۰–۸ صبح) در مرحله گلدهی انتخاب و بعد از ۱۵ دقیقه تاریکی توسط کلیپس‌های مخصوص، اندازه‌گیری شد (Kheirizadeh Arough *et al*., 2016). بعد از اندازه‌گیری نیتروژن موجود در برگ و ساقه به روش کجلدال و ضرب آن به ۶/۲۵، محتوای پروتئین برگ و ساقه برآورد شد (Seyed Sharifi & Gholinezhad, 2021).

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) بین ساعت ۱۲–۱۰ روز، از هر کرت پنج برگ توسعه‌یافته در مرحله گلدهی به‌طور تصادفی انتخاب و بعد از قرار دادن در فویل‌های آلومینیومی، داخل کیسه‌های پلاستیکی و روی یخ قرار داده و خیلی سریع به آزمایشگاه منتقل و با استفاده از رابطه پیشنهادی کوستاپلو و همکاران (Kostopoulou *et al*., 2010) مقدار آن محاسبه شد. به‌منظور اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ در همان شرایط (مرحله گلدهی) مربوط به اندازه‌گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه‌های برگی در بشرهای محتوی ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر (دارای EC مشخص) به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی برگ، سعی شد نمونه‌های برگی از ابعاد یکسانی برخوردار باشد.

عملکرد علوفه در مرحله گلدهی (۸ آبان ماه) با رعایت اثر حاشیه‌ای، از سطحی معادل ۰/۵ مترمربع برداشت شد. نمونه مورد نظر در آزمایشگاه تا رسیدن به وزن ثابت در دمای ۵±۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک و سپس توزین گردید. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

شاخص کلروفیل برگ: برهم‌کنش کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون بر شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج نشان داد بیش‌ترین شاخص کلروفیل برگ (۵۵/۵۳) در کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس در محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون مشاهده شد که از افزایش ۴۶/۲۸ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). احتمال داده می‌شود، سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ و تولید بافت ناهموار در دو سطح برگ، منجر به تاخیر در پیری و افزایش کلروفیل برگ می‌شود (Khajeh *et al*., 2015). بخشی از افزایش شاخص کلروفیل می‌تواند ناشی از اثر سیلیکون در کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای نسبی آب (جدول ۵) باشد. در این راستا محققان اظهار داشتند که محلول‌پاشی سیلیکون از طریق بهبود کارایی فتوسیستم II، کاهش نشت الکترولیت و افزایش محتوای نسبی آب (Sarah *et al*., 2021)، موجب افزایش محتوای کلروفیل برگ می‌شود (AL-Aghabary *et al*., 2004). زاروشان و همکاران (Zarooshan *et al*., 2020) اظهار داشتند که نانوسیلیکون با رسوب در سلول‌های روزنه، موجب بهبود سرعت باز و بسته شدن روزنه‌ها و شاخص کلروفیل می‌شود.

بخشی از بهبود شاخص کلروفیل می‌تواند ناشی از تاثیر باکتری‌محرک رشد در دسترسی بیشتر گیاه به نیتروژن و نقش این عنصر در بیوسنتز کلروفیل باشد که موجب می‌شود کلروفیل برگ گیاهان تلقیح شده، افزایش یابد (Bashan *et al*., 2006). برخی پژوهشگران اثر مفید کاربرد باکتری‌های محرک رشد بر افزایش شاخص کلروفیل را، به کاهش تجزیه کلروفیل به دلیل نقش باکتری‌های محرک رشد حاوی ACC دآمیناز در کاهش ساخت اتیلن، نسبت دادند (Seyed Sharifi & Namvar, 2016). کوستا–سانتوز و همکاران (Costa-Santos *et al*., 2021) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد از طریق تنظیم تعادل هورمونی، تسهیل جذب آب و عناصر غذایی و همچنین تقویت ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و بیولوژیکی خاک موجب کاهش نشت الکترولیت و افزایش عملکرد کوانتومی، هدایت روزنه‌ای، محتوای نسبی آب و در نهایت محتوای کلروفیل گیاهان می‌شود. ویشنوپرادیپ و همکاران (Vishnupradeep *et al*., 2022) نیز بیان کردند که باکتری‌های محرک رشد موجب بهبود وضعیت آبی و محتوای نسبی آب گیاه شد که از این طریق با افزایش هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی و همچنین ساختار غشاء، در نهایت منجر به افزایش محتوای پروتئین و کلروفیل برگ شد. در این بررسی نیز به‌نظر می‌رسد کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون از طریق بهبود محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای (جدول ۵)، افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۴)، با گسترش ریشه در حجم وسیعی از خاک و بهبود وضعیت تغذیه‌ای گیاه در نهایت به بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۵) منجر شده است.

محتوای نسبی آب برگ: برهم‌کنش کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیکی خلر

Table 3- Analysis of variance of the effect of nano silicon foliar application and seed inoculation with plant growth-promoting rhizobacteria on biomass, nodulation, and some physiological traits of grasspea (*Lathyrus sativus* L.)

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات M.S													
		شاخص کلروفیل Chlorophyll index	محتوای نسبی آب Relative water content	هدایت الکتریکی برگ Electrical conductivity	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	عملکرد کوانتومی Quantum yield	پروتئین برگ Leaf protein	پروتئین ساقه Stem protein	زیست‌توده Biomass	وزن خشک گره Nodule dry weight	درصد گره‌های فعال Percentage of active nodules	تعداد گره‌های غیرفعال Number of inactive nodules	تعداد گره‌های فعال Number of active nodules	حجم ریشه Root volume	وزن خشک ریشه Root weight
تکرار Replication	2	403.6**	599**	112**	284.7**	0.017**	75.5**	5.28**	142.1**	0.003**	105.06**	2.28**	17.58**	11.29**	0.197**
باکتری (B) Bacteria	3	187**	386**	34.4**	105.5**	0.03**	37.14**	13.64**	1735.6**	0.028**	294.76**	3.38**	47**	9.1**	0.199**
سیلیکون (N) Silicon	3	267.9**	435**	54.6**	122.5**	0.033**	50.97**	18.98**	5676.9**	0.007**	218.7**	3**	28.83**	18.77**	0.354**
B×N	9	5.9*	9.2*	0.62ns	4.3**	0.00055**	1.21**	0.54**	234.9**	0.005**	4.92*	0.05ns	0.96**	0.62**	0.007**
خطا Error	30	2.15	3.4	0.5	0.42	0.00009	0.15	0.12	65.1	0.0003	2.06	0.09	0.4	0.082	0.002
ضریب تغییرات C.V	-	3.2	7.3	7.1	3.1	4.3	12	4.4	6.2	9.1	8.6	6.4	5.3	11.2	8.7

ns, * and ** are non-significant, significant at P≤0.05 and P≤0.01, respectively.

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

جدول ٤- مقایسه میانگین اثرات اصلی نانوسیلیکون و باکتری‌های محرک رشد بر تعداد گره‌های غیرفعال و هدایت الکتریکی خلر

Table 4- Means comparison of main effects of nano silicon and plant growth-promoting rhizobacteria on the number of inactive nodules and electrical conductivity of grasspea (*Lathyrus sativus* L.)

تیمار Treatment	تعداد گره‌های غیرفعال Number of inactive nodules (per plant)	هدایت الکتریکی برگ Electrical conductivity ($\mu S.\ cm^{-1}$)	تیمار Treatment	تعداد گره‌های غیر فعال Number of inactive nodules (per plant)	هدایت الکتریکی برگ Electrical conductivity ($\mu S.\ cm^{-1}$)
N_1	4.95	20.66	B_1	5.01	21.46
N_2	4.63	19.47	B_2	4.56	19.46
N_3	4.38	18.67	B_3	4.29	18.08
N_4	3.7	16.63	B_4	3.81	16.43
LSD	0.253	0.591	LSD	0.26	0.6

B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، سودوموناس و کاربرد همزمان آزوسپریلیوم و سودوموناس.

N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون.

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

B_1, B_2, B_3 and B_4 are no inoculation as control, seed inoculation with *Azospirillium*, *Pseudomonas* and both application of *Azospirillium* and *Pseudomonas* respectively.

N_1, N_2, N_3 and N_4 no foliar application, foliar application 25, 50 and 75 mg. l^{-1} Nano silicon respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

جدول ۵- مقایسه میانگین تاثیر محلول‌پاشی نانوسیلیکون و تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد بر زیست‌توده، گره‌زایی و برخی صفات فیزیولوژیک خلر

Table 5- Means comparison of effects of foliar application Nano silicon and seed inoculation with growth-promoting bacteria on biomass, nodulation and some physiological traits of grasspea (*Lathyrus sativus* L.)

ترکیب Treatments	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	محتوای نسبی آب Relative water content (%)	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance ($mmol.m^{-2} s^{-1}$)	عملکرد کوانتومی Quantum yield	پروتئین برگ Leaf protein (%)	پروتئین ساقه Stem protein (%)	زیست توده Biomass ($g.m^{-2}$)	وزن خشک گره Nodule dry weight (g per plant)	درصد گره‌های فعال Active nodules (%)	تعداد گره‌های فعال Number of active nodules (per plant)	حجم ریشه Root volume (cm^3 per plant)	وزن خشک ریشه Root weight (g per plant)
$B_1 \times N_1$	37.96	63.33	22.16	0.606	15.57	7.95	219.17	0.516	63.24	9.44	1.33	1.579
$B_1 \times N_2$	40.46	68.43	23.96	0.635	17.17	8.8	241.27	0.56	67.04	10.27	11.35	1.687
$B_1 \times N_3$	41.2	69.53	25.13	0.674	17.83	9.08	223.13	0.554	70.08	11.55	10.89	1.614
$B_1 \times N_4$	47	77.8	29.36	0.722	19.71	10.78	271.97	0.523	75.83	13.66	13.68	2.004
$B_2 \times N_1$	38.93	65.56	23.26	0.622	15.95	8.24	234.07	0.654	69.7	11.72	10.52	1.654
$B_2 \times N_2$	42.96	72.86	26.13	0.654	16.98	8.8	260.9	0.629	72.47	12.61	12.44	1.886
$B_2 \times N_3$	45.23	73.43	27.5	0.688	18.86	10.4	251	0.622	73.17	12.77	12.35	1.752
$B_2 \times N_4$	49.53	78.33	31.2	0.745	20.27	11.15	278.23	0.642	78.67	15	13.79	2.055
$B_3 \times N_1$	39.93	67.73	24.06	0.65	16.32	8.6	231.13	0.531	70.78	12.27	11.74	1.791
$B_3 \times N_2$	46.33	78.76	29.6	0.734	19.43	9.74	244.4	0.628	74.39	13.44	13.01	1.96
$B_3 \times N_3$	48.93	81.8	31.3	0.762	21.87	10.49	231.3	0.549	79.03	15.77	12.34	1.762
$B_3 \times N_4$	53.46	86.26	33.46	0.799	21.96	11.81	283.27	0.68	81.22	16.16	14.35	2.103
$B_4 \times N_1$	43.2	74.66	27.93	0.699	18.49	9.65	237.6	0.615	75.96	14.11	11.83	1.833
$B_4 \times N_2$	51.03	83.46	31.53	0.767	21.21	11.9	259.43	0.605	80.19	15.61	14.41	2.146
$B_4 \times N_3$	53.5	83.66	33.66	0.792	22.43	12.28	275.77	0.655	82.97	16.66	13.55	1.922
$B_4 \times N_4$	55.53	87.23	34.63	0.813	23.37	12.66	295.33	0.709	84.27	17.11	14.66	2.217
LSD	2.449	3.116	1.084	0.016	0.65	0.581	13.455	0.0322	2.395	1.061	0.478	0.0803

B_1، B_2، B_3 و B_4 به‌ترتیب عدم تلقیح به‌عنوان شاهد، تلقیح بذر با آزوسپریلیوم، سودوموناس و کاربرد همزمان آزوسپریلیوم و سودوموناس. N_1، N_2، N_3 و N_4 به‌ترتیب عدم مصرف یا محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد و محلول‌پاشی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

B_1, B_2, B_3, and B_4 are no inoculation as control, seed inoculation with *Azospirillium*, *Pseudomonas*, and both application of *Azospirillium* and *Pseudomonas* respectively. N_1, N_2, N_3, and N_4 no foliar application, foliar application 25, 50, and 75 mg. l^{-1} Nano silicon respectively.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

نتایج نشان داد که کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس با ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، دارای بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ (۷۸/۲۳٪)، و از افزایش ۳۷/۷۳ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد بخشی از بهبود محتوای نسبی آب برگ در کاربرد سیلیکون ناشی از اثر این عامل در افزایش وزن و حجم ریشه باشد (جدول ۵) که با گسترش ریشه‌ها در حجم وسیعی از خاک، امکان دسترسی به آب در بخش‌های بیشتری از خاک را فراهم می‌سازد. آل کاهتانی و همکاران (Al-Kahtani *et al*., 2021) افزایش محتوای نسبی آب به‌واسطه کاربرد سیلیکون را، به بهبود ساختار ریشه و کمک به جذب عناصر غذایی، افزایش محتوای کلروفیل و کاهش نشت الکترولیت برگ نسبت دادند. نتایج مشابهی نیز توسط سارا و همکاران (Sarah *et al*., 2021)، گوداس و موفتاح (Qados & Moftah, 2015) مبنی بر افزایش محتوای نسبی آب برگ لوبیا و باقلا به‌واسطه محلول‌پاشی با سیلیکون گزارش شده است.

اظهار شده است که سیلیکون با رسوب در زیر لایه کوتیکولی (با ضخامت ۰/۱ میکرومتر) برگ و تشکیل لایه دوگانه کوتیکول-سیلیس و در نتیجه افزایش ضخامت لایه کوتیکولی و موم آن، موجب کاهش تعرق از سطح برگ و پوست گیاهی می‌شود و نتیجه این عمل افزایش محتوای نسبی آب، توسعه برگی و افزایش تولید ماده خشک است (Ma & Yamaji, 2006). ویشنوپرادیپ و همکاران (Vishnupradeep *et al*., 2022) نیز افزایش محتوای نسبی آب تحت شرایط کاربرد باکتری‌های محرک رشد را به اثرات این باکتری‌ها در گسترش وزن و حجم ریشه نسبت دادند که از طریق بهبود وضعیت آبی گیاه، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ شد. در این زمینه سالم و همکاران (Saleem *et al*., 2021) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک از طریق بهبود ساختار ریشه و گسترش آن در حجم وسیعی از خاک، موجب افزایش محتوای نسبی آب برگ ذرت (*Zea mays* L.) شد.

هدایت الکتریکی برگ: نتایج تجزیه واریانس نشان داد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون بر هدایت الکتریکی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس موجب کاهش ۲۴/۲۳ درصدی هدایت الکتریکی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد، و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون موجب کاهش ۳۰/۶۱ درصدی نسبت به عدم محلول‌پاشی نانوسیلیکون شد (جدول ۴). به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد از طریق بهبود وزن و حجم ریشه و محتوای نسبی آب (جدول ۵)، تا حد زیادی می‌توانند آسیب وارده به غشاء را کاهش داده و به کاهش هدایت الکتریکی کمک کنند. عبدالهی آرپناهی و همکاران (Abdollahi Arpanahi *et al*., 2019) نیز کاهش نشت الکترولیت برگ آویشن (*Thymus daenensis* Celak.) به‌واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد را، به بهبود وضعیت آبی و شرایط فتوسنتزی گیاه نسبت دادند. باتول و همکاران (Batool *et al*., 2020) اظهار داشتند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد با بهبود محتوای نسبی آب و افزایش سرعت فتوسنتز از طریق افزایش هدایت روزنه‌ای، موجب افزایش پایداری غشاء و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی و هدایت الکتریکی می‌شود.

از آنجایی که سیلیکون یک عنصر غیر متحرک در درون گیاه است که پس از رسوب در داخل سلول به‌صورت ژل پلیمرشده درآمده و برای گیاه غیرقابل استفاده می‌شود از این رو نقش استحکامی و پایداری را داشته و موجب کاهش میزان نشت الکترولیت در گیاه می‌شود (Liang *et al*., 2007). برخی پژوهشگران معتقدند که سیلیکون به‌عنوان یک مولکون پیام‌رسان با افزایش توان دفاع آنتی‌اکسیدانی گیاه، خسارت ناشی از گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن و نشت یونی را کاهش می‌دهد (Moussa, 2006). زارع و همکاران (Zare *et al*., 2015) اظهار داشتند که در گیاهچه‌های ذرت تحت تنش شوری، نانوسیلیکون با کاهش پراکسیداسیون لیپیدی، موجب کاهش هدایت الکتریکی ذرت شد. بخشی از بهبود هدایت الکتریکی به‌واسطه کاربرد سیلیکون میتواند ناشی از تاثیر این ماده در افزایش محتوای نسبی آب باشد (جدول ۵). در این راستا ساجد گلجه و همکاران (Sajed Gollojeh *et al*., 2020) علت اصلی کاهش نشت الکترولیت برگ کلزا در طی محلول‌پاشی با نانوسیلیکون را، به افزایش محتوای نسبی آب نسبت دادند.

هدایت روزنه‌ای برگ: نتایج نشان داد کاربرد توام آزوسپریلیوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون دارای بیش‌ترین هدایت روزنه‌ای برگ (۳۴/۶۳ $mmol.m^{-2}.s^{-1}$) بود (جدول ۵) و از افزایش ۵۶/۲۷ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد رسوب سیلیکون در برگ‌ها به‌ویژه در سلول‌های محافظ روزنه با تغییر در طول و عرض روزنه (Morikawa *et al*., 2004) موجب می‌شود که هدایت روزنه‌ای تحت تاثیر قرار گیرد. از طرف دیگر، سیلیکون انتقال یون به داخل سلول محافظ روزنه را تعدیل کرده و از این طریق واکنش‌های نوری روزنه و حرکت روزنه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این پاسخ احتمالا توسط چهار پدیده مختلف شامل: ۱) دریافت سیگنال، ۲) ایجاد شیب الکتروشیمیایی در سرتاسر غشاء سلول روزنه، ۳) جابه‌جایی یون‌ها و

به‌دنبال آن تغییرات در فشار اسمزی و ۴) تنظیمات هیدرولیکی مرتبط با حرکات روزنه، میانجی‌گری می‌کند (Agarie *et al.*, 1998). در این راستا، زاروشان و همکاران (Zarooshan *et al.*, 2020) بیان کردند که نانوسیلیکون با کمک به افزایش جذب آب و بهبود محتوای نسبی آب برگ و همچنین با رسوب در سلول‌های نگهبان روزنه، موجب افزایش سختی دیواره و باز ماندن روزنه می‌شود، که در چنین شرایطی با بهبود سرعت باز و بسته شدن روزنه‌ها، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای می‌شود. حبیبی و حاجی بلند (Habibi & Hajiboland, 2013) نیز اظهار داشتند که کاربرد سیلیکون با بهبود جذب آب از ریشه و افزایش محتوای نسبی آب، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای و بهبود ظرفیت تثبیت دی‌اکسیدکربن می‌شود.

بخشی از بهبود هدایت روزنه‌ای برگ به‌واسطه تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد را می‌توان به افزایش وزن و حجم ریشه و در نتیجه بهبود محتوای نسبی آب (جدول ۵) نسبت داد. در این راستا بتول و همکاران (Batool *et al.*, 2020) بیان کردند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از طریق توسعه بهتر ریشه و افزایش پایداری غشاء، موجب افزایش محتوای نسبی آب و در نهایت افزایش هدایت روزنه‌ای شد. برخی محققین اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد به‌دلیل گسترش ریشه و دسترسی بهتر گیاه به منابع آبی، ضمن بهبود محتوای نسبی آب برگ‌ها و کاهش آبسیزیک اسید، موجب افزایش هدایت روزنه‌ای برگ می‌شود (Kheirizadeh Arough *et al.*, 2019).

عملکرد کوانتومی برگ: نتایج نشان داد که کاربرد توام باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی نانوسیلیکون بر عملکرد کوانتومی برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). بیش‌ترین عملکرد کوانتومی برگ (۰/۸۱۳) در کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون مشاهده شد (جدول ۵)، که از افزایش ۳۴/۱۵ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با کاهش ساخت اتیلن و جلوگیری از تجزیه کلروفیل، و همچنین افزایش وزن و حجم ریشه (جدول ۵) منجر به افزایش دسترسی به آب و مواد غذایی شده و از این طریق موجب افزایش عملکرد کوانتومی می‌شود (Seyed Sharifi & Namvar, 2016). کوستا سانتوز و همکاران (Costa-Santos *et al.*, 2021) اظهار داشتند باکتری‌های محرک رشد با تنظیم تعادل هورمونی و تسهیل جذب آب و عناصر غذایی، ضمن افزایش کلروفیل و محتوای نسبی آب موجب می‌شود که هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی افزایش یابد. خیری‌زاده آروق و سیدشریفی (Kheirizadeh Arough & Seyed Sharifi, 2018) علت افزایش عملکرد کوانتومی با کاربرد باکتری‌های محرک رشد را به استفاده مطلوب‌تر از رطوبت خاک، افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای و کاهش هدایت الکتریکی نسبت دادند. مهربان جوبانی و همکاران (Mehraban Joubani *et al.*, 2019) دلیل افزایش عملکرد کوانتومی برنج (*Oryza sativa* L.) در کاربرد نانوسیلیکون را به بهبود رشد و افزایش محتوای نسبی آب برگ نسبت دادند. در این بررسی کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون از طریق بهبود محتوای نسبی آب، شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای (جدول ۵)، موجب افزایش پایداری غشاء یا کاهش هدایت الکتریکی شده (جدول ۴) و در نهایت منجر به بهبود عملکرد کوانتومی شد (جدول ۵).

درصد پروتئین برگ و ساقه: برهم‌کنش باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون بر درصد پروتئین برگ و ساقه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). طوری‌که کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون با برخورداری از بیش‌ترین درصد پروتئین برگ و ساقه (به‌ترتیب ۲۳/۳۷ و ۱۲/۶۶ %) (جدول ۵)، از افزایش ۴۸/۸ و ۵۹/۲۴ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). نیتروژن عنصر ضروری در ساخت اسیدهای نوکلئیک و پروتئین‌ها می‌باشد و به‌نظر می‌رسد باکتری‌های محرک رشد با کمک به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن موجب می‌شود که آمونیوم حاصل از همزیستی با باکتری‌ها در ادامه به شکل آمینو اسید در تشکیل پروتئین مورد استفاده قرار گیرد (Naveed *et al.*, 2015). همچنین، این باکتری‌ها ترکیبات نیتروژنه ایجاد شده از تثبیت نیتروژن در گرهک‌های ریشه به شکل آلانتوئین و اسیدهای آلانتوئیک را به برگ منتقل کرده و می‌توانند برای بیوسنتز کلروفیل و پروتئین‌ها استفاده کنند (Bejandi *et al.*, 2012). برخی محققان دلیل افزایش محتوای پروتئین در برگ و ساقه گیاهان تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشدی را، به اثر این باکتری‌ها در افزایش میزان کل نیتروژن در بافت گیاهی (Verma *et al.*, 2010) و برخی دیگر به افزایش جذب آمونیوم و نیترات نسبت دادند (Maougal *et al.*, 2014).

افزایش پروتئین‌های محلول در کاربرد سیلیکون احتمالا با سنتز پروتئین‌های جدید و یا افزایش سطح پروتئین‌های مرتبط با تحمل به تنش و یا با نقش این عنصر در مقابله با تنش اکسیداتیو در ارتباط باشد (Gong *et al.*, 2008). دانائی و عبدوسی (Danaee & Abdossi, 2021) افزایش محتوای پروتئین با کاربرد نانوسیلیکون را به بهبود وزن ریشه نسبت دادند که می‌تواند با کمک به جذب بیشتر عناصر از خاک، منجر به افزایش محتوای پروتئین شود. بخشی از افزایش درصد پروتئین برگ و ساقه به‌واسطه محلول‌پاشی نانوسیلیکون ناشی از بهبود وزن و حجم ریشه، محتوای نسبی آب،

شاخص کلروفیل و هدایت روزنه‌ای است (جدول ۵) و در این راستا زاروشان و همکاران (Zarooshan *et al.*, 2020) بیان کردند که نانوسیلیکون با افزایش جذب آب و بهبود محتوای نسبی آب برگ و همچنین با رسوب در سلول‌های نگهبان روزنه، ضمن افزایش هدایت روزنه‌ای و بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، منجر به افزایش میزان پروتئین می‌شود.

زیست‌توده کل: نتایج نشان داد کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون با دارا بودن بیش‌ترین زیست‌توده (۲۹۵/۳۳ گرم در مترمربع) از افزایش ۳۴/۷۴ درصدی نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). به‌نظر می‌رسد توان باکتری‌های محرک رشد در تثبیت زیستی نیتروژن، با کمک به دسترسی بهتر گیاه به نیتروژن موجب می‌شود تا حضور نیتروژن در بیوسنتز و افزایش محتوای کلروفیل موجب رشد بهتر گیاهان تلقیح‌شده و افزایش محصولات فتوسنتزی شود (Bashan *et al.*, 2006). بخشی از افزایش زیست‌توده تولیدی می‌تواند ناشی از افزایش گره‌زایی ریشه (جدول ۵) باشد که علاوه بر تثبیت زیستی نیتروژن، حضور این باکتری‌ها از طریق افزایش تولید اکسین و همچنین بهبود انحلال فسفات و گره‌زایی (Abdelkarim *et al.*, 2018)، در نهایت به افزایش زیست‌توده خلر کمک می‌کنند. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2020) بیان کردند باکتری‌های محرک رشد از طریق انحلال فسفر، تولید اکسین و آمونیاک و افزایش گره‌زایی ریشه، ضمن افزایش محتوای پروتئینی، در نهایت موجب افزایش زیست‌توده کل می‌شود. سالم و همکاران (Saleem *et al.*, 2021) علت افزایش محتوای زیست‌توده ذرت در کاربرد باکتری‌های محرک را، به تاثیر این کودها در بهبود ساختار ریشه و اندام هوایی، افزایش هدایت روزنه‌ای و محتوای نسبی آب و بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه نسبت دادند.

سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره‌های خارجی سلول‌های اپیدرمی، علاوه بر استحکام برگ، موجب تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ شده و این امر با به تاخیر انداختن مرگ برگی و افزایش در محتوای کلروفیل، موجب افزایش درصد پروتئین و زیست‌توده گیاه می‌شود (Khajeh *et al.*, 2015). همچنین سیلیکون در ساختار دیواره سلولی ساقه و برگ‌ها وارد می‌شود و موجب استحکام فیزیکی آن‌ها می‌گردد (Liang, 1998) و همین امر می‌تواند با کمک به بهبود افراشتگی گیاه، دریافت نور توسط برگ‌ها را بیشتر نماید که خود محرک رشد بیشتر گیاه می‌باشد. به‌نظر می‌رسد بخشی از افزایش زیست‌توده در کاربرد سیلیکون، ناشی از افزایش وزن و حجم ریشه باشد (جدول ۵) که با بهبود جذب آب از ریشه و افزایش محتوای نسبی آب و هدایت روزنه‌ای (جدول ۵)، منجر به بهبود شاخص کلروفیل، عملکرد کوانتومی (جدول ۵) و در نهایت افزایش ظرفیت تثبیت دی‌اکسیدکربن و زیست‌توده کل گیاه شد (Habibi & Hajiboland, 2013).

تعداد و وزن خشک گره: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر باکتری‌های محرک رشد، محلول‌پاشی نانوسیلیکون و برهم‌کنش توام این دو عامل بر تعداد و وزن گره در سطح احتمال یک درصد و بر درصد گره‌های فعال در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. تعداد گره‌های غیرفعال تحت اثرات اصلی کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی نانوسیلیکون قرار گرفت (جدول ۱). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، دارای بیش‌ترین تعداد و درصد گره‌های فعال (۱۷/۱۱ عدد و ۸۴/۲۷٪) و وزن خشک گره در ریشه (۰/۷۰۹ گرم در بوته) بود (جدول ۵)، طوری‌که این ترکیب تیماری از افزایش به‌ترتیب ۸۱/۲۵، ۳۳/۲۵ و ۳۷/۴ درصدی تعداد، درصد گره‌های فعال و وزن خشک گره نسبت به عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). همچنین تعداد گره‌های غیر فعال، در کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس از کاهش ۳۳/۷۸ نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و در محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون از کاهش ۳۱/۴۹ درصدی نسبت به عدم محلول‌پاشی برخوردار بود (جدول ۴).

پاسخ مثبت در تشکیل گره‌های ریشه ممکن است با اثر مفید سیلیکون بر بیوسنتز و متابولیسم ترکیبات فنلی از جمله ایزوفلاونوئید مرتبط باشد (Zhang *et al.*, 2013). در این زمینه گزارش شده است که ایزوفلاونوئیدهای آزاد شده توسط ریشه، به‌عنوان جذب‌کننده‌های برادی ریزوبیوم عمل کرده و با تنظیم بیان ژن‌های گره‌زایی (Nelwamondo & Dakora, 1999; Eckardt, 2006)، نقش اساسی را در مراحل مختلف فرآیند گره‌زایی ایفا می‌کنند. برخی کاربرد سیلیکون در افزایش گره‌زایی ریشه (تعداد و اندازه گره) سویا (*Glycine max* L.) را، به اثر این ماده در تحریک ژن گره‌زایی و افزایش محتوای ایزوفلاونوئیدها نسبت دادند (Chung *et al.*, 2020).

بخشی از گره‌زایی در کاربرد باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی از ایندول استیک اسید تولیدشده توسط باکتری‌های محرک رشد باشد که در گره‌های ریشه لگوم، آنزیم پمپ پروتون (H^+ ATPase) را فعال می‌کند که برای تولید انرژی در گره‌ها و افزایش گره‌زایی مهم است (Figueiredo *et al.*, 2010). داس و همکاران (Das *et al.*, 2014) نیز اظهار داشتند افزودن کودهای زیستی به محیط ریشه لوبیا فعالیت باکتری‌ها را به‌طور چشمگیری بالا برده و تعداد گره در ریشه را افزایش می‌دهد. افزایش بازده همزیستی ریزوبیوم زمانی‌که بذر لگوم‌ها با باکتری‌های تثبیت‌کننده غیر همزیست مانند ازتوباکتر و آزوسپریلوم تلقیح شده بود در گره‌زایی

ریشه نخود (Verma *et al.*, 2010)، باقلا (Dashadi *et al.*, 2011) و لوبیا (Yadegari, 2014) گزارش شده است. عبدالکریم و همکاران (Abdelkarim *et al.*, 2018) اظهار داشتند که باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش تولید هورمون اکسین و همچنین بهبود انحلال فسفات و تثبیت نیتروژن، موجب افزایش گره‌زایی ریشه خلر می‌شود. خان و همکاران (Khan *et al.*, 2020) افزایش گره‌زایی ریشه در شرایط کاربرد باکتری‌های محرک رشد را به انحلال فسفر، تولید اکسین و همچنین افزایش وزن ریشه و توسعه آن در حجم وسیعی از خاک نسبت دادند. نتایج مشابهی نیز در این بررسی به‌دست آمد. به بیانی دیگر در همان ترکیبات تیماری که وزن و حجم ریشه افزایش یافته بود وزن و تعداد گره‌ها نیز حداکثر بود (جدول ۵). سیدشریفی و همکاران (Seyed Sharifi *et al.*, 2020) نیز نتایج مشابهی مبنی بر افزایش درصد پروتئین و تعداد گره در ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* L.) با کاربرد باکتری‌های محرک رشدی گزارش کردند.

وزن خشک و حجم ریشه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد برهم‌کنش باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون بر وزن و حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). کاربرد توام آزوسپریلیوم با سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون، دارای بیش‌ترین وزن و حجم ریشه (به‌ترتیب ۲/۲۱۷ گرم در بوته و ۱۴/۶۶ سانتی‌متر مکعب در بوته) بود (جدول ۵)، که به‌ترتیب از افزایش ۴۰/۴ و ۴۱/۹۱ درصدی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری محرک رشد و نانوسیلیکون برخوردار بود (جدول ۵). بخشی از افزایش وزن و حجم ریشه در کاربرد باکتری‌های محرک رشد و سیلیکون می‌تواند ناشی از اثر این عوامل در افزایش تعداد و وزن گره (جدول ۵) باشد که ضمن کمک به تثبیت زیستی و فراهمی بیشتر نیتروژن (Rafiee *et al.*, 2010)، منجر به افزایش وزن و حجم ریشه شد. سید شریفی و همکاران (Seyed Sharifi *et al.*, 2020) اظهار داشتند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با کمک به گره‌زایی ریشه، موجب افزایش وزن و حجم ریشه ماشک گل‌خوشه‌ای شد. به‌نظر می‌رسد سیلیکون با حفاظت از استوانه آوندی به‌عنوان یک حامل مکانیکی که باعث سخت شدن بافت آندودرمی می‌شود، رشد طولی ریشه را افزایش می‌دهد (Datnoff *et al.*, 2001)، از این‌رو، تغذیه بهینه سیلیکون موجب افزایش سطح کل جذب‌کننده عناصر و در نهایت رشد و توسعه حجمی و وزنی ریشه‌ها می‌شود (Sun *et al.*, 2005). برخی پژوهشگران دلیل افزایش وزن و حجم ریشه در محلول‌پاشی نانوسیلیکون را، به اثر این ماده در بهبود فتوسنتز جاری و افزایش انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه نسبت دادند (Nazari *et al.*, 2021).

نتیجه‌گیری

تلقیح بذر با باکتری‌های آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون با افزایش گره‌زایی ریشه (تعداد و وزن خشک گره) موجب بهبود صفات فیزیولوژیکی خلر نظیر شاخص کلروفیل، محتوای نسبی آب، هدایت روزنه‌ای و عملکرد کوانتومی نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون شد. همچنین، کاربرد توام آزوسپریلیوم و سودوموناس و محلول‌پاشی ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون موجب افزایش ۵۰/۰۹، ۵۹/۲۴ و ۳۴/۷۴ درصدی محتوای پروتئین برگ، ساقه و زیست‌توده کل نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوسیلیکون گردید. به‌نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی نانوسیلیکون می‌تواند زیست‌توده کل خلر را به‌واسطه بهبود صفات فیزیولوژیکی و گره‌زایی ریشه افزایش دهد.

سپاسگزاری

این پژوهش برگرفته از بخشی از طرح مصوب دانشگاه محقق اردبیلی است که نویسندگان بر خود واجب می‌دانند مراتب سپاس و قدردانی خود را از همکاری و مساعدت یکایک همکاران ارجمند در دانشگاه و دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام دارند.

References

1. Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L., & Künstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, *10*, 520. https://doi.org/10.3390%2Fbiology10060520
2. Abdelkarim, S., Jebara, S. H., Saadani, O., Chiboub, M., Abid, G., & Jebara, M. (2018). Effect of Pb-resistant plant growth-promoting rhizobacteria inoculation on growth and lead uptake by *Lathyrus sativus*. *Journal of Basic Microbiology*, *58*(7), 579-589. 1https://doi.org/10.1002/jobm.201700626
3. Abdollahi Arpanahi, A., Feizian, M., & Mehdipourian, G. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria enhance oil content and physiological status of *Thymus daenensis* Celak. under drought stress. *Journal of Herbal Drugs*, *9*(4), 223-231.
4. Agarie, S., Uchida, H., Agata, W., & Kubota, F. (1998). Effect of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, *1*, 89-95. https://doi.org/10.1626/pps.1.89

5. Ahire, M. L., Mundada, P. S., Nikam, T. D., Bapat, V. A., & Penna, S. (2021). Multifaceted roles of silicon in mitigating environmental stresses in plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, *169*, 291-310. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.11.010
6. AL-Aghabary, K., Zhujun, Z., & Qinhua, S. (2004). Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plant under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*, *27*, 21011-2115. https://doi.org/10.1081/PLN-200034641
7. Al-Kahtani, M. D. F., Hafez, Y. M., Attia, K., Rashwan, E., Al-Husnain, L., Al-Gwaiz, H. I. M., & Abdelaal, K. A. A. (2021). Evaluation of silicon and proline application on the oxidative machinery in drought-stressed sugar beet. *Antioxidants*, *10*(3), 398. https://doi.org/10.3390/antiox10030398
8. Bashan, Y., Bustillos, J. J., Leyva, L. A., Hernandez, J. P., & Bacilio, M. (2006). Increase in auxiliary photoprotective photosynthetic pigments in wheat seedlings induced by *Azospirillum brasilense*. *Biology and Fertility of Soils*, *42*(4), 279-285.
9. Batool, T., Ali, S., Seleiman, M. F., Naveed, N. H., Ali, A., Ahmed, K., Abid, M., Rizwan, M., Shahid, M. R., Alotaibi, M., Al-Ashkar, I., & Mubushar, M. (2020). Plant growth promoting rhizobacteria alleviates drought stress in potato in response to suppressive oxidative stress and antioxidant enzymes activities. *Scientific Reports*, *10*, 16975. https://doi.org/10.1038%2Fs41598-020-73489-z
10. Bejandi, T., Sharifi, R., Sedghi, M., & Namvar, A. (2012). Effects of plant density rhizobium inoculation and microelements on nodulation chlorophyll content and yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Annals of Biological Research*, *3*(2), 951-958.
11. Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, *72*(1-2), 248-254. https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999.
12. Chung, Y. S., Lee, U., Heo, S., Silva, R. R., & Kim, Y. (2020). Image-based machine learning characterizes root nodule in soybean exposed to silicon. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 520161. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.520161
13. Costa-Santos, M., Mariz-Ponre, N., Dias, M. C., Moura, L., Marques, G., & Santos, C. (2021). Effect of *Bacillus* spp. and *Brevibacillus* sp. on the photosynthesis and redox status of *Solanum lycopersicum*. *Horticulturae*, *7*, 24. https://doi.org/10.3390/horticulturae7020024
14. Danaee, E., & Abdossi, V. (2021). Effects of silicon and nano-silicon on some morpho-physiological and phytochemical traits of peppermint (*Mentha piperita* L.) under salinity stress. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *37*(1), 98-112. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.343340.2810
15. Dashadi, M., Khosravi, H., Moezzi, A., Nadian, H., & Heidari, M. (2011). Co-inoculation of rhizobium and Azotobacter on growth of faba bean under water deficit conditions. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, *11*(3), 314-319.
16. Das, I., Pradhan, A. K., & Singh, A. (2014). Yield and yield attributing parameters of organically cultivated mung bean as influenced by PGPR and organic manures. *Journal of Crop and Weed*, *10*(1), 172-174.
17. Datnoff, L. E., Synder, G. H., & Korndorfer, G. H. (2001). *Silicon in Agriculture*. Elsevier. Amsterdam.
18. Eckardt, N. A. (2006). The role of flavonoids in root nodule development and auxin transport in *Medicago truncatula*. *The Plant Cell*, *18*(7), 1539-1540. https://doi.org/10.1105%2Ftpc.106.044768
19. Figueiredo, M., Seldin, L., De Araujo, F., & Mariano, R. (2010). Plant growth promoting rhizobacteria: Fundamentals and applications in plant growth and health promoting bacteria. D.K. Maheshwari (ed). *Plant Growth and Health Promoting Bacteria*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13612-2_2
20. Gong, H. J., Chen, K. M., & Zhao, Z. G. (2008). Effects of silicon on defense of wheat against oxidative stress under drought at different developmental stages. *Biologia Plantarum*, *52*, 592-596. https://doi.org/10.1007/s10535-008-0118-0
21. Habibi,G., & Hajiboland, R. (2013). Alleviation of drought stress by silicon supplementation in pistachio (*Pistacia vera* L.) plants. *Folia Horticulturae*, *25*(1), 21-29. https://doi.org/10.2478/fhort-2013-0003
22. Hooker, K. V., Coxon, C. E., Hackett, R., Kirwan, L. E., O'Keeffe, E., & Richards, K. G. (2008). Evaluation of cover crop and reduced cultivation for reducing nitrate leaching in Ireland. *Journal of Environmental Quality*, *37*(1), 138-145. https://doi.org/10.2134/jeq2006.0547
23. Khajeh, M., Mousavi Nik, S. M., Sirousmehr, A., Yadollah Dehcheshmeh, P., & Amiri, A. (2015). Effect of drought stress and foliar application of silicon on grain yield and photosynthetic pigments of wheat under Sistan conditions. *Crop Physiology Journal*, *7*(26), 5-19. (in Persian).
24. Khan, N., Bani, A. M. D., & Babar, A. (2020). Impacts of plant growth promoters and plant growth regulators on rainfed agriculture. *PLOS ONE*, *15*(4), e0231426. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231426
25. Kheirizadeh Arough, Y., & Seyed Sharifi, R. (2018). Effects of bio fertilizers and zinc on yield, variations of quantum yield, stomatal conductance and some physiological traits of triticale (*Triticosecale*) under withholding conditions. *Journal of Process and Function*, *7*(26), 57-74. (in Persian with English abstract).

26. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., & Khalilzadeh, R. (2019). Alleviation of salt stress effects in triticale (× *Triticosecale*) by bio fertilizers and zinc application. *Journal of Plant Research, 31*(4), 801-821. (in Persian with English abstract).
27. Kheirizadeh Arough, Y., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., & Barmaki, M. (2016). Effect of zinc and bio fertilizers on antioxidant enzymes activity, chlorophyll content, soluble sugars and proline in Triticale under salinity condition. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 44*(1), 116-124. http://doi.org/10.15835/nbha44110224
28. Kostopoulou, P., Barbayiannis, N., & Basile, N. (2010). Water relations of yellow sweet clover under the synergy of drought and selenium addition. *Plant and Soil 330*, (1), 65-71. https://doi.org/10.1007/s11104-009-0176-x
29. Liang, Y. C. 1998. Effects of silicon on leaf ultrastructure, chlorophyll content and photosynthetic activity in barley under salt stress. *Pedosphere, 8*, 289-296.
30. Liang, Y., Sun, W., Zhu, Y., & Christie, P. (2007). Mechanisms of silicon-mediated alleviation of abiotic stresses in higher plants- a review. *Environmental Pollution, 147*, 422-428. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.06.008
31. Ma, J. F., & Yamaji, N. (2006). Silicon uptake and accumulation in higher plants. *Trends Plant Science, 11*, 1-6. https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007
32. Maougal, R. T., Brauman, A., Plassard, C., Abadie, J. Djekoun, A., & Drevon, J. J. (2014). Response of *Dahilia pinnata* L. plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences, 10*, 769-775.
33. Mehraban Joubani, P., Barzegar, A., Barzegar Golchini, B., Ramezani Sayyad, A., & Abdolzadeh, A. (2019). Comparison of effects of iron excess and application of silicon on fluorescence of chlorophyll in shoot and developmental changes in root of rice seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology, 11*(3), 17-32. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22108/ijpb.2019.110931.1099
34. Morikawa, C. K., & Saigusa, M. (2004). Mineral composition and accumulation of silicon in tissues of blueberry (*Vaccinum corymbosus* cv. Bluecrop) cuttings. *Plant Soil, 258*(1), 1-8.
35. Moussa, H. R. (2006). Influence of exogenous application of silicon on physiological response of salt-stressed maize (*Zea mays* L.). *International Journal of Agriculture and Biology, 8*(2), 293-297.
36. Namvar, A., Seyed Sharifi, R., Sedghi, M., Asghari Zakaria, R., Khandan, T., & Eskandarpour, B. (2011). Study on the effects of organic and inorganic nitrogen fertilizer on yield, yield components, and nodulation state of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 42*(9), 1097-1109. https://doi.org/10.1080/00103624.2011.562587
37. Naveed, M., Mehboob, I., Hussain, M. B., & Zahir, Z. A. (2015). *Perspective of rhizobia inoculation for sustainable crop production*. Plant Microbes Symbiosis: Applied Facets Publisher: Springer India Editors: N.K. Arora. https://doi.org/10.1007/978-81-322-2068-8_11
38. Nazari, Zh., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2021). Effect of mycorrhiza, vermicompost and nanosilicon on current photosynthesis, dry matter remobilization and their contribution in grain yield of triticale under water limitation conditions. *Crop Physiology Journal, 13*(51), 5-24. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22069/ejcp.2022.18925.2413
39. Nelwamondo, A., & Dakora, F. D. (1999). Silicon promotes nodule formation and nodule function in symbiotic cowpea (*Vigna unguiculata*). *The New Phytologist, 142*(3), 463-467. https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1999.00409.x
40. Prasad, T. N., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Raja Reddy, K., Sreeprasad, T. S., & Sajanlal, P. R. (2012). Effect of nanoscale Zinc-oxide particles on the germination, growth and yield of peanut. *Journal of Plant Nutrition, 35*, 905-927. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443
41. Qados, A., & Moftah, A. E. (2015). Influence of silicon and nano-silicon on germination, Growth and yield of faba bean (*Vicia faba* L.) under salt stress conditions. *American Journal of Experimental Agriculture, 5*, 509-524. https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/14109
42. Rafiee S., & Asadi-Rahmani, H. (2010). Isolation and identification of different species of *Flavobacterium* from the rhizosphere of wheat cultivated in the different regions of Iran. *Journal of Water and Soil, 24*(2), 254-261. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.3242
43. Ruzzi, M., & Aroca, R. (2015). Plant growth-promoting rhizobacteria act as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulture, 196*, 124-134. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.042
44. Sajed Gollojeh, K., Khomari, S., Shekhzadeh, P., Sabaghnia, N., & Mohebodini, M. (2020). The effect of foliar spray of nano silicone and salicylic acid on physiological traits and seed yield of spring rapeseed at water limitation conditions. *Journal of Crop Production, 12*(4), 137-156. (in Persian). https://doi.org/10.22069/ejcp.2020.16396.2221
45. Saleem, M., Nawaz, F., Hussain, M. B., & Ikram, R. M. (2021). Comparative effects of individual and consortia plant growth promoting bacteria on physiological and enzymatic mechanisms to confer drought tolerance in maize (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 21*, 3461-3476.
46. Sarah, M. S., Prado, R. D. M., Júnior, J. P. D. S., Texeira, G. C. M., Duarte, J. C. D. S., & Medeiros, R. L. S. D. (2021). Silicon supplied via foliar application and root to attenuate potassium deficiency in common bean plants.

Scientific Reports, *11*, 190-196. https://doi.org/10.1038/s41598-021-99194-z
47. Seyed Sharifi, R., & Hokmalipour, S. (2012). *Forage Crops*. University of Mohaghrgh Ardabili press. Ardabil. Iran. 508 pp. (in Persian).
48. Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Bio fertilizers in Agronomy*. University of Mohaghrgh Ardabili press. Ardabil. Iran. 282 pp. (in Persian).
49. Seyed Sharifi, R., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2020). Effect of bio-fertilizers and putrescine on biomass, nodulation, and some morphological and biochemical traits of vetch (*Vicia villosa*) under rainfed condition. *Journal of Crops Improvement*, *22*(4), 513-529. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22059/jci.2020.294125.2316
50. Seyed Sharifi, R., & Gholinezhad, E. (2021). *Evaluation Agronomic and Morphophysiological Traits of Crop Plants*. University of Mohaghrgh Ardabili press. Ardabil. Iran. 400 pp (in Persian).
51. Steenwerth, K., & Belina, K. M. (2008). Cover crops enhance soil organic matter, carbon dynamics and microbiological function in a vineyard agroecosystem. *Applied Soil Ecology*, *40*(2), 359-369. http://doi.org/10.1016/j.apsoil.2008.06.006
52. Sun, C. W., Liang, Y. C., & Romheld, V. (2005). Effects of foliar-and root applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildow in *Cucumis sativus*. *Journal of Plant Pathology*, *54*(5): 678-685. https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2005.01246.x
53. Verma, J., Yadav, J., & Tiwari, K. (2010). Application of *Rhizobium* sp. BHURC01 and plant growth promoting Rhizobacteria on nodulation, plant biomass and yield of chick pea (*Cicer arietinum* L.). *International Journal of Agricultural Research*, *5*(3), 148-156. https://doi.org/10.3923/ijar.2010.148.156
54. Vishnupradeep, R., Bruno, L. B., Taj, Z., Karthik, C., Challabathula, D., Tripti, Kumar, A., Freitas, H., & Rajkumar, M. (2022). Plant growth promoting bacteria improve growth and phytostabilization potential of *Zea mays* under chromium and drought stress by altering photosynthetic and antioxidant *Technology & Innovation*, *25*, 102154. http://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102154
55. Yadegari, M. (2014). Inoculation of bean (*Phaseolus vulgaris*) seeds with rhizobium phaseoli and plant growth promoting rhizobacteria. *Advances in Environmental Biology*, *8*(2), 419-424.
56. Yan, G., Nikolic, M., Ye, M., Xiao, Z., & Liang, Y. (2018). Silicon acquisition and accumulation in plant and its significance for agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, *17*(10), 2138-2150. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62037-4
57. Zare, H., Ghanbarzadeh, Z., Behdad, A., & Mohsenzadeh, S. (2015). Effect of silicon and nanosilicon on reduction of damage caused by salt stress in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *Iranian Journal of Plant Biology*, *7*, 59-74. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088264.1394.7.26.6.8
58. Zarooshan, M., Abdilzadeh, A., Sadeghipour, H. R., & Mehrabanjoubani, P. (2020). Comparison of the effect of silicon and nano-silicon on some biochemical and photosynthetic traits of *Zea may*s L. under salinity stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, *15*(57), 23-38. (in Persian). https://doi.org/10.22069/jopp.2022.18995.2802
59. Zhang, G., Cui, Y., Ding, X., & Dai, Q. (2013). Stimulation of phenolic metabolism by silicon contributes to rice resistance to sheath blight. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *176*(1), 118-124. https://doi.org/10.1002/jpln.201200008

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 451-466

Response of Agronomic and Phenological Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars with Different Growth Habit to Delayed Planting

M. Behneh[1], Sh. Rezvan[2*], S. Sanjani[3], J. Masoud Sinaki[4]

Received: 08-03-2022 Revised: 25-04-2022 Accepted: 05-05-2022	**How to cite this article:** Behneh, M., Rezvan, Sh., Sanjani, S. & Masoud Sinaki, J. (2023). Response of Agronomic and Phenological Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars with Different Growth Habit to Delayed Planting. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(4), 451-466. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75720.1151

Introduction

Wheat (*Triticum aestivum* L.) is one of the most important crops in the world as well as in Iran. It has experienced many improvements in terms of yield and quality traits during recent decades. Wheat, like energy, is known as a strategic commodity and is one of the important indicators of agriculture. This plant has the highest area under cultivation and production among other cereals in the world. Planting date is an important factor in crop production because meteorological parameters vary with changes in planting date. Delay in planting is one of the problems that is common in almost all wheat growing areas of Iran and is one of the main causes of reduced yields of wheat cultivars. Yield reduction rate varies depending on the delay in planting and cultivars, and the results of some experiments indicate that this amount sometimes reaches more than 35% of potential grain yield. Phenology and growth rate due to their effect on duration and the occurrence of different stages of development and the environmental conditions prevailing in each of these stages, are the key point of adaptation to various environmental conditions such as delayed planting date. This experiment was designed to identify the changes in yield and yield components and phenological stages of new bread wheat cultivars with different growth habits and to investigate the possibility of introducing cultivars compatible with delayed planting date in the region.

Materials and Methods

This research was conducted in two separate experiments based on a complete randomized block design with optimum planting date (6th November) and delayed planting date (6th December) on 10 new bread wheat cultivars with three replications on the research farm of the Seed and Plant Improvement Research Institute in Karaj in two years (2016-2018). The bread wheat cultivars include Pishgam, Heidari, Rakhshan, Sivand, Baharan, Sirvan, Parsi, Mehregan, Chamran 2 and Chamran. Yield and yield components such as number spike per m^2, number of grain per spike, 1000-grain weight were measured at the end of the growing season to evaluate responses of the cultivars to the various planting dates. In addition, the phenological stage was recorded during the growing season.

Results and Discussion

Results indicated that delayed planting date from 15th Nov. to 15th Dec. caused a significant reduction on

1- Phd Student of Agronomy, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
2- Assistant Professor, Department of Agriculture, Production and Technology of Herbal Medicines Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
3- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
4- Assistant Professor, Department of Agriculture, Production and Technology of Herbal Medicines Research Center, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran
(*- Corresponding Author Email: shahramrezvan93@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75720.1151

grain yield (from 7485 to 6066 kg.ha^{-1}), number of spikes per m^2 (from 698 to 605), number of grain per spike (from 28.5 to 25.8 seed), and 1000 grain weight (from 41.1 to 38.4 g). The interaction effects of planting date and cultivars were significant on grain yield and yield components. The highest and lowest grain yield belonged to Pishgam (7436 kg. ha^{-1}) on optimum planting date and Chamran (5842 kg.ha^{-1}) on delayed planting date, respectively. Delayed planting date reduced duration of planting to double ridge (from 736 to 641 GDD), planting to terminal spikelet (from 982 to 886 GDD), planting to anthesis (from 1608 to 1457 GDD) and planting to maturity (from 2456 to 2265 GDD).

Conclusion

Duration of different developmental stage is very important for the formation of yield components that determine the final grain yield. Although these stages are a genetic trait, but they are affected by plant growth conditions and environmental stresses, climatic factors, especially temperature and day length. Our research showed that delay in planting reduced grain yield by 18% compared to the optimum planting date because of the reduced number of spikes per m^2 and vegetative and grain-filling periods.

Based on the results, in cases of delayed planting date (unfavorable weather conditions, insufficient planting equipment, etc.) in Karaj region or similar climatic regions, early maturity cultivars such as Mehregan and Chamran 2 and moderate maturity cultivar like Sivand are recommended in order to minimize yield loss.

Keywords: Grain yield, Growth-degree day, Phenological stage, Planting date, Yield components

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٤٦٦-٤٥١

واکنش خصوصیات زراعی و فنولوژیکی ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) با عادت رشد متفاوت به تأخیر در کاشت

مجید بهنه[۱]، شهرام رضوان[۲*]، سارا سنجانی[۳]، جعفر مسعود سینکی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۵

چکیده

به‌منظور بررسی خصوصیات زراعی و فنولوژیکی ارقام جدید گندم نان در تاریخ‌های کاشت مطلوب و تأخیری این آزمایش در دو سال زراعی (۱۳۹۶-۹۸) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر در کرج اجرا شد. این تحقیق در دو آزمایش جداگانه با تاریخ کشت مطلوب منطقه (۱۵ آبان) و کشت تأخیری (۱۵ آذر) انجام شد. ارقام آزمایش شامل سه گروه: ارقام زمستانه و بینابین دیررس (پیشگام و حیدری)، ارقام بهاره متوسطرس (رخشان، سیوند، پارسی، بهاران و سیروان) و ارقام بهاره زودرس (مهرگان، چمران ۲ و چمران) بودند. از ابتدای فصل رشد در هر تیمار مراحل فنولوژی تعیین شد و در انتهای فصل رشد عملکرد و اجزای عملکرد بررسی شدند. نتایج این پژوهش نشان داد که تأخیر در کاشت از ۱۵ آبان تا ۱۵ آذر سبب کاهش معنی‌دار عملکرد دانه (از ۷۴۸۵ به ۶۰۶۶ کیلوگرم در هکتار)، تعداد سنبله در مترمربع (از ۶۹۸ به ۶۰۵ سنبله در مترمربع)، تعداد دانه در سنبله (از ۲۸/۵ به ۲۵/۸ دانه) و وزن هزار دانه (از ۴۱/۱ به ۳۸/۴ گرم) شد. بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب مربوط به رقم پیشگام (۷۴۳۶ کیلوگرم در هکتار) در تاریخ کاشت مطلوب و رقم چمران (۵۸۴۲ کیلوگرم در هکتار) در کشت تأخیری بود. تأخیر در کاشت موجب کاهش طول دوره کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه (از ۷۳۶ به ۶۴۱ درجه-روز رشد)، کاشت تا ظهور سنبلچه انتهایی (از ۹۸۲ تا ۸۸۶ درجه-روز رشد)، کاشت تا گرده‌افشانی (از ۱۶۰۸ به ۱۴۵۷ درجه-روز رشد) و کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک (از ۲۴۵۶ به ۲۲۶۵ درجه-روز رشد) شد. بر اساس نتایج به نظر می‌رسد اثر تاریخ کاشت بر کاهش طول دوره رشد ارقام گندم از طریق کاهش تمامی مراحل اصلی نمو به‌خصوص دوره رشد رویشی (کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه) ایجاد شده است. همچنین نتایج حاکی از آن بود که طول دوره مراحل مختلف نمو در ارقام سازگار با مناطق اقلیمی مختلف با یکدیگر متفاوت بود. به‌طوری‌که در تاریخ کاشت مطلوب و تأخیری ارقام سازگار با اقلیم سرد بالاترین و ارقام سازگار با اقلیم گرم کمترین نیاز حرارتی را برای مراحل مختلف نموی داشتند. نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف ارقام در مراحل فنولوژیک در نیاز حرارتی مورد نیاز برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی بود. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد در شرایطی که کشت به تأخیر بیفتد ارقام سازگار با اقلیم گرم (بهاره و زودرس) از جمله مهرگان و چمران ۲ جایگزین مناسبی برای کشت در مناطق معتدل باشند.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، تاریخ کاشت، درجه روز رشد، عملکرد دانه، مراحل فنولوژیک

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) یکی از مهم‌ترین گیاه زراعی ایران و جهان بوده و از لحاظ عملکرد، کیفیت و خصوصیات ظاهری در طول دهه‌های اخیر پیشرفت‌های فراوانی را تجربه کرده است. گندم همانند انرژی، کالایی راهبردی شناخته می‌شود و از شاخص‌های مهم کشاورزی محسوب می‌گردد. این گیاه بالاترین سطح زیر کشت و تولید را در بین دیگر غلات در جهان به خود اختصاص داده است (Suleiman *et al.*, 2014) و هر ساله حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد اراضی زیر کشت محصولات زراعی کشور را به خود اختصاص می دهد. سطح زیر کشت گندم (آبی و دیم) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ برابر با حدود ۶ میلیون هکتار گزارش شد که۴۹/۶ درصد زمین‌های زراعی کشور را

۱- دانشجوی دکتری زراعت، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
۲- استادیار، مرکز تحقیقات تولید و فن‌آوری داروهای گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
۳- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
۴- استادیار، مرکز تحقیقات تولید و فن‌آوری داروهای گیاهی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shahramrezvan93@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75720.1151

به خود اختصاص داده بود. میزان تولیدگندم (آبی و دیم) در کل کشور ۱۳/۵ میلیون تن گزارش شده است (Ahmadi *et al.*, 2019).

دستیابی به پتانسیل عملکرد محصولات زراعی از جمله گندم متأثر از ژنتیک، شرایط محیطی، اثر متقابل آن‌ها و اعمال مدیریت در استفاده بهینه از منابع می‌باشد. بنابراین علاوه بر معرفی رقم‌های پرمحصول و پایدار باید از ظرفیت ژنتیکی آن‌ها در شرایط اقلیمی و منابع مختلف در جهت پایداری تولید و امنیت غذایی کشور بهره برد (Faragee *et al.*, 2013). در حال حاضر پدیده تغییر اقلیم و آثار مهم آن بر رشد و نمو محصولات زراعی و در نهایت میزان تولید، به یکی از نگرانی‌های جامعه جهانی در مورد امنیت غذایی تبدیل شده است (Liu *et al.*, 2010). بنابراین شناسایی و استفاده از ژنوتیپ‌های سازگار و متحمل به شرایط مختلف اقلیمی می‌تواند از جمله روش‌های موفقیت‌آمیز در تولید گندم باشد.

تأخیر در کاشت یکی از مشکلاتی است که تقریباً در کلیه مناطق گندم کاری کشور متداول است و می‌توان آن‌را یکی از علل اصلی کاهش عملکرد ارقام گندم محسوب کرد. میزان کاهش عملکرد بسته به میزان تأخیر در کاشت و ارقام متفاوت بوده و نتایج برخی آزمایش‌ها بیانگر است که این میزان گاهی به بیش از ۳۵٪ عملکرد دانه پتانسیل (در شرایط تاریخ کشت مطلوب) می‌رسد (Jafarnezhad & Sharif-al-Hosseini, 2011; Sharifi, 2016; Ezatahmadi, 2011). ایشان دلیل عمده کشت دیرهنگام را به علت تأخیر در آزاد شدن زمین از محصول قبلی (کشت بهاره مانند چغندر و صیفی‌جات) ذکر کردند.

تغییر تاریخ کاشت با تغییر شرایط محیطی (عمدتا درجه حرارت و طول روز) حاکم بر رشد (Equiza *et al.*, 1997)، نمو، پنجه‌زنی (Sharratt, 1991) شرایط تخصیص (Tollenaar, 1989) و در نهایت عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نتایج مطالعات متعدد نشان داده است که اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه معنی‌دار است (Ezatahmadi, 2011; Sharifi, 2016)، به بیان دیگر واکنش ارقام گندم به تأخیر در کاشت یکسان نبوده و برخی ارقام گندم سازگاری بیشتری با شرایط محیطی ناشی از تأخیر کاشت داشته و میزان افت عملکرد آن‌ها کمتر از سایرین است. از آنجا که تفاوت اصلی محصول در تاریخ کاشت‌های مختلف به دلیل آن است که دست کم در طی مراحل اولیه، رشد و نمو گیاه در شرایط متفاوت نور و دما انجام شده است (Emam & Nicknezhad, 1994). سازگاری بیشتر برخی ارقام به تأخیر کشت به منزله آن است این ارقام با بهره‌گیری از سازوکارهای متفاوت، قدرت انعطاف‌پذیری و خود کنترلی بیشتری در پاسخ به تغییر شرایط محیطی دارند (Sharifi, 2016).

رنا و همکاران (Reena *et al.*, 2019) با بررسی اثر تأخیر در کاشت بر عملکرد گندم نشان دادند که یک ماه تأخیر در کاشت در منطقه‌ای در هند موجب کاهش ۲۲ تا ۲۴ درصدی عملکرد طی دو سال آزمایش شد که علت آن‌را گرمای انتهای فصل ذکر کردند. گرشاسبی و همکاران (Garshasbi *et al.*, 2019) به بررسی هشت رقم گندم با طول دوره رسیدگی مختلف و سازگار با مناطق اقلیمی متفاوت در چهار تاریخ کشت پرداختند. در بین ارقام مختلف رقم مهرگان بالاترین عملکرد را داشت که البته اختلاف معنی‌داری با رقم سیوند، حیدری، پیشگام و سیروان نشان نداد. در تاریخ کاشت ۲۰ مهرماه رقم حیدری و پیشگام (سازگار با اقلیم سرد تا معتدل) و در تاریخ کاشت ۵ آذر رقم مهرگان (سازگار با اقلیم گرم) بالاترین عملکرد را نشان دادند. جعفرنژاد (Jafarnejad, 2009) طی مطالعه‌ای دوساله روی تعیین مناسب‌ترین تاریخ کاشت برای ارقام مختلف گندم نان دارای تیپ‌های متفاوت رشد در نیشابور گزارش نمود که اثر تاریخ کاشت بر تعداد سنبله در متر مربع، وزن تک دانه، ارتفاع بوته و تعداد روز تا ظهور سنبله معنی‌دار بود، ولی اثر آن بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود که علت اصلی آن به شرایط آب و هوایی متفاوت طی سال‌های مطالعه نسبت داده شد. محققان با بررسی اثر سه تاریخ کاشت (یک تاریخ کاشت به هنگام و دو تاریخ کاشت دیرهنگام) بر ۱۳ ژنوتیپ گندم بهاره در شرایط مکزیک بیان داشتند که با تأخیر در کاشت، تعداد روز تا گرده‌افشانی، تعداد روز تا رسیدگی، ماده خشک، عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در مترمربع و وزن هزار دانه کاهش ولی شاخص برداشت افزایش یافت (Ayeneh *et al.*, 2002).

زمان کشت، مراحل فنولوژیکی گیاه و تولید زیست‌توده کل را کنترل می‌کند و در کارایی تبدیل زیست‌توده به عملکرد مؤثر است (Khichar & Niwas, 2006).

فنولوژی و سرعت نمو به دلیل تأثیر بر طول دوره و زمان وقوع مراحل مختلف نمو و به تبع آن شرایط محیطی حاکم بر هر یک از این مراحل، نقطه کلیدی سازگاری با شرایط متنوع محیطی از جمله تأخیر کاشت است. زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیکی (نموی) گیاه گندم و نیز طول این مراحل از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد آن می‌باشد. شناخت و آگاهی از تنوع ژنتیکی برای مراحل مختلف نموی و نیز رابطه آن‌ها با توان تولید در طیف وسیعی از ارقام گندم زمینه موفقیت هرچه بیشتر محققان اصلاح نبات را در تولید ارقام گندم با پتانسیل عملکرد بالا فراهم خواهد ساخت (Motzo & Giunta, 2007). با توجه به متغیر بودن دما و طول روز استفاده از شاخص درجه روز رشد (GDD) جهت تعیین دقیق مراحل مختلف فنولوژی گیاه ضروری است، زیرا میزان انرژی گرمایی مورد نیاز هر مرحله فنولوژی در سال‌های مختلف ثابت است. این شاخص توصیف‌کننده تجمع حرارتی مورد نیاز برای رسیدن به یک مرحله خاص از فنولوژی گیاه است که در مدل‌های پیش‌بینی مراحل رشد، تاریخ کاشت و زمان برداشت به‌کار گرفته می‌شود (Wypych *et al.*, 2017).

سگلار و همکاران (Ceglar *et al.*, 2011) بیان داشتند کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های گندم در واکنش به شرایط محیطی، ناشی از تغییرات مراحل نمو و رابطه آن‌ها با عملکرد است. نتایج تحقیق شریفی (Sharifi, 2016) بر روی واکنش مراحل فنولوژیکی و عملکرد ارقام گندم نان به تأخیر کاشت نشان داد که تأخیر کاشت از ۲۰ به مهر به ۲۰ آذر سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد و همچنین موجب کاهش طول دوره‌های رویشی، زایشی و همچنین طول دوره پر شدن دانه شد. ایشان بیان کرد تأخیر در کاشت طول دوره رشد را از طریق کاهش تمامی مراحل اصلی نمو اتفاق افتاده، اما کاهش طول دوره رویشی در تیپ زمستانه به مراتب بیشتر از تیپ‌های بینابین و بهاره بود، در حالی‌که اثر تأخیر کاشت بر کاهش طول دوره زایشی قبل از گرده‌افشانی در تیپ بهاره بیشتر از بینابین و زمستانه بود. جلال کمالی و همکاران (Jalal-Kamali *et al.*, 2007) با بررسی مراحل فنولوژیکی ۲۰ رقم گندم سازگار به مناطق مختلف ایران گزارش کردند که طول دوره مراحل مختلف نمو در ارقام سازگار با اقلیم‌های مختلف با یکدیگر متفاوت است. آن‌ها همچنین اعلام کردند که میانگین طول دوره مرحله رویشی (از کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه) در ارقام اقلیم سرد و معتدل سرد طولانی‌ترین و در ارقام سازگار به شرایط دیم اقلیم شمال کوتاه‌ترین بود. در نهایت آن‌ها نتیجه گرفتند که ارقام اقلیم سرد و معتدل سرد عمدتا از طریق دوره کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه چرخه زندگی طولانی‌تری نسبت به ارقام اقلیم‌های معتدل، گرم و مرطوب شمال و گرم و خشک جنوب داشتند. نتایج مطالعه‌ای روی بررسی تأثیر زمان کاشت برطول مراحل فنولوژیکی گندم و رابطه آن با میزان تولید در منطقه گرگان نشان داد که زمان کاشت به دلیل تأثیر بر سازگارپذیری مراحل مهم نمو گیاه با مناسب‌ترین متغیرهای محیطی (همچون تشعشع دریافتی و درجه حرارت)، به‌طور معنی‌داری بر میزان تولید محصول اثرگذار است (Ahmadi *et al.*, 2012).

از جمله مهم‌ترین عوامل زراعی جهت انطباق مراحل رشد و نمو گندم به منظور استفاده هرچه بیشتر از عوامل اقلیمی و دستیابی به سطح مطلوبی از عملکرد انتخاب تاریخ کاشت مناسب و انتخاب ارقام سازگار و پر محصول می‌باشد (Salamat, 2009).

بنابراین با توجه به اهمیت گیاه گندم و لزوم شناخت ارقام سازگار در هنگام تأخیر در کاشت که امری اجتناب‌ناپذیر در شرایط تغییر اقلیم کنونی می‌باشد، شناخت ارقام سازگار با عادت‌های رشدی مختلف در این شرایط، جهت آگاهی کارشناسان کشاورزی و همچنین کشاورزان منطقه لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این تحقیق با هدف شناخت بیشتر تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی ارقام جدید گندم نان با عادت‌های مختلف رشد و بررسی امکان معرفی ارقام سازگار با کشت تأخیری در منطقه طراحی و اجراشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در دو سال زراعی (۹۷-۱۳۹۶ و ۹۸-۱۳۹۷) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج (طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا) اجرا شد. این تحقیق در دو آزمایش جداگانه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تاریخ کاشت مطلوب (تاریخ کاشت عرف منطقه) (۱۵ آبان) و کشت تأخیری (۱۵ آذر) بر روی ۱۰ رقم گندم نان اجرا شد. ارقام آزمایش از نظر رسیدگی شامل سه گروه: ارقام زمستانه و بینابین دیررس سازگار با مناطق سرد (پیشگام و حیدری)، ارقام بهاره متوسطرس سازگار با مناطق معتدل (رخشان، سیوند، پارسی، بهاران و سیروان) و ارقام بهاره زودرس سازگار با مناطق گرم (مهرگان، چمران و چمران ۲) بودند. خصوصیات ارقام مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است. استان البرز از نظر اقلیمی جزو مناطق معتدل سرد طبقه‌بندی شده است. تغییرات دما و بارندگی در طول فصل رشد گندم در دو سال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است. لازم به ذکر است مبنای انتخاب ارقام متفاوت بودن طول دوره رشدی آن‌ها جهت بررسی و مقایسه در شرایط تأخیر در کاشت بود. قطعه آزمایشی مورد کشت در هر دو سال در سال قبل از اجرای آزمایش به‌صورت آیش بود. در شهریور عملیات آماده‌سازی انجام شد. ابتدا یک نوبت شخم، یک نوبت دیسک، دو نوبت لولر عمود بر هم، کودپاشی و ایجاد فارو انجام شد. در هر دو سال قبل از کشت، نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری با استفاده از اوگر تهیه و برای تعیین خصوصیات فیزیکی-شیمیایی به آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب منتقل شد. جدول ۲ خصوصیات خاک محل آزمایش (دو سال) را نشان می‌دهد.

کاشت با استفاده از بذرکار خطی‌کار آزمایشی وینتراشتایگر[1] (Plotman, 2100) انجام شد. هر واحد آزمایشی به طول ۷ متر و به عرض ۲/۴۸ متر شامل چهار پشته هر یک با عرض ۶۲ سانتی‌متر و سه خط کاشت بر روی هر پشته بود که بذر ارقام یاد شده با تراکم ۴۰۰ بوته در متر مربع کشت شدند. بین کرت‌ها یک پشته نکاشت فاصله در نظر گرفته شد. ضدعفونی بذور با قارچ‌کش ویتاواکس تیرام به نسبت دو در هزار قبل از کاشت انجام شد. در طول فصل رشد به‌منظور مبارزه با علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ مخلوطی از علف‌کش‌های گرانستار و پوماسوپر به‌ترتیب به مقدار ۲۰ گرم و یک لیتر در هکتار در مرحله پنجه‌زنی تا ساقه رفتن استفاده شد.

1- Wintersteiger

جدول ۱- برخی از خصوصیات ارقام گندم مورد مطالعه

Table 1- Some characteristics of studied wheat cultivars

شماره No.	رقم Cultivar	عادت رشد Growth habit	مناطق مناسب کاشت Suitable growing regions	گروه رسیدگی Maturity group
1	پیشگام Pishgam	بینابین Facultative	اقلیم سرد Cold climate	نسبتا دیردرس Relatively late maturity
2	حیدری Heidari	بینابین Facultative	اقلیم سرد Cold climate	دیررس Late maturity
3	رخشان Rakhshan	بهاره Spring	اقلیم معتدل Temperate climate	متوسط رس Medium maturity
4	سیوند Sivand	بهاره Spring	اقلیم معتدل Temperate climate	متوسط رس Medium maturity
5	بهاران Baharan	بهاره Spring	اقلیم معتدل Temperate climate	متوسط رس Medium maturity
6	سیروان Sirvan	بهاره Spring	اقلیم معتدل Temperate climate	متوسط رس Medium maturity
7	پارسی Parsi	بهاره Spring	اقلیم معتدل Temperate climate	زودرس Early maturity
8	مهرگان Mehregan	بهاره Spring	اقلیم گرم و خشک Warm and dry climate	زودرس Early maturity
9	چمران۲ Chamran2	بهاره Spring	اقلیم گر م و خشک Warm and dry climate	زودرس Early maturity
10	چمران Chamran	بهاره Spring	اقلیم گر م و خشک Warm and dry climate	زودرس Early maturity

جدول ۲- خصوصیات فیزیکو-شیمیایی خاک محل آزمایش در دو سال زراعی

Table 2- Physico- chemical properties of soil of experimental site

سال Year	بافت خاک Soil texture	پتاسیم قابل جذب Available potassium ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل جذب Available phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	درصد نیتروژن کل Total Nitrrogen (%)	pH	EC ($dS.m^{-1}$)
1396-97	لوم Loam	206	8.5	0.57	0.05	7.9	2.12
1397-98	لوم Loam	200	7.6	0.44	0.04	7.8	1.7

برای تعیین مراحل فنولوژیکی هر ۶-۴ روز، سه گیاه به‌صورت تصادفی از هر کرت انتخاب و مرحله نمو آن‌ها بر اساس دستورالعمل کربی و اپل یارد (Kerby and Appleyard, 1987) تعیین شد. این مراحل شامل: ۱- سبز شدن، ۲- تشکیل برجستگی دوگانه، ۳- تشکیل سنبلچه انتهایی، ۴- گرده‌افشانی و ۵- رسیدگی فیزیولوژیکی بود.

درجه روز-رشد (Growing Degree Days= GDD) بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد.

$$GDD = \sum(T_{mean} - T_b) \quad (۱)$$

که در آن Tb: دمای پایه گندم (معادل صفر درجه سانتی‌گراد)، Tmean: میانگین تصحیح شده درجه حرارت هستند (دمای حداکثر و حداقل به‌ترتیب بر اساس دمای ۳۰ و صفر درجه سانتی‌گراد تصحیح شدند).

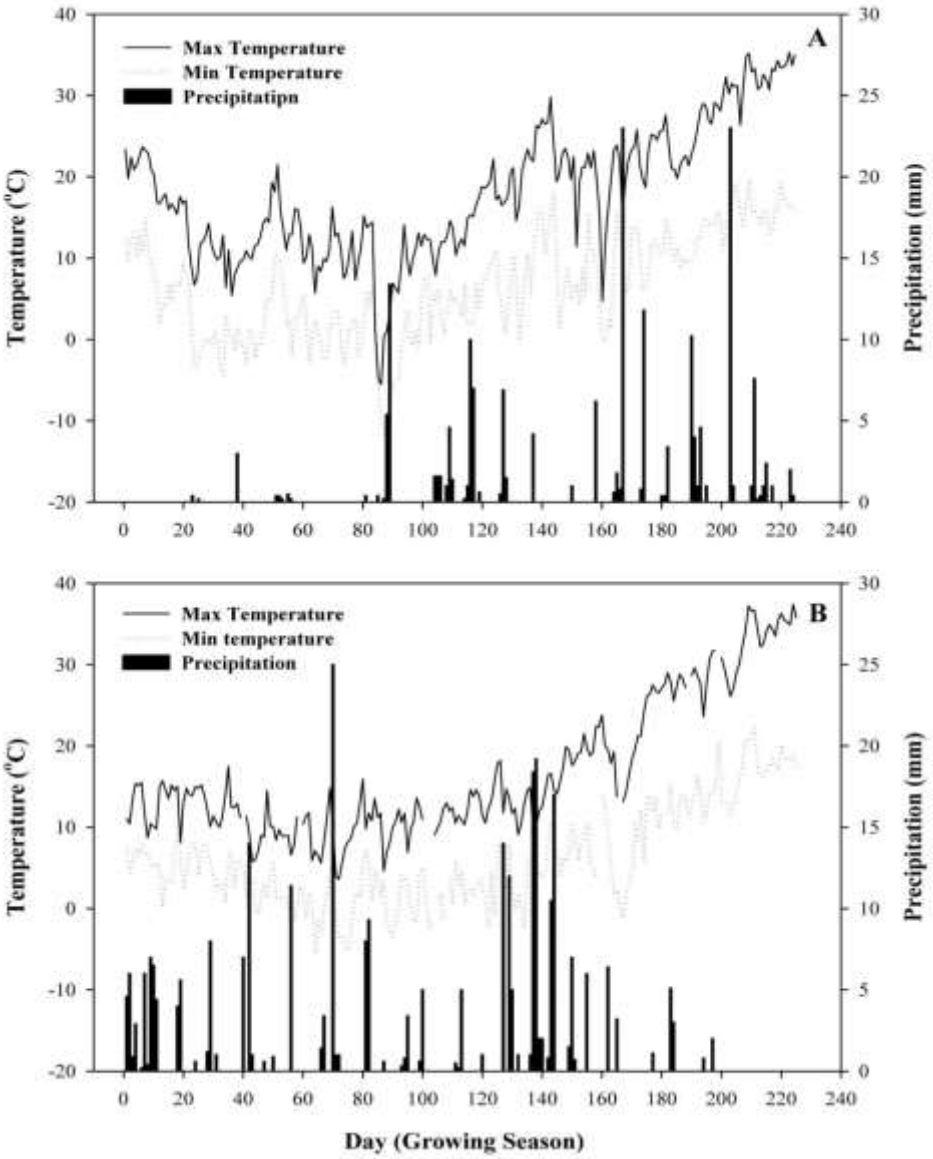
به منظور اندازه‌گیری عملکرد نهایی پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، توسط کمباین وینتراشتایگر مخصوص آزمایش‌ها (مدل ۲۰۱۵) از خطوط وسط برداشت نهایی صورت گرفت. برای تعیین اجزای عملکرد از هرکرت به‌طور جداگانه نمونه‌ای به مساحت نیم مترمربع برداشت و به آزمایشگاه منتقل و اجزای عملکرد شامل تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها براساس تجزیه مرکب

در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن در سطح احتمال یک درصد انجام شد. شکل‌ها توسط نرم‌افزار Sigmaplot نسخه ۱۲ رسم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله نشان داد که اثر رقم، تاریخ کاشت و اثر متقابل آن‌ها بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه (تعداد سنبله در مترمربع، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه) بسیار معنی‌دار ($p<0.01$) بود (جدول ارائه نشده است).



شکل ۱-روند تغییرات درجه حرارت و بارندگی طی دوره کاشت تا برداشت (A: ۱۳۹۶-۹۷، B: ۱۳۹۷-۹۸)

Figure 1- Variation trend in temperature and precipitation during planting to harvest (A: 2017-18, B: 2018-19)

عملکرد دانه: مقایسه میانگین‌های عملکرد دانه نشان داد که با تأخیر در کاشت میانگین عملکرد دانه از ۷۴۸۵ کیلوگرم در هکتار در تاریخ کاشت اول به ۶۰۶۶ کیلوگرم در هکتار کاهش یافت (جدول ۳). نتایج حاکی از این بود که تأخیر در کاشت باعث کاهش حدود ۱۸

درصدی عملکرد دانه شد (جدول ۳). فتحی و همکاران (Fathi *et al.*, 2001) کاهش عملکرد دانه گندم دوروم را با تأخیر در کاشت از ۱۵ مهر تا ۱۵ آبان گزارش کردند. فلاورز و همکاران (Flowers *et al.*, 2006) در مطالعه اثر تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه دو رقم گندم گزارش کردند که تاریخ کاشت اثر زیادی بر عملکرد داشته و تأخیر در تاریخ کاشت، عملکرد دانه را ۲۴ درصد کاهش داد.

بررسی نتایج در بین ارقام گندم مورد بررسی طی دو سال زراعی حاکی از آن بود که ارقام سازگار با اقلیم سرد و معتدل عملکرد بالاتری نسبت به اقلیم گرم نشان دادند (جدول ۳). به‌طوری‌که رقم پیشگام (۷۴۳۶ کیلوگرم در هکتار) بالاترین عملکرد را داشت که تفاوت معنی‌داری با رقم رخشان (۷۳۹۷ کیلوگرم در هکتار) نشان نداد و کمترین عملکرد دانه در رقم چمران (۵۸۴۲ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳). دونمز و همکاران (Donmes *et al.*, 2001) نیز طی مطالعه‌ای روی ارقام جدید گندم دریافتند که وجود تغییرات ژنتیکی بین ژنوتیپ‌های مختلف منجر به بروز اختلاف در عملکرد دانه شد.

بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر عملکرد دانه نشان داد که رقم پیشگام در تاریخ کاشت مطلوب با مقدار ۸۷۸۴ کیلوگرم در هکتار بالاترین عملکرد را داشت و کمترین عملکرد را رقم چمران در کشت تأخیری با میزان ۵۳۹۰ کیلوگرم در هکتار نشان داد (شکل ۲). همچنین بررسی عملکرد در دو تاریخ کاشت نشان داد که کاهش عملکرد در کشت تأخیری در ارقام مختلف بین ۱۳ تا ۳۰ درصد متغیر بود، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین درصد کاهش عملکرد به‌ترتیب مربوط به ارقام پیشگام (۳۰٪) و مهرگان (۱۳٪) بود در واقع ارقام گندم با تیپ رشد متفاوت و سازگار با مناطق مختلف، واکنش‌های متفاوتی به تاریخ کاشت نشان دادند. به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت درصد کاهش عملکرد در ارقام بهاره کمتر از ارقام بینابین بود (شکل ۲). با توجه به نتایج به نظر می‌رسد در صورت تأخیر در کاشت در منطقه، ارقام سازگار با اقلیم گرم از جمله مهرگان و چمران ۲ که ارقامی زودرس هستند جایگزین مناسبی نسبت به سایر ارقام باشند. نتایج پژوهش گرشاسبی و همکاران (Garshasbi *et al.*, 2019) با بررسی هشت رقم گندم با چهار تاریخ کاشت مختلف نشان داد که در صورت تأخیر در کاشت ارقام زودرس و سازگار با اقلیم گرم عملکرد بالاتری نسبت به ارقام سازگار با اقلیم سرد و معتدل داشتند. سوبدی و همکاران (Subedi *et al.*, 2007) در مطالعه خود گزارش دادند که در تاریخ کاشت دیرهنگام پر شدن دانه در گندم با گرمای آخر فصل مواجه می‌شود و در نتیجه باعث کاهش دوره پر شدن دانه و کاهش عملکرد می‌شود.

تعداد سنبله در مترمربع: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که طی دو سال زراعی با تأخیر در کاشت تعداد سنبله در مترمربع از ۶۹۸ به ۶۰۵ سنبله کاهش یافت (جدول ۳). بررسی نتایج اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت بر صفت مذکور حاکی از آن بود که بیشترین تعداد سنبله در مترمربع مربوط به رقم پیشگام (۷۷۳ سنبله) در تاریخ کاشت مطلوب و کمترین آن مربوط به رقم چمران (۵۶۰ سنبله) در کشت تأخیری بود (شکل ۲). نتایج بیانگر آن بود که با تأخیر در کاشت تعداد سنبله در مترمربع در ارقام مختلف بین ۶ تا ۲۳ درصد کاهش یافت، به‌طوری‌که بیشترین و کمترین آن به‌ترتیب در رقم پیشگام و سیروان مشاهده شد. با تأخیر در کاشت ارقام زودرس (ارقام سازگار با مناطق گرم) درصد کاهش تعداد سنبله در مترمربع کمتری از ارقام دیررس (ارقام سازگار با مناطق سرد) نشان دادند. تعداد سنبله در مترمربع یکی از اجزای مهم عملکرد در شکل‌گیری عملکرد نهایی می‌باشد. بنابراین به نظر می‌رسد هرچه تعداد سنبله بارور در واحد سطح افزایش یابد عملکرد نیز افزایش یابد. تاریخ کاشت نقش مهمی در تولید پنجه بارور و در نتیجه عملکرد گندم دارد. از طرفی عملکرد گندم تا حدود زیادی وابسته به پنجه بارور است و روزهای کوتاه و خنک باعث تحریک تعداد پنجه خواهد شد (Koocheki & Sarmadnia, 2000).

تعداد دانه در سنبله: مقایسه میانگین‌های اثر تاریخ کاشت بر تعداد دانه در سنبله نشان داد که تأخیر در کاشت موجب کاهش تعداد دانه در سنبله از ۲۸/۵ در تاریخ کاشت اول به ۲۵/۸ در کشت تأخیری شد (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین بین ارقام مختلف در صفت مذکور نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله مربوط به رقم پیشگام (۳۰/۲ دانه در سنبله) و کمترین آن مربوط به رقم بهاران (۲۵/۱ دانه در سنبله) بود که تفاوت معنی‌داری با ارقام پارسی و چمران نشان نداد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل تاریخ کاشت و رقم بر تعداد دانه در سنبله نشان داد که رقم پیشگام در تاریخ کاشت مطلوب بالاترین (عدم اختلاف معنی‌دار با رقم رخشان) و رقم بهاران در کشت تاخیری کمترین (عدم اختلاف معنی‌دار با رقم چمران) تعداد دانه را به خود اختصاص دادند (شکل ۲) به نظر می‌رسد ارقام پیشگام و رخشان با حداقل زمان بیشترین مخزن را ایجاد کرده‌اند. علت این امر رابطه جبرانی بین اجزای عملکرد دانه است، یعنی با کاهش یک جزء عملکرد و افزایش در اجزای دیگر عملکرد، تا حدودی کمبود آن جبران می‌شود (Jafarnezhad *et al.*, 2009).

وزن هزار دانه: مقایسه میانگین‌های دو ساله صفت وزن هزار دانه نشان داد که تأخیر در کاشت منجر به کاهش وزن هزار دانه از ۴۱/۱ به ۳۸/۴ گرم شد (جدول ۳). مقایسه میانگین وزن هزار دانه ارقام مختلف نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه مربوط به رقم مهرگان (۴۱/۳ گرم) بود که با رقم بهاران (۴۱/۰) در کلاس آماری a قرار گرفتند و کمترین وزن هزار دانه را رقم حیدری (۳۸ گرم) داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین دوساله اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت بر وزن هزار دانه نشان داد که بیشترین وزن هزار دانه متعلق به رقم

بهاران در تاریخ کاشت مطلوب (۴۳/۰ گرم) و کمترین آن متعلق به رقم حیدری (۳۶/۳ گرم) در کشت تأخیری بود (شکل ۲).

به نظرمی‌رسد دلیل کاهش وزن هزار دانه در کشت تأخیری عمدتاً به‌خاطر کاهش طول دوره هر یک از مراحل رشدی و در این میان از همه مهم‌تر طول دوره پر شدن دانه به دلیل عدم برخورداری از فاصله زمانی مناسب از مرحله بعد از گرده‌افشانی تا رسیدن و برخورد طول این دوره با گرمای آخر فصل باعث گردید طول دوره پر شدن دانه کاهش و به دنبال آن دانه‌ها چروکیده شوند و در نهایت وزن هزار دانه در تاریخ کاشت دیرهنگام کاهش یابد. در سوبان و همکاران (Subhan *et al*., 2004) با مطالعه اثر تاریخ کاشت بر گندم گزارش کردند که تأخیر در تاریخ کاشت گندم بیشترین اثر را در میان اجزای عملکرد بر روی وزن هزار دانه گندم داشت.

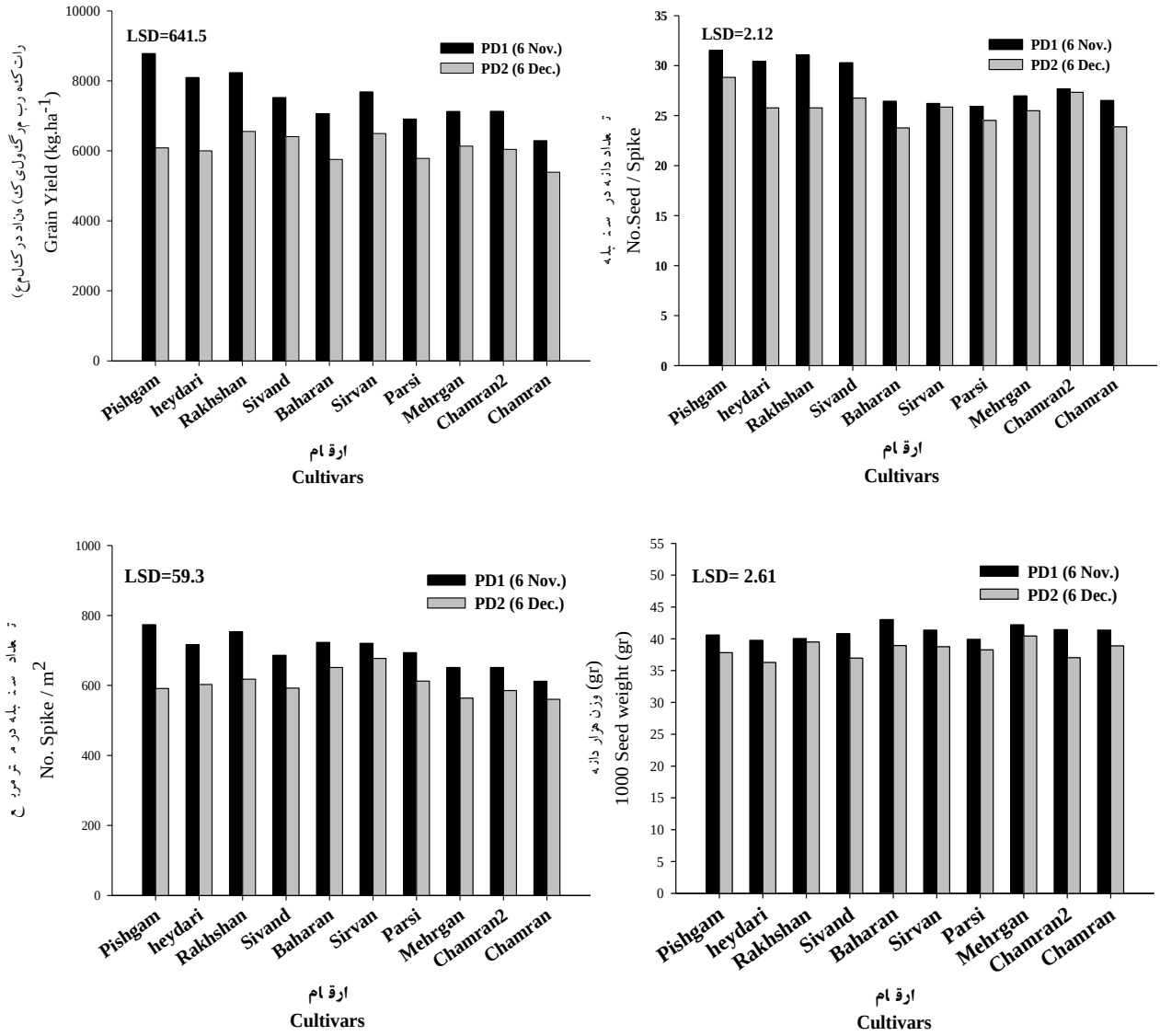
جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد اثرات اصلی تیمارهای آزمایش در دو سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۶

Table 3- 3 Mean comparison of main factor on yield and yield component in two cropping seasons (2017-2019)

تیمارها Treatments		عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	وزن هزار دانه 1000 grain weight (g)	تعداد دانه در سنبله Number of grain per spike	تعداد سنبله در مترمربع Number of spikes.m^{-2}
تاریخ کاشت Planting date	Nov.6 ۱۵ آبان	7485 a	41.1 a	28.5 a	698 a
	Dec.6 ۱۵ آذر	6066 b	38.4 b	25.8 b	605 b
رقم Cultivar	Pishgam پیشگام	7436 a	39.2 ab	30.2 a	682 a
	Heidari حیدری	7049 abc	38.0 b	28.1 ab	660 ab
	Rakhshan رخشان	7397 a	40.4 ab	28.4 a	685 a
	Sivand سیوند	6965 abc	38.9 ab	28.5 a	639 abc
	Bahahran بهاران	6410 d	41.0 a	25.1 c	687 a
	Sirvan سیروان	7090 ab	40.1 ab	26.0 bc	698 a
	Parsi پارسی	6349 d	39.1 ab	25.2 c	653 ab
	Mehregan مهرگان	6632 bcd	41.3 a	26.2 bc	607 bc
	Chamran2 چمران ۲	6586 cd	39.2 ab	28.6 a	618 bc
	Chamran چمران	5842 e	40.1 ab	25.2 c	586 c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

Means in each column and for each factor with a at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت بر عملکرد دانه و اجزای عملکرد در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۱۳۹٦) (PD1: تاریخ کاشت مطلوب؛ PD2: کاشت تأخیری)

Figure 2- Mean comparison of interaction effect of cultivar and planting date on grain yield and yield component in two cropping seasons (2017-2019). (PD1: optimum planting date; PD2: delayed planting date).

مراحل فنولوژیک

تجزیه واریانس مرکب داده‌های دو ساله مراحل فنولوژیک نشان داد که تاریخ کاشت، ارقام و اثر متقابل آن‌ها بر مراحل مختلف نموی تأثیر معنی‌داری داشتند (نتایج ارائه نشده است). میانگین درجه-روز رشد برای رسیدن به مراحل مختلف نمو در تاریخ‌های کاشت و ارقام مورد بررسی در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر مقدار درجه-روز رشد لازم برای ظهور برجستگی دوگانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و با تأخیر کاشت این مقدار از ۷۳۶ درجه-روز رشد در تاریخ کاشت مرسوم به ۶۴۱ درجه-روز رشد در کشت تأخیری کاهش یافت (جدول ۴). شریفی (Sharifi, 2016) با بررسی سه تاریخ کاشت بر روی ارقام گندم با عادت‌های رشد متفاوت گزارش کرد که تغییرات درجه حرارت برای تأمین نیاز بهاره‌سازی در تاریخ کاشت اول (ابتدای پاییز) کافی نبود و این امر تأمین و تکمیل نیاز بهاره‌سازی تاریخ کاشت اول را عمدتا تا نیمه دوم پاییز (مصادف با تاریخ کاشت دوم و سوم) به تأخیر انداخته و این امر طولانی‌تر شدن ظهور برجستگی دوگانه در این تاریخ کاشت را به همراه داشت. کربی و همکاران (Kirby *et al.*, 1999) نیز با مطالعه

اثر تاریخ کاشت بر طول مراحل نمو ارقام گندم نشان دادند که تأخیر در کاشت سبب کاهش درجه-روز رشد لازم برای ظهور برجستگی دوگانه ارقام مورد بررسی شد و این کاهش را در ارتباط با تسریع تأمین نیاز بهاره‌سازی در کشت‌های تأخیری بیان نمودند.

تجزیه واریانس داده‌های طول دوره از کاشت تا برجستگی دوگانه در ارقام گندم مورد بررسی نشان داد که تفاوت بین ارقام در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (نتایج ارائه نشده است). ارقام پیشگام و چمران ۲ با ۷۶۳ و ۶۳۳ درجه-روز رشد به‌ترتیب بیشترین و کمترین نیاز حرارتی لازم برای رسیدن به مرحله ظهور برجستگی دوگانه را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). رقم پیشگام دارای عادت رشدی بینابین و سازگار با اقلیم سرد و رقم چمران ۲ رقمی با عادت رشد بهاره و سازگار با اقلیم گرم و با نیاز بهاره‌سازی پایین می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده است که طول دوره کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه در ارقام با عادت رشد زمستانه و بنیابین طولانی‌تر از ارقام بهاره می‌باشد (Jalal Kamali *et al*., 2007; Stefany, 1993) و این امر در ارتباط با نیاز بهاره‌سازی ارقام زمستانه و بینابین توجیه شده است به‌طوری‌که در تاریخ‌های کاشت زود، علت تأخیر در ظهور برجستگی دوگانه و طولانی‌تر شدن طول دوره رشد رویشی ارقام زمستانه و بینابین نسبت به ارقام بهاره این طور بیان شده است که حرارت بهینه برای تأمین نیاز بهاره‌سازی فراهم نبوده است. تفاوت مشاهده‌شده در بین ارقام بهاره از نظر درجه-روز رشد مورد نیاز تا مرحله ظهور برجستگی دوگانه نیز ممکن است به واکنش آن‌ها به عوامل محیطی (مانند طول روز و غیره) و اختلاف ژنتیکی آن‌ها نسبت داده شود (Acevedo *et al*., 2002).

نتایج تجزیه واریانس دو ساله نشان داد که درجه-روز رشد مورد نیاز برای ظهور سنبلچه انتهایی با تأخیر در کاشت، کاهش یافت و به‌عبارتی اثر تاریخ کاشت بر این مرحله نموی معنی‌دار بود. به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت درجه-روز رشد مورد نیاز از ۹۸۲ به ۸۸۶ درجه-روز رشد کاهش یافت (جدول ۴). همچنین مقایسه میانگین ارقام نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ارقام مختلف از نظر درجه-روز رشد مورد نیاز برای ظهور سنبلچه انتهایی بود (جدول ۴). همانطور که مشاهده می‌شود ارقام سازگار با اقلیم سرد برای رسیدن به مرحله ظهور سنبلچه انتهایی به درجه-روز رشد بیشتری نسبت به سایر ارقام مورد مطالعه نیاز دارند. به‌طوری‌که ارقام پیشگام و حیدری (۱۰۱۶ و ۱۰۱۴ درجه-روز رشد) بالاترین و رقم مهرگان (۸۵۶ درجه-روز رشد)که رقم زودرس و سازگار با اقلیم گرم است، کمترین درجه-روز رشد را برای رسیدن به مرحله نموی مذکور داشتند (جدول ۴).

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر تاریخ کاشت بر مقدار درجه-روز رشد لازم از کاشت تا مرحله گرده‌افشانی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود و با تأخیر در کاشت این مقدار از ۱۶۰۸ درجه-روز رشد در تاریخ کاشت مرسوم به ۱۴۵۷ درجه-روز رشد در کشت تأخیری کاهش یافت (جدول ۴). دوره کاشت تا گرده‌افشانی شامل دو مرحله رویشی (قبل از ظهور برجستگی دوگانه) و زایشی (برجستگی دوگانه تا گرده‌افشانی) می‌باشد. محققان نشان دادند که نیاز بهاره‌سازی مهم‌ترین عامل بر طول دوره رویشی و در دوره زایشی دما مؤثرترین عامل محیطی بر سرعت نمو می‌باشد (Slafer & Whitechurch, 2001). به نظر می‌رسد اثر تأخیر در کاشت بر کاهش دوره کاشت تا گرده‌افشانی از طریق کاهش طول دوره رویشی (تسریع نیاز بهاره‌سازی) و دوره زایشی (افزایش دما) رخ داده است.

فاصله زمانی بین ظهور سنبلچه انتهایی تا گرده‌افشانی یکی از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک اثرگذار بر عملکرد دانه گندم می‌باشد (Gonza Lez *et al*., 2003). کوتاه بودن این مرحله ممکن است موجب شود سایه‌انداز به خوبی شکل نگیرد در نتیجه تعداد پنجه‌های بارور در بوته و به دنبال آن تعداد سنبله در مترمربع کاهش یابد و بوته‌ها اندوخته مواد غذایی کافی برای استفاده در مرحله پر شدن دانه نداشته باشند و عملکرد کاهش می‌یابد. به عبارتی طول دوره زایشی قبل از گرده‌افشانی با عملکرد دانه همبستگی مثبت دارد (Jalal Kamali & Sharifi, 2010) و به نظر می‌رسد یکی از عوامل کاهش عملکرد دانه در کشت‌های تأخیری باشد.

نتایج مطالعه‌ای بر روی ارقام مختلف گندم نان نشان داد که با تأخیر در کاشت درجه- روز رشد برای صفت کاشت تا ظهور اولین برگ افزایش و برای صفات کاشت تا ظهور برگ پرچم، کاشت تا گرده‌افشانی و کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک کاهش معنی‌داری داشت (Sasani *et al*., 2019).

تجزیه واریانس مرکب داده‌های طول دوره از مرحله کاشت تا گرده‌افشانی نشان داد که اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت بر طول این مرحله در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (نتایج ارائه نشده است). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که رقم پیشگام در تاریخ کاشت مرسوم با ۱۷۵۱ درجه-روز رشد بالاترین و رقم چمران ۲ در کشت تأخیری با ۱۴۴۲ درجه-روز رشد کمترین نیاز حرارتی برای رسیدن به مرحله گرده‌افشانی را دارد (شکل ۳). با توجه به نتایج، در هر دو تاریخ کاشت مورد مطالعه طول این دوره در ارقام سازگار با اقلیم سرد و معتدل بیشتر از ارقام سازگار با اقلیم گرم بود (شکل ۳). البته قابل ذکر است در تاریخ کاشت تأخیری این تفاوت در ارقام مختلف بهاره معنی‌دار نبود.

در تاریخ کاشت تأخیری درجه-روز رشد مورد نیاز از مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی که در واقع دوره پرده شدن دانه می‌باشد، کمتر بود (از ۸۴۸ به ۸۰۸ درجه- روز رشد کاهش یافت) که این امر منجر به اثر منفی بر عملکرد دانه شد. طول دوره پر شدن دانه به موجب اثرگذاری بر وزن دانه، اهمیت زیادی در تعیین عملکرد دانه

گندم دارد و کاهش این دوره با کاهش عملکرد همراه می‌باشد. به نظر می‌رسد این امر یکی از دلایل احتمالی کاهش عملکرد ارقام مختلف در کشت تأخیری بود (جدول ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد که در دو تاریخ کاشت مورد مطالعه طول دوره رویشی در ارقام با تیپ رشد بینابین (پیشگام و حیدری) بیشتر و طول دوره زایشی تا قبل از گرده‌افشانی برابر با ارقام با تیپ رشد بهاره بود (شکل ۴). طول دوره پر شدن دانه (برحسب درجه-روز رشد) نیز در رقم پیشگام (۹۵۳ درجه-روز رشد) بالاترین و در رقم مهرگان (۷۴۷ درجه-روز رشد) کمترین مقدار بود (شکل ۴).

تجزیه واریانس مرکب داده‌های طول دوره از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک نشان داد که تفاوت بین تاریخ‌های کاشت، ارقام و اثر متقابل آن‌ها در سطح احتمال یک درصد معنی‌داری بود (نتایج ارائه نشده است). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که درجه- روز رشد از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در تاریخ کشت مرسوم و تأخیری به‌ترتیب برابر با ۲۴۵۶ و ۲۲۶۵ درجه روز بود که نشان داد ارقام مختلف گندم در کشت تأخیری، دوره زندگی خود را در دوره کوتاه‌تری کامل می‌کنند، زیرا فرآیند تجمع نشاسته که متأثر از فرآیند فتوسنتزی می‌باشد، در مدت زمان معین و بر اساس شرایط محیطی بدون توجه به زمان کاشت آن پایان می‌یابد (Hussain *et al*., 2012). نتایج پژوهشی نشان داد که زمان رسیدگی فیزیولوژیک متناسب با تأخیر در کاشت به تعویق نیفتاد به طوری که ۶۰ روز تأخیر در کاشت منجر به ۶ روز تأخیر در رسیدگی فیزیولوژیک شد (Sharifi, 2016). ایشان با بررسی تغییرات میانگین دما در مراحل مختلف نمو بیان کردند که میانگین دما در کشت تأخیری در دوره رویشی کمتر و در دوره رشد زایشی و پر شدن دانه بیشتر از تاریخ کشت اول (مرسوم) بود. که این امر سبب کاهش دوره رشد رویشی، دوره رشد زایشی و پر شدن دانه گندم شد. مطالعات بسیاری نشان دادند که تاریخ کاشت تأثیر زیادی بر مراحل رشد و نمو گیاه دارد، به طوری که تغییر در زمان کاشت موجب تغییر شدید در طول مراحل نمو شد (Ashena *et al*., 2016). محققان دیگر نیز افزایش دمای تجمعی تاریخ کاشت بهینه را در همه مراحل فنولوژیک گندم نسبت به تاریخ کاشت‌های تأخیری گزارش کردند (Sikder, 2009).

جدول ٤- مقایسه میانگین مراحل فنولوژیک تحت تأثیر تاریخ کاشت و رقم در دو سال زراعی (۱۳۹٦-۱۳۹۸)

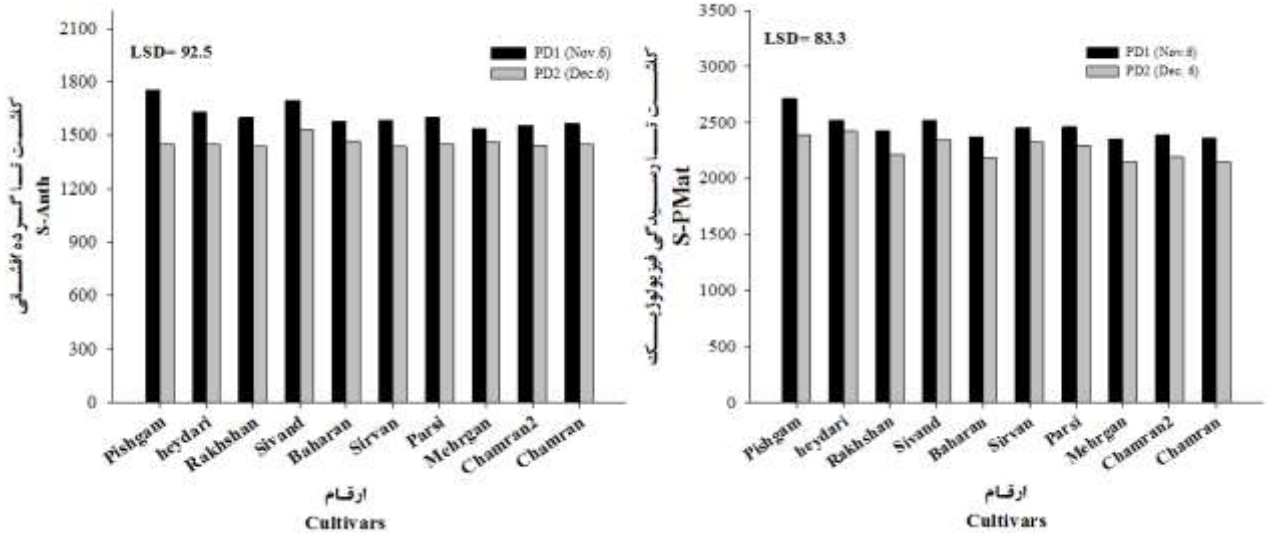
Table 4- Mean comparison of duration of phenological stage as affected by sowing date and cultivars in two cropping seasonds (2017-2019)

تیمارها Treatments		کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه *S-DR	کاشت تا ظهور سنبلچه انتهایی S-TS	کاشت تا گرده‌افشانی S-Anth	کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک S-PMat
تاریخ کاشت Planting date	Nov. 6 ۱۵ آبان	736 a	982 a	1608 a	2456 a
	Dec. 6 ۱۵ آذر	641 b	886 b	1457 b	2265 b
رقم Cultivar	Pishgam پیشگام	763 a	1016 a	1600 ab	2552 a
	Heidari حیدری	735 ab	1014 a	1539 bc	2469 b
	Rakhshan رخشان	670 c-f	893 cd	1520 c	2320 de
	Sivand سیوند	683 cde	964 ab	1613 a	2432 bc
	Bahahran بهاران	688 cd	907 bcd	1520 c	2276 e
	Sirvan سیروان	699 bcd	927 bc	1507 c	2387 cd
	Parsi پارسی	713 bc	932 bc	1524 c	2380 cd
	Mehregan مهرگان	642 ef	856 d	1500 c	2251 e
	Chamran2 چمران ۲	633 f	874 cd	1498 c	2290 e
	Chamran چمران	662 def	961 ab	1508 c	2256 e

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل، بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۱٪ تفاوت معنی‌داری ندارند.

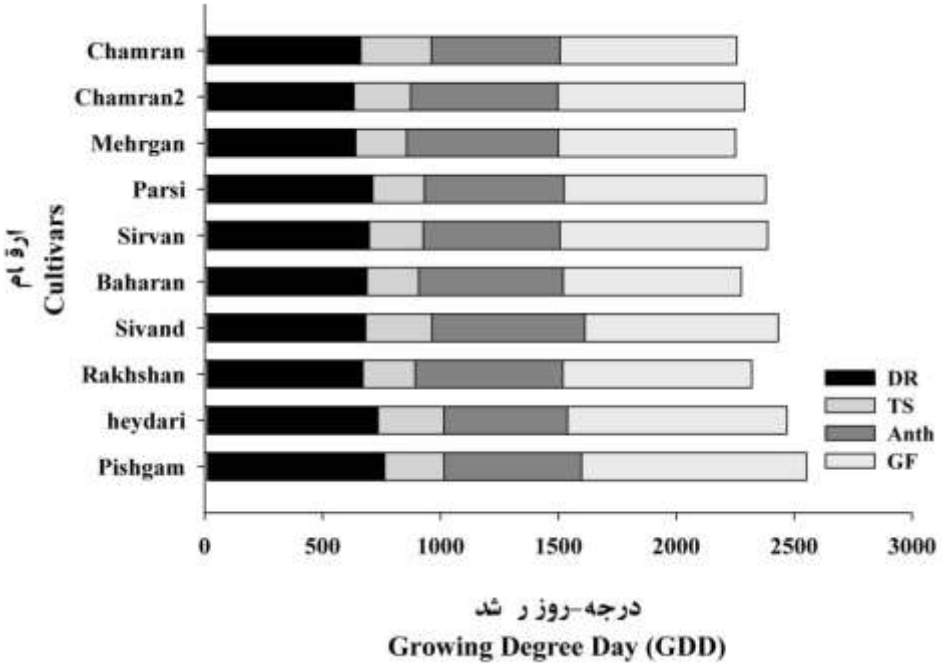
Means in each column and for each factor with a at least one letter in common are not significantly different at the 1% probability level.

* S-DR: Sowing to double ridge; S-TS: Sowing to terminal spiklet; S-Anth: Sowing to Anthesis; S-PMat: Sowing to physiological maturity.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تاریخ کاشت و رقم بر طول مراحل فنولوژی در دو سال زراعی (۹۸-۱۳۹۶) (PD1: تاریخ کاشت مطلوب؛ PD2: کاشت تأخیری؛ S-Anth: مرحله کاشت تا گرده‌افشانی، S-PMat: مرحله کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک).

Figure 3- Mean comparison of planting date and cultivar interaction effect on phenological stage in two cropping seasons (2017-2019). (PD1: optimum planting date; PD2: delayed planting date; S-Anth: planting to Anthesis stage, S-Mat: planting to Maturity stage).



شکل ٤- طول مراحل مختلف نمو در ارقام گندم نان (DR: کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه (دوره رویشی)؛ TS: ظهور برجستگی دوگانه تا ظهور سنبلچه انتهایی؛ Anth: ظهور سنبلچه انتهایی تا گرده‌افشانی؛ GF: دوره پر شدن دانه).

Figure 4- Duration of different developmental stages in bread wheat cultivars (DR: planting to double ridge; TS: double ridge to terminal spiklet; Anth: terminal spiklet to Anthesis; GF: grain filling stage).

طول دوره کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در ارقام گندم مورد مطالعه معنی‌دار بود. به طوری که رقم پیشگام با ۲۵۵۲ درجه-روز

رشد بیشترین و رقم مهرگان با ۲۲۵۱ درجه-روز رشد کمترین (تفاوت معنی‌داری با ارقام چمران و چمران ۲ نداشت) طول دوره را داشتند (جدول ۴). بررسی مقایسه میانگین اثر متقابل رقم و تاریخ کاشت نیز نشان داد که رقم پیشگام در تاریخ کاشت مرسوم (۲۷۱۲ درجه روز رشد) بالاترین و رقم مهرگان در تاریخ کاشت تأخیری (۲۱۴۶ درجه-روز رشد) کمترین طول دوره رشد را به خود اختصاص دادند (شکل ۳).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که تأخیر در کاشت منجر به کاهش عملکرد دانه گندم حدود ۱۸ درصد شد. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد کاهش تعداد سنبله بارور در واحد سطح (کاهش حدود ۱۳ درصد در تاریخ کشت تأخیری نسبت به تاریخ کشت مطلوب) مؤثرترین جزء در تغییرات عملکرد بود. به‌طوری‌که با تأخیر در کاشت گیاه فرصت کافی برای پنجه‌زنی مناسب ندارد. برای تشکیل اجزای عملکرد دانه که در نهایت تعیین‌کننده عملکرد نهایی می‌باشند، طول دوره‌های مختلفی نموی بسیار مهم هستند، اگرچه این مراحل یک صفت ژنتیکی است اما تحت تأثیر شرایط رشد گیاه و تنش‌های محیطی، عوامل آب و هوایی به‌ویژه دمای محیط و طول روز قرار می‌گیرند. با توجه به نتایج این پژوهش قابل ذکر است در کشت تأخیری درجه- روز رشد مورد نیاز برای رسیدن به مرحله برجستگی دوگانه، ظهور سنبلچه انتهایی، گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک کمتر از تاریخ کاشت مطلوب بود. بنابراین اثر تاریخ کاشت بر کاهش طول دوره رشد ارقام گندم از طریق کاهش تمامی مراحل اصلی نمو به‌خصوص دوره رشد رویشی (کاشت تا ظهور برجستگی دوگانه) ایجاد شده است که یک کاهش ۱۳ درصدی را نسبت به تاریخ کشت مطلوب نشان داد. کاهش دوره رشد رویشی به معنای کاهش تولید تعداد برگ و تعداد پنجه‌ها می‌باشد. مقایسه میانگین مراحل نموی در ارقام مختلف گندم نیز نشان داد که بالاترین درجه- روز رشد لازم برای رسیدن به مرحله برجستگی دوگانه، سنبلچه انتهایی و رسیدگی فیزیولوژیک متعلق به رقم پیشگام (به‌ترتیب ۷۶۳، ۱۰۱۶، ۲۵۵۲ درجه- روز رشد) بود و کمترین درجه- روز رشد برای مرحله ظهور برجستگی دوگانه (۶۳۳ درجه-روز رشد) مربوط به رقم چمران ۲ بود، در حالی‌که کمترین درجه- روز رشد برای ظهور سنبلچه انتهایی و رسیدگی (به‌ترتیب ۸۵۶ و ۲۲۵۱ درجه-روز رشد) در رقم مهرگان مشاهده شد. نیاز حرارتی ارقام سازگار با اقلیم سرد با عادت رشدی بینابین بیشتر از سایر ارقام بود. به نظر می‌رسد این ارقام برای انتقال از مرحله رویشی به زایشی نیازمند یک دوره سرما به نام بهاره‌سازی می‌باشند که تکمیل نشدن آن سبب تأخیر در شروع دوره زایشی می‌شود و این نیاز در ارقام مختلف بسته به عادت رشد آن‌ها متفاوت می‌باشد. براساس نتایج حاصل از این پژوهش در صورت تأخیر در کشت در منطقه کرج و مناطق اقلیمی مشابه برای دستیابی به عملکرد دانه مناسب ارقام زودرس از جمله مهرگان و چمران ۲ و رقم متوسطرس سیوند توصیه می‌شود تا کمترین میزان کاهش محصول حاصل شود.

References

1. Acevedo, E., Silva, P., & Silva, H. (2002). *Wheat growth and physiology*. Pp. In: Curtis, B. C., Rajaram, S., and Gomez Macpherson, H. (Eds.) Bread Wheat. Improvement and Production. Food and Agriculture Organization of the United Nation Rome 39-70.
2. Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., Zenali, E., & Abrabameri, R. (2012). The effect of planting date on duration of phonological phases in wheat cultivars and its relation with grain yield. *Journal of Plant Production*, *17*(2), 109-122. (in Persian with English abstract).
3. Ahmadi, K., Ebadzadeh, H., Hatami, F., Abdshah, H., & Kazemian, A. (2019). https://www.maj.ir/Dorsapax/userfiles/Sub65/Amarnamehj194-95-site.pdf. (in Persian).
4. Ashena, M., Kafi, M., Jafarnezhad, A., & Sharifi, H. R. (2016). Evaluation of planting date and nitrogen effects on the development stages of wheat cultivars and their relationship with yield and yield components in Nishabur. *Journal of Crop Production*, *8*(4), 143-162. (in Persian with English abstract). https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.4.8.4
5. Ayeneh, Gh. A., Van-Ginkel, M., Reynolds, M., & Ammar, K. (2002). Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. *Field Crops Reserch*, *79*, 173-184. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(02)00138-7
6. Ceglar, A., Črepinsek, Z., Kajfez-Bogataj, L., & Pogacar, T. (2011). The simulation of phenological development in dynamic crop model: The Bayesian comparison of different methods. *Agricultural and Forest Meteorology*, *151*(1), 101-115. https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2010.09.007
7. Donmez, E.; Sears, R. G.; Shroyer, J. P., & Paulsen, G. M. (2001). Genetic gain in yield attributes of winter wheat in the great plain. *Crop Science*, *41*, 100-106.
8. Equiza, M. A., Mirave, J. P., & Tognetti, J. A. (1997). Differential inhibition of shoot vs. root growth at low temperature and its relationship with carbohydrate accumulation in different wheat cultivars. *Annals of Botany*, *80*,

657-663. https://doi.org/10.1006/anbo.1997.0503
9. Emam, Y., & Niknejad, M. (1994). *An Introduction to the Physiology of Crop Yield*. Shiraz University Press. Shiraz, Iran. 571pp. (in Persian).
10. Ezatahmadi, M. (2011). *Effect of planting date on yield and some phonological traits of bread wheat lines/cultivars*. Proceedings of the 13th Iranian Crop Science Congress and 3rd Iranian Seed Science and Technology Conference, Karaj, Iran. (in Persian with English abstract).
11. Faragee, H., Godarzi, A., Owliaiee, H. R., & Azimi Gandoman, M. (2013). Yield of Assessraent Some Wheat Cultivars to Planting Date in Noorabad Mammasani. *Journal of Plant Production, 35*(4), 29-42. (in Persian with English abstract).
12. Fateh, Sh., Rasouli, A., Sari Saraf, B., & Kamali, Gh. A. (2016). Study on GDD for wheat growing season period in Iran. *Journal of Climate Research, 27*, 1-9. (in Persian with English abstract).
13. Fathi, G., Siadat, S. A., Rossbe, N., Abdali-Mashhadi, A. R., & Ebrahimpoor, F. (2001). Effect of planting date and seed density on yield components and grain yield of wheat Dena cultvar in Yassoj conditions. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, 8*(3), 23-31. (in Persian with English abstract).
14. Flowers, M., James, C., Petrie, S., Machado, S., & Rhinhart, K. (2006). Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties results from the 2005-2006 cropping year. *Agricultural Research, 12*(2), 72-74.
15. Garshasbi, L., Paknejad, F., Jasemi, S. S., Nabi Ilkaee, M., & Sanjani, S. (2019). Evaluation of quantitative traits of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars in different planting dates. *Journal of Agroecology, 12*(4), 703-721. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/agry.2021.37597
16. Hussain, M., Farooq, M., Shabir, G., Khan, M. B., Zia, A. B., & Lee, D. J. (2012). Delay in planting decreases wheat productivity. *International Journal of Agriculture and Biology, 14*, 533-539.
17. Jafarnezhad, A. (2009). Determination of optimum sowing date for bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars with different flowering habits in Neishabour. *Seed and Plant Production Journal, 25*(2), 117-135. (in Persian with English abstract).
18. Jafarnezhad, A., & Sharif-al-hosseini, M. (2011). Response of spring wheat cultivars to different planting dates in Neishabour. *Iranian Journal of Field Crops Research, 8*(6), 983-994. (in Persian with English abstract).
19. Jalal Kamali, M. R., Sharifi, H. R., Khodarahmi, M., Jokar, R., Torkaman, H., & Ghavidel, N. (2007). Variation in developmental stages and its relationships with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions: I. Phenology. *Seed and Plant, 23*(4), 445-472. (in Persian with English abstract).
20. Jalal Kamali, M. R., & Sharifi, H. R. (2010). Variation in developmental stages and its relationships with yield and yield components of bread wheat cultivars under field conditions: II- Yield and yield components. *Seed and Plant Production Journal, 26-2*(1), 1-23 (in Persian with English abstract).
21. Liu, S., Mo, X., Lin, Z. H., Xu, Y., Ji, J., Wen, G., & Richey, J. (2010). Crop yield responses to climate change in the Huang-Huai-Hai Plain of China. *Agricultural Water Management, 97*, 1195-1209.
22. Khichar, M. L., & Niwas, R. (2006). Microclimatic profiles under different sowing environments in wheat. *Journal of Agro meteorology, 8*, 201-209.
23. Kirby, E. J. M., Spink, J. H., Frost, D. L., Sylvester-Bradley, R., Scott, R. K., Foulkes, M. J., Clare, R. W., & Evans, E. J. (1999). A study of wheat development in the field: analysis by phases. *European Journal of Agronomy, 11*, 63-82. https://doi.org/10.1016/S1161-0301(99)00022-2
24. Koocheki, A. R., & Sarmadnia, G. H. (2000). *Plant Physiology*. Mashhad University publication. Iran.
25. Motzo, R., & Giunta, F. (2007). The effect of breeding on the phonology of Italian durum wheats: From landraces to modern cultivars. *European Journal of Agronomy, 26*, 462-470. https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.01.007
26. Reena, O. V., Chandra, S., Shankhdhar, S. C., & Gautam, P. (2019). Studies on phenological development and yield of wheat in relation To sowing dates, seed priming and foliar nutrition. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 8*(7), 2668-2678. https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.807.329
27. Salamat, N. (2009). Effect of planting date on yield and yield components of late Maturity wheat cultivars. *Crop Physiology, 1*(3): 37-50. (in Persian with English abstract).
28. Sharifi, H. R. (2016). Response of phenological development stages, grain yield and yield components of bread wheat cultivars with different growth habits to delayed planting. *Seed and Plant, 2*(32), 21-44. (in Persian with English abstract).
29. Sharratt, B. S. (1991). Shoot growth, root length density, and water use of barley grown at different soil temperature. *Agronomy Journal, 83*, 237-239.
30. Slafer, G. A., & Whitechurch, E. M. (2001). *Manipulating wheat development to improve adaptation*. In: Reynolds, M. P., Ortiz-Monasterio, J. I., and McNab, A. (Eds.) Application of physiology in wheat breeding. Mexico, D. F.: CIMMYT, Mexico.
31. Sikder, S. (2009). Accumulation heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. *Journal of Agriculture and Rural Development, 7*(1 & 2): 57-64. https://doi.org/10.3329/jard.v7i1.4422
32. Stefany, P. (1993). *Vernalization requirement and response to daylength in guiding development in wheat*. Wheat

Special Report No. 22, Mexico, DF, CIMMYT, Mexico. 37 pp.
33. Subedi, K. D., Ma, B. L., & Xue, A. G. (2007). Planting date and nitrogen effects on grain yield and protein content of spring wheat. *Crop Science*, *47*, 36-44. https://doi.org/10.2135/cropsci2006.02.0099
34. Suleiman, A. A., Nganya, J. F., & Ashraf, M. A. (2014). Effect of cultivar and sowing date on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) Khartoum, Sudan. *Journal of Forest Products and Industries*, *3*(4), 198-203.
35. Tollenaar, M. (1989). Response of dry matter accumulation in maize to temperature: I. Dry matter partitioning. *Crop Science*, *29*, 1239-1246.
36. Wypych, A., Sulikowska, A., Ustrnul, Z., & Czekierda, D. (2017). Variability of growing degree days in Poland in response to ongoing climate changes in Europe. *International Journal of Biometeorology*, *61*, 49-59. https://doi.org/10.1007/s00484-016-1190-3

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 467-480

Effect of end of Season Drought Stress on Morphology, Yield Components and Grain Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars

H. Aboodeh[1*], A. Bakhshandeh[2], M. R. Moradi Telavat[3], S. A. Siadat[4], S. A. Moosavi[5]

Received: 13-03-2022 Revised: 03-06-2022 Accepted: 05-06-2022	**How to cite this article:** Aboodeh, H., Bakhshandeh, A., Moradi Telavat, M. R., Siadat, S. A., & Moosavi, S. A. (2023). Effect of end of Season Drought Stress on Morphology, Yield Components and Grain Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research, 20*(4): 467-480. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75768.1152

Introduction

Water is now the main limiting factor for crop production in arid and semi-arid regions. Water-cut or irrigation interruption has been suggested as one of the main strategies agro-technique to get the most benefit from limited water resource available. In this regard, plant growth stage, time of stress induction and the genotype are the main key factors to determine the degree of success. Canola is one of the most important oil crop. It can survive some degree of water stress while there is a need for research to find the most appropriate genotypes for plantations in water-limited areas.

Materials and Methods

In order to determine the effect of water stress at the various growing stages of canola genotypes a split-plot experiment was conducted based on the randomized complete block design with three replications at the research farm of the department of plant production and genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Iran during 2020-2021. Main plots included three irrigation treatments: control (without interruption of irrigation), interruption of irrigation in the beginning of the flowering stage (phenology code 60) to the formation of 50% pods (phenology code 75), and interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest (Phenology code 99) in the main plots and the cultivars (Long pod, Aram, RGS 003, Jankom, Solar, Hayola 4815, Mahtab, Julius, Agamax and Sala) were arranged in sub-plots with respect to irrigation treatments. At the end of the growing season, plant height, number of branches, silique length, number of pods per plant, number of seeds per pod, 1000 grain weight, and grain oil percentage were measured. Also, after removing the marginal effect, economic performance, biological performance and harvest index were measured.

Results and Discussion

Our results revealed there was a significant interaction effect between irrigation interruption stress and genotype on all studied traits. The number of sub-branch among cultivars varies as a result of Irrigation interruption stress. The genotypes of the long pod and Hayola 4815 had the highest number of branches compared to other genotypes when irrigation was interrupted at the flowering stage up to 50%, while when applied stress at the stage of flowering up to harvest, genotype, solar exhibited the highest number of sub-branch. The lowest number of sub-branches in all interruption of irrigation and control treatments was obtained by

1- Ph.D. Student, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
2, 4- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
5- Assistant Professor, Department of Plant Production and Genetics, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: hana.abodeh@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75768.1152

Jankom genotype. The mean comparisons in the conditions without irrigation interruption (control) the highest percentage of seed oil was obtained from Solar (48.3%), Hayola 4815 and 4815 (46.3%), stress application in flowering stage up to 50% sowing of a long pod (45%) and Hayola 4815 (43%) genotypes in the sowing stress to harvest the highest percentage of seed oil from Sala and Long pod genotypes with average (44.3%) the lowest percentage of seed oil in all present treatments belonged to Jankom genotype. In the present study, the highest (2093.8 $kg.ha^{-1}$) and the lowest (540 $kg.ha^{-1}$) grain yield and the highest (986.51 $kg.ha^{-1}$) and the lowest (191.21 $kg.ha^{-1}$) grain oil yield in both conditions without irrigation interruption (control) and terminal drought stress were obtained from Hayola 4815 and Jankom genotypes, respectively.

Conclusion

The highest and the lowest grain yield, seed oil and biological yield were obtained from Hayola 4815 and Jankom, respectively. According to the results, Hayola 4815, long pod and Solar are highly recommended to cultivate in the regions where there is terminal water stress at the end of the growing season.

Keywords: Oil content, Reduction of grain yield, Spring rapeseed cultivars

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٤٨٠-٤٦٧

تأثیر تنش خشکی انتهای فصل رشد بر مورفولوژی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام کلزا (*Brassica napus* L.)

هنا عبوده[1*]، عبدالمهدی بخشنده[2]، محمدرضا مرادی تلاوت[3]، سید عطاالله سیادت[4]، سید امیر موسوی[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵

چکیده

این پژوهش جهت بررسی تأثیر قطع آبیاری انتهایی فصل رشد بر مورفولوژی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه ارقام کلزا در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان به اجرا درآمد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱. شاهد (بدون قطع آبیاری)، ۲. قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی (کد فنولوژی ۶۰) تا تشکیل ۵۰ درصد خورجین (کد فنولوژی ۷۵) و ۳. قطع آبیاری در مرحله تشکیل خورجین تا برداشت (کد فنولوژی ۹۹)) در کرت‌های اصلی و عامل فرعی شامل ۱۰ رقم (لانگ‌پاد، آرام، آر جی اس ۰۰۳، جانکوم، سولار، هایولا ۴۸۱۵، مهتاب، جولیوس، آگامکس و سالا) بودند. براساس نتایج برهمکنش قطع آبیاری و رقم به‌صورت معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد بر ویژگی‌های مورد بررسی، به‌جز تعداد دانه در خورجین، طول دوره رشد گلدهی و مجموع نیاز حرارتی گلدهی اثرگذار بود. بیشترین تعداد دانه در خورجین به تیمار بدون قطع آبیاری (۲۵/۳۳) و کمترین آن از تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی (۲۳/۶۳) حاصل شد. بیشترین (۲۰۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۵۴۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه و بیشترین (۹۸۶/۵۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۱۹۱/۲۱ کیلوگرم در هکتار) عملکرد روغن دانه در هر دو شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) و اعمال تنش خشکی انتهایی به‌ترتیب از ژنوتیپ‌های هایولا ۴۸۱۵ و جانکوم حاصل شد. براساس نتایج ارقام هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و سولار جهت کشت در شرایط قطع آبیاری مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: ارقام بهاره، جانکوم، درصد روغن، کاهش عملکرد دانه

مقدمه

عملکرد کلزا (*Brassica napus* L.) را می‌توان با رعایت اصول به‌زراعی و به‌نژادی، بهبود بخشید. گزینش ارقام کلزا بر اساس عملکرد دانه و روغن بالا، زودرسی و تحمل نسبت به تنش‌ها می‌باشد (Hu *et al.*, 2016). بدین منظور علاوه‌بر معرفی ارقام دارای عملکرد بالا، از حداکثر ظرفیت ژنتیکی ژنوتیپ‌های موجود در شرایط آب و هوایی مختلف می‌توان استفاده نمود. که بخشی از این هدف با به‌کارگیری روش‌های مدیریتی از جمله آبیاری در زمان مناسب به منظور ارتقای عملکرد کمی و کیفی کلزا قابل دستیابی است. تنش خشکی از جمله عواملی است که فرآیند توسعه و کشت کلزا را تحت تاثیر قرار می‌دهد. کلزا همانند گندم در هر دو شرایط آبی و دیم کشت می‌شود و در مراحلی از چرخه زندگی خود تنش خشکی را تجربه می‌کند. علی‌رغم بارش‌های مناسب در طی فصل پاییز، زمستان و اوایل بهار که نیاز آبی کلزای پاییزه را در خلال فصل رویشی تامین می‌کند، در بسیاری از مناطق کشور، طی بحرانی‌ترین مراحل نموی کلزا از جمله خورجین‌دهی و پر شدن دانه، ممکن است هیچ‌گونه نزولات آسمانی وجود نداشته باشد همچنین مراحل ذکر شده با شرایط آب و هوایی گرم اواخر بهار برخورد می‌کنند و نیاز آبی سایر محصولات زراعی بالا می‌باشد، بنابراین امکان طولانی شدن دورهای

۱، ۲، ۳، ۴ و ۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد، دانشیار، استاد و استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: hana.abodeh@yahoo.com)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75768.1152

آبیاری در طی مراحل حساس نمو محتمل‌تر خواهد بود. تاثیر تنش خشکی در طی مرحله گلدهی بر ویژگی‌های کمی و کیفی گیاهان زراعی نظیر کلزا به خوبی بررسی شده است (Ghassemi Ardestani *et al*., 2020; Seyed Ahmadi *et al*., 2016; Zareei Siahbidi & Rezaei Zad, 2019).

هنگامی که گیاه با کمبود آب مواجه می‌گردد، انتقال مواد غذایی به سوی دانه‌ها تقلیل یافته و عملکرد کاهش می‌یابد (Khalili & Hamze, 2019). پایین بودن وزن هزار دانه در تیمار قطع آبیاری در طول دوره‌ی گلدهی، به‌دلیل کاهش فرآیند فتوسنتز و محدودیت در انتقال مواد فتوسنتزی جهت پر شدن دانه‌ها و همچنین، کاهش سرعت و دوره پر شدن دانه می‌باشد (Heidarzade *et al*., 2015). تنش خشکی و گرما با تسریع رسیدگی از طریق تاثیر بر وزن هزار دانه باعث کاهش درصد روغن دانه می‌شود (Aboodeh *et al*., 2020; Sedigh *et al*., 2017). در برخی مطالعات تنش خشکی در زمان پر شدن دانه بیش‌ترین تاثیر منفی را روی عملکرد داشت (Jain *et al*., 2010; Seyed Ahmadi *et al*., 2015). تنش رطوبتی طی اوایل مرحله‌ی تشکیل خورجین، تعداد خورجین و دانه را بیش‌تر از هر مرحله‌ی دیگری کاهش می‌دهد (Keerthi *et al*., 2017). در بررسی اثر تنش خشکی بر سویا در انتهای فصل رشد عملکرد دانه، تعداد غلاف، ماده خشک کل تحت تاثیر تنش خشکی کاهش یافت (Sepanlo *et al*., 2014). در یک پژوهش دیگر زالی و همکاران (Zali *et al*., 2020) اظهار داشتند که میزان کاهش عملکرد روغن و عملکرد دانه در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی کلزا بیشتر بود.

ویژگی‌های نموی به منظور مطالعه واکنش ژنوتیپ‌های محصولات زراعی به شرایط محیطی و جهت یافتن عواملی که در بهبود عملکرد اقتصادی دارای اهمیت هستند و به‌طور وسیعی بررسی شده است. در برنامه‌های اصلاحی، ویژگی‌های رشدی می‌توانند در تعیین ویژگی‌هایی که با عملکرد های بالا تحت شرایط محیطی خاص ارتباط دارند، مفید باشد (Nadeem *et al*., 2002). کمبود آب با کاهش آماس سلول‌های گیاهی که تاثیر منفی بر فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاه دارد، از رشد گیاه ممانعت می‌کند (Liang *et al*., 2018). افزایش سطح تنش خشکی باعث کاهش ارتفاع کلزا نسبت به شاهد می‌گردد؛ وقوع تنش خشکی در ارقام کلزا کاهش ارتفاع بوته و عملکرد دانه را به دنبال دارد (Kazemi Oskuei *et al*., 2021). تعداد شاخه فرعی به‌طور غیر مستقیم و از طریق تعداد خورجین که یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد کلزا است بر عملکرد دانه اثر می‌گذارد. تعداد شاخه فرعی تحت تاثیر تنش خشکی قرار گرفته و در تمامی مراحل اعمال تنش خشکی نسبت به شاهد، کاهش داشته است (Farjam *et al*., 2014). با توجه به این‌که تنش خشکی مهم‌ترین و رایج‌ترین تنش محیطی است و دوره‌ی رشد زایشی کلزا در اکثر نقاط با تنش خشکی مواجه می‌گردد، لزوم اجرای آزمایش‌هایی به منظور بررسی واکنش و گزینش ژنوتیپ‌های مختلف کلزا از نظر سازگاری و تحمل به تنش خشکی می‌تواند مفید واقع شود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه، طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و با ۲۲ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد. محل اجرای آزمایش از نظر اقلیمی در گروه اقلیم خشک محسوب می‌شود. شرایط آب و هوایی ایستگاه محل اجرای آزمایش در جدول ۱ و خصوصیات شیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی ایستگاه تحقیقاتی اهواز طی مدت اجرای آزمایش (سال ۱٤۰۰-۱۳۹۹)

Table 1- Meteorological statistics of Ahvaz Research Station during the experiment (2021-2022)

پارامترها Parameters	ماه Month						
	آبان November	آذر December	دی January	بهمن February	اسفند March	فروردین April	اردیبهشت May
حداقل دمای هوا Absolute minimum temperature (°C)	13.7	11.7	6.2	8.2	10.3	15.5	21.6
حداکثر دمای هوا Absolute maximum temperature (°C)	29.0	20.7	20.3	22.4	24.2	31.9	40.8
بارندگی Precipitation (mm)	63.74	81.6	6.3	10.6	5.4	0	0
حداقل رطوبت نسبی Minimum humidity (%)	33.09	65.7	47.6	36.1	30.5	18.2	16.1
میزان تبخیر Evaporation rate (mm)	118.53	57.6	56.9	103.6	157.34	258.36	327.95

جدول ۲- خصوصیات خاک مزرعه تحقیقاتی

Table 2- Properties of soil research rarm

عمق خاک Depth of soil (cm)	EC $dS.m^{-1}$	نیتروژن (N) $mg.kg^{-1}$	فسفر (P) $mg.kg^{-1}$	پتاس (K) $mg.kg^{-1}$	PH	بافت خاک Soil
0-30	2.81	0.05	9.36	138	7.5	Clay Silt

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سه سطح آبیاری (۱. شاهد (بدون قطع آبیاری)، ۲. قطع آبیاری در مرحله شروع گلدهی (کد فنولوژی ۶۰) تا تشکیل ۵۰ درصد خورجین (کد فنولوژی ۷۵) و ۳. قطع آبیاری در مرحله تشکیل خورجین تا برداشت (کد فنولوژی ۹۹))، (Zavareh & Emam, 2003) در کرت‌های اصلی و عامل فرعی نیز شامل ۱۰ رقم (لانگ‌پاد (منشاء ایران)، آرام (منشاء ایران)، آر جی اس ۰۰۳ (منشاء آلمان)، جانکوم (منشاء آلمان)، سولار (منشاء آلمان)، هایولا ۴۸۱۵ (منشاء استرالیا)، مهتاب (منشاء ایران)، جولیوس (منشاء آلمان)، آگامکس (منشاء آلمان) و سالا (منشاء آلمان)) بودند. رقم‌های ذکر شده که بهاره می‌باشند و از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه شدند. قابل توجه است که هر کدام از مراحل قطع آبیاری با توجه به مرحله‌ی رشدی هر رقم صورت گرفت. عملیات آماده‌سازی زمین شامل شخم با گاوآهن برگردان‌دار و دیسک در مهرماه قبل از کاشت انجام شد و تیمارهای آزمایشی در کرت‌هایی به ابعاد ۳ در ۲/۳۰ متر قرار گرفتند. هر کرت شامل شش خط کاشت به فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها ۴ سانتی‌متر اعمال شد. کاشت به‌صورت خطی و مسطح انجام شد. فاصله بین کرت‌های فرعی ۰/۵ متر و فاصله بین کرت‌های اصلی ۱/۵ متر تعیین شد. ژنوتیپ‌ها با عمق ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر با حفظ تراکم و فاصله ردیف مناسب کشت شدند.

کودهای شیمیایی سوپرفسفات تریپل و سولفات پتاسیم به‌ترتیب ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار قبل از کاشت به زمین اضافه شد همچنین نیتروژن خالص از منبع کود اوره به میزان ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در طی دو مرحله چهار برگی و بعد از اتمام عملیات تنک و مرحله دوم در شروع غنچه‌دهی استفاده شدند. در طول دوره‌ی قطع آبیاری (ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت) هیچ بارندگی موثری واقع نگردید (جدول ۲). بر همین اساس تیمارهای خشکی انتهای فصل به‌خوبی اعمال گردید.

برای اندازه‌گیری درجه روز رشد، درجه حرارت حداکثر و حداقل هر روز با هم جمع و میانگین آن، از درجه حرارت پایه کسر گردید (دمای پایه کلزا پنج درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری ارتفاع بوته، طول خورجین، تعداد شاخه در بوته و تعداد خورجین در بوته، تعداد پنج بوته از هر کرت آزمایشی در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به‌صورت تصادفی انتخاب شد و ویژگی‌های مورد بررسی اندازه‌گیری شد. ۲۰ عدد خورجین از ۱۰ بوته انتخاب و جهت تعیین تعداد دانه در خورجین در نظر گرفته شد. به منظور اندازه‌گیری و محاسبه میزان عملکرد زیستی، دانه و شاخص برداشت تمام بوته‌های موجود در مساحت یک متر طولی از دو ردیف وسط هر کرت را با رعایت اثر حاشیه برداشت صورت گرفت. سپس دو نمونه از هر کرت جهت تعیین وزن هزار دانه برداشت و دانه‌ها شمارش و وزن هزار دانه تعیین گردید. در خصوص شاخص برداشت نیز از نسبت عملکرد خشک دانه به عملکرد ماده خشک کل ضربدر ۱۰۰ حاصل شد.

درصد روغن دانه به روش Porim (1995) اندازه‌گیری گردید. عملکرد روغن نیز از رابطه (۱) محاسبه شد:

(۱) عملکرد روغن =عملکرد دانه × درصد روغن

تجزیه واریانس ویژگی‌های آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) انجام شد. مقایسه میانگین‌های ویژگی‌های آزمایشی با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار محافظت‌شده (FLSD) در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) حاکی از اثر معنی‌دار برهمکنش قطع آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد بر تعداد شاخه در بوته بود. تعداد شاخه در بوته در ارقام مختلف در واکنش به قطع آبیاری متفاوت بود. ارقام سولار و لانگ‌پاد در اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و شاهد بیشترین تعداد شاخه در بوته را نسبت به سایر ارقام داشتند در حالی‌که موقع اعمال قطع آبیاری در مرحله‌ی خورجین‌هی تا برداشت حادث شد، رقم جولیوس تعداد شاخه در بوته بیشتری را تولید کرد. کمترین تعداد شاخه فرعی در تمامی تیمارهای قطع آبیاری و شاهد در رقم جانکوم حاصل شد (جدول ۵). تعداد شاخه در بوته تحت تاثیر ژنتیک و محیط قرار می‌گیرد. تنش با تأثیر منفی بر شاخه و برگ، ارتفاع بوته و زیست‌توده گیاهی عملکرد دانه در بوته را کاهش می‌دهد (Gassemi *et al.*, 2018).

ارتفاع بوته تحت تأثیر برهمکنش قطع آبیاری و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین تیمارها (جدول ۵) نشان داد بیشترین و کمترین ارتفاع بوته در زمان

اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی به‌ترتیب به ارقام سولار و جانکوم، در اعمال قطع آبیاری خورجین‌دهی تا برداشت بیشترین و کمترین به‌ترتیب از ارقام جولیوس و هایولا ۴۸۱۵ به‌دست آمد در صورتی‌که در شرایط بدون قطع آبیاری ارقام آرام و مهتاب به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته مشاهده شد. بیش‌تر بودن ارتفاع بوته به‌خصوص در شرایط تنش خشکی می‌تواند در میزان انتقال مجدد ماده خشک و میزان مشارکت آن در دانه‌ها موثر باشد. در ژنوتیپ‌های پابلند میزان ذخایر ساقه جهت استفاده در دوره‌ی پر شدن دانه، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی بیش‌تر از ژنوتیپ‌های پاکوتاه است که این ویژگی می‌تواند برای توسعه ژنوتیپ‌های متحمل به تنش خشکی در شرایط تنش در برنامه‌های به‌زراعی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین تنش خشکی، به دلیل کاهش آب و دسترسی میزان جذب عناصر سبب کاهش ارتفاع بوته می‌گردد (Tasdighi *et al*., 2015).

مقادیر طول خورجین (بر حسب سانتی‌متر) در تیمارهای مختلف در جدول ۵ نشان داده شده است. بیشترین طول خورجین در دو مرحله اعمال قطع آبیاری گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و خورجین‌دهی تا برداشت از رقم لانگ‌پاد و کمترین آن، در مراحل قطع آبیاری و شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) در رقم جولیوس مشاهده شد. هرچه طول خورجین بلندتر باشد، عملکرد دانه بیشتر خواهد بود. اعمال تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز و انتقال مواد به خورجین‌ها شد و طول آن‌ها تحت تاثیر قرار گرفته و عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Seyed Ahmadi *et al*., 2015).

اجزای عملکرد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش قطع آبیاری و رقم تأثیر معنی‌داری بر تعداد خورجین در بوته داشت (جدول ۳). بیشترین تعداد خورجین در بوته از تیمار بدون قطع آبیاری و بیشترین آن در مرحله قطع آبیاری در مرحله‌ی خورجین‌دهی تا برداشت مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر صفت تعداد خورجین در بوته نشان داد بیشترین تعداد خورجین در بوته در تیمار شاهد از ارقام هایولا ۴۸۱۵، سولار، RGS003 و جولیوس مشاهده شد و ارقام هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و آگامکس در قطع آبیاری مرحله‌ی دوم، همچنین هایولا ۴۸۱۵، لانگ‌پاد و RGS003 بیشترین تعداد خورجین در بوته مرحله‌ی سوم قطع آبیاری حاصل شد (جدول ۵). در پژوهش صفوی و همکاران (Safavi *et al*., 2020) نیز تعداد خورجین در بوته تحت تاثیر تنش خشکی معنی‌دار واقع شد؛ در بررسی وی در شرایط تنش خشکی آخر فصل هیبریدهای هایولا ۴۰۱ و جرومه جهت توسعه کشت کلزا پیشنهاد شده است.

همچنین جعفرزاده قهدرجانی و همکاران (Jafarzadeh Ghahdrijani *et al*., 2015) گزارش دادند که تعداد خورجین در بوته در هر دو شرایط تنش خشکی و بدون قطع آبیاری می‌تواند به‌عنوان ویژگی برای انتخاب غیرمستقیم در جهت بهبود عملکرد دانه کلزا واقع شود.

نتایج نشان داد که اثر قطع آبیاری و رقم بر تعداد دانه در خورجین معنی‌دار شد (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین مربوط به تیمار بدون قطع آبیاری و به مقدار ۲۵/۳۳ دانه و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی و به مقدار ۲۳/۶۳ دانه بود (جدول ۴)؛ تعداد دانه در خورجین نهایتا منجر به کاهش تعداد دانه در بوته شده و این جزء عملکرد نقش مهمی در تعیین عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارد.

از آن‌جایی که اعمال تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث عقیم شدن دانه‌های گرده و اختلال در فتوسنتز و انتقال مواد ذخیره شده به دانه‌ها می‌گردد می‌تواند دلیلی بر کاهش تعداد دانه در خورجین باشد (Mokari *et al*., 2020). با این حال در پژوهشی گزارش شده است که تنش خشکی در مرحله گلدهی تاثیری بر تعداد دانه در خورجین ندارد (Sinaki *et al*., 2007).

مقایسه میانگین اثر رقم برای تعداد دانه در خورجین نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در خورجین متعلق به رقم لانگ‌پاد و کمترین مقدار آن از رقم دیررس جانکوم حاصل شد. کمتر بودن تعداد دانه در خورجین رقم جانکوم می‌تواند به دلیل دیررس بودن و مصادف بودن مراحل حساس دوره گلدهی با تنش گرمایی اسفند و فروردین ماه دانست و در نتیجه سقط تعدادی از دانه‌ها می‌باشد.

وزن دانه از جمله اجزای مهم عملکرد دانه در کلزا می‌باشد و براساس دوره و مرحله وقوع تنش، تحت تاثیر واقع می‌شود. برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر وزن هزار دانه معنی‌داری شد (جدول ۳). به‌طوری‌که در تیمار بدون قطع آبیاری، ارقام لانگ‌پاد و هایولا ۴۸۱۵ با میانگین ۳/۶۳ و ۳/۶۰ گرم، در شرایط قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی رقم سالا ۴/۸۰ گرم و قطع آبیاری در مرحله‌ی خورجین‌دهی تا برداشت ارقام مهتاب، جولیوس و آگامکس با میانگین ۴/۵۳، ۴/۴۲ و ۳/۹۸ گرم بیشترین وزن هزار دانه اختصاص یافت (جدول ۵).

با توجه به طول دوره رشدی ارقام و شروع زودتر دوره گلدهی و مصادف بودن آن با هوای خنک، از طرفی طویل بودن طول دوره گلدهی و رسیدگی قبل از تنش گرمایی انتهای فصل سبب شده تا وزن هزار دانه ارقام بالاتر گردد (جدول ۹) البته ویژگی‌های ژنتیکی ارقام نیز می‌تواند بر وزن هزار دانه موثر واقع شود. به‌طور کلی وزن هزار دانه در گیاه تابع توانایی گیاه در فراهم کردن مواد پرورده برای مخزن و همین‌طور عناصر غذایی لازم در هنگام پر شدن دانه است.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات زراعی ارقام کلزا تحت شرایط قطع آبیاری

Table 3- Analysis of variance for agronomical traits in canola genotypes under interruption of irrigation condition

ضریب تغییرات S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square										
		تعداد شاخه فرعی Number of branches	ارتفاع بوته Plant height	طول خورجین Silique length	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod	وزن هزار دانه 1000 seed weight	عملکرد دانه Grain yield	عملکرد زیستی Biological yield	شاخص برداشت Harvest index	درصد روغن Oil (%)	عملکرد روغن دانه Grain yield
بلوک (R)	2	30.50^{ns}	155.05^{ns}	0.30^{ns}	2747.9^{ns}	1.6^{ns}	0.2^{ns}	55754.5^{ns}	1814270.9^{ns}	6.1^{ns}	3.34^{ns}	44514831^{ns}
قطع آبیاری Interruption of irrigation (I)	2	17.09*	654.5^{ns}	2.7*	*15765.5	21.8*	0.3^{ns}	1531852.6**	7/445741^{ns}	550.5^{ns}	83.14*	4018814408**
خطای اصلی(Ea)	4	2.4	688.9	0.2	2209.4	3.03	0.1	48299.1	9364275.4	135.33	13.47	58730190
رقم Cultivar (C)	9	5.60**	666.1**	6.3**	25044.5**	23.1**	2.02**	7128820.6**	3348420.9**	96.5**	67.55**	1727931509**
I*C	18	5.5**	424.8**	0.6**	**5164.01	4.1^{ns}	0.1**	48648.6*	1612135.3**	132.3**	21.16*	148769436*
خطای فرعی (Eb)	54	1.7	81.8	0.1	1413.8	3.5	0.06	28266.2	547438.2	34.1	10.21	75230429
CV (%)		18.8	6.9	7.3	15.7	7.7	7.1	13.4	14.8	22.4	7.8	16.7

جدول ٤- مقایسه میانگین اثر قطع آبیاری و رقم برای تعداد دانه در خورجین

Table 4- Mean comparision for the effect of irrigation and cultivar treatments on the number of seeds per pod

قطع آبیاری Interruption of irrigation	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod
بدون قطع آبیاری (شاهد) Without interruption of irrigation	25.32
تنش در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage	24.46
تنش در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest	23.63
$LSD_{0.05}$	1.24
رقم Cultivar	تعداد دانه در خورجین Number of seeds per pod
لانگ‌پاد Long Pod	26.01
آرام Aram	22.12
آرجی‌اس ۰۰۳ RGS003	24.73
جانکوم Gancom	21.81
سولار Solar	25.62
هایولا ۴۸۱۵ Hayola 4815	26.55
مهتاب Mahtab	24.76
جولیوس Jolius	23.15
آگامو (آگامکس) Agamax	24.90
سالا Sala	25.10
$LSD_{0.05}$	1.77

در صورت اعمال تنش‌ها از جمله تنش خشکی، هرچه تعداد مخزن کم باشد، سهم هر مخزن از مواد پرورده، افزایش یافته و در نتیجه دانه‌ها درشت‌تر و وزن هزار دانه نیز افزایش می‌یابد (Heidarzadeh *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2013). نتایج حاصل از پژوهش صفوی‌فرد و همکاران (Safavi *et al.*, 2020) در پاسخ ارقام و هیبریدهای کلزا در شرایط تنش خشکی انتهایی رقم دلگان از پایداری بالایی از لحاظ صفت وزن هزار دانه در بین ارقام برخوردار بود و در شرایط قطع آبیاری از مرحله خورجین‌دهی به بعد، رقم دلگان با میانگین ۲/۷۰ و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد هیبریدهای هایولا ۴۰۱ و جرومه ۲/۰۹ ۲/۰۴ بالاترین وزن هزار دانه را داشتند.

درصد روغن دانه

براساس نتایج (جدول ۳) معنی‌دار بودن برهمکنش قطع آبیاری و رقم برای درصد روغن دانه نشان داد که ارقام کلزا نسبت به شرایط قطع آبیاری واکنش متفاوتی از خود نشان داده‌اند. مقایسات میانگین ارائه شده در جدول ۵ نشان داد که در شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) بیشترین درصد روغن دانه از ارقام سولار (۴۸/۳ درصد) و هایولا ۴۸۱۵ (۴۶/۳ درصد)، اعمال قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی ارقام لانگ‌پاد (۴۵ درصد) و هایولا ۴۸۱۵ (۴۳ درصد) و قطع آبیاری خورجین‌دهی تا برداشت بیشترین مقدار درصد روغن دانه از ارقام سالا و لانگ‌پاد با میانگین (۴۴/۳ درصد)

به‌دست آمد همچنین کمترین میزان درصد روغن دانه در تمامی تیمارهای آزمایش حاضر به رقم جانکوم تعلق داشت.

کم بودن میزان روغن دانه به دلیل تنش می‌تواند ناشی از کوتاه شدن دوره پر شدن دانه و کاهش وزن دانه باشد (Aboodeh *et al.*, 2020). پژوهش ناظری و همکاران (Nazeri *et al.*, 2021) نشان داد که کاهش در دسترس بودن کربوهیدرات‌ها برای سنتز روغن در اثر تنش خشکی سبب کاهش درصد روغن می‌شود. با این حال در برخی از مطالعات نیز به عدم تاثیر تنش خشکی بر درصد روغن دانه کلزا اشاره شده است (Zareei Siahbidi & Rezaei Zadhe, 2019). به نظر می‌رسد که میزان متفاوت درصد روغن دانه به ویژگی‌های ژنتیکی مربوط باشد که ارقام و توانایی آن‌ها را در ذخیره روغن در مرحله‌ی پر شدن دانه نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقایسه میانگین برهمکنش قطع آبیاری و رقم برای ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 5- Mean comparision for the interaction effect of irrigation and cultivar treatments on the studied treaits

آبیاری Iirrigation	رقم Cultivar	تعداد شاخه در بوته Branche Number/plant	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول خورجین Silique Length (cm)	وزن هزار دانه 1000 seed weight (g)	عملکرد زیستی Biological Yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)	درصد روغن Oil content (%)
بدون قطع آبیاری (شاهد) Without interruption of irrigation	Long pod	10.20	125.7	8	3.63	4527.1	40.5	43.33
	Aram	7.30	144	5.91	3.30	5984.1	24.6	37
	RGS003	8.10	122.43	5.70	3.20	5155.7	26.6	44.66
	Jancom	6.63	143.96	5.98	2.43	3855	22.4	38
	Solar	8.49	143.06	5.51	2.90	5370.1	31.6	48.33
	Hayola 4815	8.43	116.86	5.68	3.60	7201.3	24.2	46.32
	Mahtab	7	108.33	5.86	3.26	3397.2	40.1	45.33
	Julius	7.46	120.33	4.75	2.83	6038.6	20.07	36
	Agamax	7.03	116.23	5.99	3.20	4454.5	32.7	45
	Sala	8.40	126.10	5	2.90	4240.1	35.5	42.33
	$LSD_{0.05}$	2.22	11.72	0.68	0.44	879.94	11.09	5.27
قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage	Long pod	5.50	143.30	7.45	4	5242.9	24.3	45
	Aram	7.66	133.13	5.18	3.20	4708.8	22.2	40
	RGS003	6.70	126.56	5.72	3.30	4599.8	23.1	39.33
	Jancom	5.33	105.1	4.27	4.38	4608	11.89	35.33
	Solar	10.43	153.3	5.52	3.60	5464.5	20.12	41
	Hayola 4815	5.46	115.12	5.55	2.72	5711.6	32.95	43
	Mahtab	8.93	125.66	5.63	3.79	4546.2	21.34	41.33
	Julius	5.20	145.83	3.50	3.16	5217.1	21.64	40
	Agamax	7.53	120.56	5.81	3.34	4879.6	22.11	38.33
	Sala	7.53	144.33	4.86	4.80	5955	20.53	41
	$LSD_{0.05}$	2.24	16.71	0.66	0.53	1569.6	10.79	6.35
قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest	Long pod	7.50	140.73	6.45	3.76	5668	20.56	44.33
	Aram	7.30	122.13	4.13	2.87	4003.9	26.98	39
	RGS003	5.1	130.66	5.56	3.09	4809.6	24.41	38.66
	Jancom	4.40	140.8	4.29	3.89	3364.5	22.18	35
	Solar	6.23	135.1	5.49	3.22	5024.9	29.44	39.33
	Hayola 4815	7.33	115.96	5.61	3.88	5886	33.13	40.33
	Mahtab	6.90	134.4	6.06	4.53	5613.5	18.48	41.33
	Julius	8.10	151.36	3.9	4.43	4763.3	28.82	36
	Agamax	5.30	139.46	5.76	3.98	4476.3	27.25	38.33
	Sala	5.50	149.16	5.56	3.58	4857.8	23.92	44.33
	$LSD_{0.05}$	2.21	18.07	0.67	0.42	997.72	6.20	5.28

جدول ٦- مقایسه میانگین برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر ویژگی‌های مورد مطالعه

Table 6- Mean comparision for the interaction effect of irrigation and cultivar treatments on the studied treaits

آبیاری Iirrigation	رقم Cultivar	تعداد خورجین در بوته Number of pods per plant	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد روغن Grain yield (kg.ha^{-1})	طول دوره رشد رسیدگی Growth period maturation (day)	مجموع نیاز حرارتی رسیدگی Total heat requirement maturation (day)
بدون قطع آبیاری (شاهد) Without interruption of irrigation	Long pod	228	1971.49	893.27	150	2004.70
	Aram	197.50	1597.71	590.47	149	1980.87
	RGS003	262	1363	612.62	152	2056.70
	Jancom	211.33	832.07	316.64	153.66	2101.03
	Solar	406	1857.03	897.88	150.66	2021.70
	Hayola 4815	420.33	2093.76	968.51	139	1750.70
	Mahtab	218	1689.60	766.90	150.33	2013.20
	Julius	262	1208.88	436.91	153.66	2101.03
	Agamax	240.33	1442.22	655.54	150.66	2021.70
	Sala	196	1605.19	680.44	150.66	2021.70
	$LSD_{0.05}$	89.27	291.72	178.53	1.34	34.86
قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage	Long pod	265.33	1273.96	575.54	150.66	2021.70
	Aram	179.67	1020.80	449.96	148.66	1974.37
	RGS003	199.17	1061.82	417.78	150	2005.20
	Jancom	183.33	539.98	191.21	152.33	2073.87
	Solar	200.33	1031.44	424.44	148	1972.87
	Hayola 4815	360.67	1696.06	729.74	138.66	1743.20
	Mahtab	158.50	1011.18	416.70	148	1972.87
	Julius	199.17	1266.47	506.17	152.33	2065.03
	Agamax	254.67	1075.02	411.85	148.66	1972.87
	Sala	195	841.19	344.94	148	1972.87
	$LSD_{0.05}$	48.15	323.18	136.94	1.53	36.49
قطع آبیاری در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest	Long pod	267	1141.48	505.20	150	2004.70
	Aram	196.33	1075.67	419.86	150.66	2021.70
	RGS003	248	1194.25	460.50	150.33	2014.53
	Jancom	157.43	743.05	259.92	153.66	2101.03
	Solar	239.67	1322.48	521.24	150	2004.70
	Hayola 4815	306.33	1935.58	782.99	138.33	1735.70
	Mahtab	231	1002.58	409.49	150	2005.20
	Julius	222.33	1276.35	459.88	153.66	2101.03
	Agamax	225	1217.60	453.86	150	2004.70
	Sala	232.33	1116.89	500.82	150	2004.70
	$LSD_{0.05}$	62.63	172.77	111.82	1.36	33.73

براساس مقادیر عملکرد دانه ارایه شده در جدول ۶، کمترین و بیش‌ترین عملکرد دانه در هر دو شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) و اعمال قطع آبیاری به‌ترتیب از ژنوتیپ جانکوم و هایولا ۴۸۱۵ حاصل شده است. تاثیر منفی تنش بر عملکرد دانه از طریق تاثیر بر اجزای عملکرد از جمله تعداد دانه در خورجین، تعداد خورجین در بوته و وزن هزار دانه می‌باشد. در بررسی دیگری مشخص شد که اعمال قطع آبیاری از مرحله‌ی خورجین‌دهی و گلدهی به بعد به‌ترتیب باعث کاهش ۳۳ و ۵۸ درصدی عملکرد دانه می‌گردد (Qasemian Ardestani *et al*., 2020).

عملکرد دانه

تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که عملکرد دانه تحت برهمکنش قطع آبیاری و رقم معنی دار شد.

عملکرد روغن دانه

بر اساس تجزیه واریانس برهمکنش عملکرد روغن دانه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گشت (جدول ۳). تغییرات عملکرد روغن به‌عنوان عملکرد اقتصادی در گیاهان روغنی ممکن است با تغییر درصد روغن دانه و عملکرد دانه یا هر دو مرتبط باشد (Aboodeh *et*

(Seyed Ahmadi *et al.*, 2015; *al.*, 2020) در پژوهش حاضر کاهش عملکرد روغن دانه در اثر قطع آب با کاهش درصد روغن و مخصوصا عملکرد دانه (جدول ۶) در شرایط قطع آبیاری انتهایی ارتباط دارد. در این راستا نتایج پژوهش مام نبی و همکاران (Mamnabi *et al.*, 2021) نشان داد که کاهش یا عدم آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و میزان روغن و در نهایت عملکرد روغن دانه شد.

عملکرد زیستی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری بر ژنوتیپ‌های کلزا از نظر عملکرد زیستی گویای آن بود که قطع آبیاری و رقم تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر این صفت داشتند (جدول ۳). در شرایط بدون اعمال تنش و اعمال تنش در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت با قطع آبیاری عملکرد زیستی تغییر یافت. در صورتی‌که عملکرد زیستی با اعمال تنش مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد بر ژنوتیپ‌های کلزا معنی‌دار نبود. بالاترین مقدار عملکرد زیستی به‌ترتیب با میانگین ۷۲۰۱/۳ و ۶۰۳۸/۶ به برهمکنش شاهد و ارقام هایولا ۴۸۱۵ و جولیوس و پایین‌ترین مقادیر عملکرد زیستی به‌ترتیب با میانگین‌های ۴۰۰۳/۹ و ۳۳۶۴/۵ به برهمکنش تیمار قطع آبیاری و رقم آرام و جانکوم مربوط بود (جدول ۶). از جمله مراحل حساس در کلزا، مراحل گلدهی و نمو خورجین‌ها می‌باشد و علت کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌تواند ناشی از پیری و ریزش برگ گیاه در شرایط تنش خشکی باشد. همچنین یکی از دلایل افت عملکرد رقم جانکوم نسبت به سایر ارقام براساس موارد گفته شده در عملکرد و حساسیت این رقم نسبت به قطع آبیاری بیان نمود. در پژوهش زیرگلی و کهریزی (Zirgoli and Kahrizi, 2015) روی ۱۰ واریته کلزا، گزارش کردند عملکرد بیولوژیک تمامی واریته‌ها تحت شرایط تنش خشکی کاهش نشان داد. در مطالعه‌ی دیگری در خصوص اثر تنش خشکی بر سویا کمترین و بیش‌ترین عملکرد زیستی از تیمار تنش شدید خشکی و شاهد مشاهده شد (Sepanlo *et al.*, 2014).

شاخص برداشت

شاخص برداشت یکی از شاخص‌هایی مهم فیزیولوژیکی است که بیانگر درصد انتقال مواد فتوسنتزی از اندام رویشی گیاه به دانه است. در آزمایش حاضر برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). با اعمال قطع آبیاری میزان شاخص برداشت در شرایط شاهد و قطع آبیاری در مرحله‌ی گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی به‌طور معنی‌دار تغییر یافت در حالی‌که در شرایط اعمال قطع آبیاری در مرحله‌ی خورجین‌دهی تا برداشت نتایج معنی‌داری مشاهده نشد. در بین ارقام مورد بررسی در شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) بیش‌ترین شاخص به رقم لانگ‌پاد اختصاص یافت و در شرایط قطع آبیاری از مرحله گلدهی به بعد به‌ترتیب از ارقام هایولا ۴۸۱۵ و سولار حاصل شد (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت ارقام در شرایط بدون قطع آبیاری و قطع آبیاری در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی می‌تواند به دلیل بالا بودن تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین باشد. ژنوتیپ‌هایی که شاخص برداشت بالاتری دارند در شرایط تنش سهم بالاتری از مواد فتوسنتزی را به سمت دانه‌ها ارسال نموده‌اند و عملکرد بالاتری خواهند داشت (Khayat Moghaddam *et al.*, 2022). علت بیش‌تر بودن شاخص برداشت رقم لانگ‌پاد نسبت به سایر ارقام را می‌توان به کاهش کمتر عملکرد دانه و عملکرد زیستی در شرایط قطع آبیاری و بدون اعمال قطع آبیاری ارتباط داد. در خصوص مدیریت و به‌نژادی ارقام این امر نشان می‌دهد که توانایی ارقام در انتقال و انباشتن مواد فتوسنتزی به‌خصوص از برگ به دانه‌ها در شرایط تنش، از عوامل مهم در افزایش عملکرد می‌باشد.

جدول ۷- تجزیه واریانس میانگین مربعات طول دوره رشد و مجموع نیاز حرارتی

Table 7- Analysis of variance of mean of squares growth period length and total heat requirement

S.O.V	d.f	طول دوره رشد Growth period (day) Flowering	Maturation	مجموع نیاز حرارتی Total heat requirement Flowering	Maturation
Blok بلوک	2	1.98^{ns}	0.54^{ns}	458.86^{ns}	398.83^{ns}
قطع آبیاری Interruption of irrigation	2	12.87*	12.41*	2678.95*	7229.03*
Error a خطای a	4	1.62	1.22	309.85	760.85
Cultivar رقم	9	61.31**	147.46**	1697.65**	82894.5**
I*C	18	1.54^{ns}	1.16*	295.34^{ns}	710.57*
Error b خطای b	54	1.15	0.65	286.16	401.32
CV (%)		4.2	0.5	5.1	1.0

ns، * و ** به‌ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می‌باشد.

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

براساس پژوهش سید احمدی و همکاران (Seyed Ahmadi *et al.*, 2015) مشخص شد که تنش خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش معنی‌دار شاخص برداشت می‌گردد.

تجزیه واریانس اثر قطع آبیاری و اثر رقم بر طول دوره‌ی رشد گلدهی و اثر برهمکنش آن‌ها بر کل دوره‌ی رشد گیاه معنی‌دار بود (جدول ۷). طول دوره‌ی گلدهی در تیمار بدون قطع آبیاری با میانگین (۲۶/۴۶ روز) حاصل شد در صورتی‌که در هر دو مرحله قطع آبیای اختلاف آماری معنی‌داری با همدیگر نداشت (جدول ۸).

جدول ۸- مقایسه میانگین طول دوره رشد و مجموع نیاز حرارتی در قطع آبیاری انتهای فصل رشد

Table 8- Mean comparison for mean growth period and total thermal time requirements under irrigation cut at the end of the growing season

قطع آبیاری Interruption of irrigation	طول دوره رشد گلدهی Flowering growth period	مجموع نیاز حرارتی مرحله گلدهی Total heat requirement during flowering
بدون قطع آبیاری (شاهد) Without interruption of irrigation	26.46	343.13
تنش در مرحله گلدهی تا ۵۰ درصد خورجین‌دهی Interruption of irrigation in the beginning of flowering stage	25.23	325.35
تنش در مرحله خورجین‌دهی تا برداشت Interruption of irrigation in the stage of formation of pods until harvest	25.46	328.70
$LSD_{0.05}$	0.91	12.61
رقم Cultivar	گلدهی Flowering	گلدهی Flowreing
لانگ‌پاد Long Pod	23.33	333.83
آرام Aram	25.33	321.33
آرجی‌اس ۰۰۳ RGS003	25.68	327.44
جانکوم Gancom	22.67	322.55
سولار Solar	26.22	335.27
هایولا ۴۸۱۵ Hayola 4815	29.77	359.44
مهتاب Mahtab	26.24	325.43
جولیوس Jolius	23.77	324.51
آگامو (آگامکس) Agamax	30.33	359.55
سالا Sala	26.05	320.5
$LSD_{0.05}$	1.01	16.98

مجموع درجه روز در مرحله‌ی گلدهی نشان داد که قطع آبیاری نسبت به شرایط بدون اعمال قطع آبیاری، مقدار مجموع درجه روز در هر مرحله را کاهش داد، همچنین مجموع درجه روز مورد نیاز برای دوره‌ی گلدهی ارقام با همدیگر متفاوت بود. بیشترین نیاز حرارتی طول مرحله‌ی گلدهی از ارقام هایولا ۴۸۱۵ و آگامکس به‌دست آمد.

برهمکنش قطع آبیاری و رقم بر مجموع نیاز حرارتی و درجه روز دوره رسیدگی نشان داد در هر دو مراحل قطع آبیاری اعمال شده کمترین مجموع نیاز حرارتی مربوط به هایولا ۴۸۱۵ و بیشترین آن از ارقام جولیوس و جانکوم مشاهده شد (جدول ۶). از آن‌جایی که مراحل حساس دوره‌ی گلدهی و پر شدن دانه با قطع آبیاری و از طرف دیگر،

تنش گرمایی اسفند و فروردین‌ماه و اوایل اردیبهشت‌ماه به‌خصوص ارقام دیررس جانکوم و جولیوس مواجه شده و سبب کاهش عملکرد دانه، ماده خشک کل و دوره‌ی زایشی می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به این‌که قطع آبیاری در مراحل انتهایی فصل رشد از عوامل محدودکننده توسعه کشت کلزا در مناطق گرم و خشک از جمله خوزستان می‌باشد، لذا انتخاب ارقام متحمل به قطع آبیاری در مراحل انتهایی دارای اهمیت است. براساس نتایج به‌دست آمده تنش قطع آبیاری آخر فصل اکثر ویژگی‌های مورد بررسی را تحت تاثیر قرار داد. اعمال قطع آبیاری بر عملکرد و اجزای آن تاثیرگذار بود که نشان‌دهنده واکنش متفاوت ارقام نسبت به شرایط قطع آبیاری می‌باشد. براساس یافته‌های حاصل از آزمایش، بیشترین عملکرد دانه (۲۰۹۳/۸ کیلوگرم در هکتار)، عملکرد روغن (۹۸۶/۵۱ کیلوگرم در هکتار) و عملکرد زیستی (۷۲۰۱/۳ کیلوگرم در هکتار) در هر دو شرایط بدون قطع آبیاری (شاهد) و اعمال قطع آبیاری انتهایی به‌ترتیب از رقم هایولا ۴۸۱۵ و کمترین مقدار آن از رقم جانکوم حاصل شد. در مجموع نتایج نشان داد که ارقام هایولا ۴۸۱۵، لانگ-پاد و سولار جهت کشت در شرایط بدون اعمال قطع آبیاری و قطع آبیاری انتهایی مناسب هستند.

References

1. Aboodeh, H., Moradi Telavat, M. R., Moshattati, A., & Mousavi, S. H. (2020). The response of morphology, yield and components of spring safflower genotypes to different sowing dates. *Journal of Crop Production and Processing*, *9*(4), 215-227. (in Persian). https://doi.org/10.47176/jcpp.9.4.22255
2. Ghasemian Ardestani, H., Jahan, M., & Shirani Rad, A. H. (2020). Investigation of qualitative traits of rapeseed cultivars in autumn and winter crops under the influence of different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Agricultural Sciences*, *12*(2), 429-443.
3. Ghassemi, S., Ghassemi-Golezani, K., & Zehtab-Salmasi, S. (2018). Changes in antioxidant enzymes activities and physiological traits of ajowan in response to water stress and hormonal application. *Scientia Horticulturae*, *24*, 957-964. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.11.086
4. Heidarzade, A., Esmaeili, M. A., Bahmanyar, M. A., & Abbasi, R. (2015). Response of soybean (*Glycine max*) to molybdenum and iron spray under well-watered and water deficit conditions. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, *4*(1), 37-46. https://doi.org/10.18006/2015.4(1).37.46.
5. Hu, Q., Wei, H., Yin, Y., Zhang, X., Liu, L., Shi, J., Zhao, Y., Qin, L., Chen, C., & Hanzhong, W. (2016). Rapeseed research and production in China. *The Crop Journal*, *5*(2), 127-135. https://doi.org/10.1016/j.cj.2016.06.005.
6. Jafarzadeh Ghahdrijani, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A. F., & Ebrahimiyan, M. (2015). Response to direct and indirect selection of grain yield, oil and yield components in canola varieties under normal and soil moisture stress. *Journal of Plant Production*, *37*(3), 129 -141.
7. Jain, S., Yue-Lioang, R., Mei-wang, L. E., Ting-Xian, Y., Xiao-Wen, Y., & Hong-Ving, Z. (2010). Effect of drought stress on sesame growth and yield characteristics and comprehensive evaluation of drought tolerance. *Chinese Journal of Oil Crops Sciences*, *4*, 42-48.
8. Keerthi, P., Pannu, R. K., & Dhaka, A. K. (2017). Effect of sowing dates and nitrogen levels on total dry matter and its partitioning at different growth stages and yield of Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Agricultural Science Digest*, *37*(1), 27-31. http://doi.org/10.18805/asd.v0iOF.7336.
9. Khalili, M., & Hamze, H. (2019). Effect of super-adsorbent and irrigation levels on quantitative and qualitative characteristics of sugar beet (*Beta vulgaris*). *Journal of Crop Ecophysiology*, *3*(51), 395-412. https://doi.org/10.30495/jcep.2019.669706.669706.
10. Khayat Moghadam, M. S., Gholami, A., Shirani Rad, A. H., Firoozabadi Brothers, M., & Abbas Dokht, H. (2022). Agronomic study of spring rapeseed genotypes under late season drought stress and foliar application of potassium silicate. *Environmental Stress in Crop Sciences*, *3*(14), 649-663. (in Persian).
11. Liang, D., Ni, Z., Xia, H., Xie, Y., Lv, X., Wang, J., Lin, L., Deng, Q., & Luo, X. (2018). Exogenous melatonin promotes biomass accumulation and photosynthesis of kiwifruit seedlings under drought stress. *Scientia Horticulturae*, *246*, 34-43. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.058
12. Mamnabi, S., Nasrollahzadeh, S., Ghassemi-Golezani, K., & Yaghoub Raei, Y. (2021). Morpho-physiological traits, grain and oil yield of rapeseed (*Brassica napus* L.) affected by drought stress and chemical and bio-fertilizers. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, *30*(3), 359-377. (in Persian).
13. Mokari, M., Abedinpour, M., & Dehghan, H. (2020). Effect of drought stress and planting date on grain yield and water use efficiency of autumn wheat in Kashmar Region. *Journal of Water Research in Agriculture*, *34*(2), 168-186. (in Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2020.122256.
14. Nadeem, T. M. H., Imran, M., & Kamil Husain, M. (2002). Evaluation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) inbred lines for drought tolerance. *International Journal of Agriculture and Biology*, *25*, 398-400. 1560–8530/2002/04–3–

398–400.
15. Nazeri, P., Shirani Rad, A. H., ValadAbadi, S. A., Mirakhori, M., & Hadidi Masoule, E. (2021). The effect of planting date and late season drought stress on Eco-physiological characteristics of the new varieties of Canola (*Brassica napus* L.). *Journal of Agroecology*, *11*(1), 261-276. (in Persian). https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.67311.
16. Porim. (1995). *Porim Test Methods.* Palm Oil Research Institute of Malaysia, p. 72-75, 40-42, 92-101, 33-36, 37-39, 64-65. Minisry of Primary Industries, Malaysia.
17. Safavi Fard, N., Shirani Rad, A. H., Daneshian, J., Shahsavari, N., & Ghaffari, M. (2020). Response of Canola Cultivars and Hybrids to WinterCultivation under Late Season Drought Stress. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(4), 198-185. https://doi.org/10.22034/saps.2020.12311.
18. Sepanlo, N., Talebi, R., Rokhzadi, A., & Mohammadi, H. (2014). Morphological and physiological behavior in soybean (*Glycine max*) genotypes to drought stress mplemented at pre- and post-anthesis stages. *Acta Biologica Szegediensis*, *58*(2), 109-113.
19. Seyed Ahmadi, A. A., Bakhshandeh, A. L., & Qarineh, M. H. (2015). Evaluation of physiological characteristics and grain yield of rapeseed cultivars under drought stress at the end of the season in Ahvaz climate. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *13*(1), 71-80. (in Persian).
20. Sinaki, J. M., Majidi Heravan, E., Shirani Rad, A. H., Noormohamadi, G., & Zarei, G. (2007). The effect of water deficit during growth stages of canola (*Brassica napus* L.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *2*, 417-422.
21. Tasdighi, H., Salehi, A., Movahhedi Dehnavi, M., & Behzadi, Y. (2015). Survey of yield, yield Components and Essential Oil of *Matricaria chamomilla* L. With Application of Vermicompost and Different Irrigation Levels. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *25*, 61-78.
22. Zali, H., Hasanloo, T., Sofalian, O., & Asghari, A. (2020). Evaluation of drought stress effect on seed oil yield and fatty acid composition in canola (*Brassica napus* L.) cultivars. *Environmental Stress in Crop Sciences*, *13*(3), 735-747. (in Persian). https://doi.org/10.22077/escs.2020.2205.1552.
23. Zareei Siahbidi, A., & Rezaeizad, A. (2019). Study on response of some oilseed rape genotypes to drought stress. *Applied Research in Field Crops*, *32*(4), 59-75. (in Persian). https://doi.org/10.22092/aj.2019.121181.1266.
24. Zavareh, M., & Emam, E. (2008). A guide to identifying the life stages of canola. *Iranian Journal of Field Crop Sciences*, *1*, 1-14. (in Persian).
25. Zhang, H., Berger, J. D., & Milroy, S. P. (2013). Genotype × environment interaction studies highlight the role of phenology in specific adaptation of canola (*Brassica napus*) to contrasting Mediterranean climates. *Field Crops Research*, *144*, 77-88. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.01.006

Iranian Journal of Field Crops Research
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

Research Article
Vol. 20, No. 4, Winter 2023, p. 481-500

Effect of the Ammonium Nitrate Levels on Intercropped Barley (*Hordeum Vulgare* L.) and Vetch (*Vicia Villosa*) under Weed Competition Management

F. Faramarzi[1], S. M. B. Hosseini[2*], H. Mansory[3], D. Fangueiro[4], H. Alizadeh[5]

Received: 15-03-2022 Revised: 15-08-2022 Accepted: 18-08-2022	**How to cite this article:** Faramarzi, F., Hosseini, S. M. B., Mansory, H., Fangueiro, D., & Alizadeh, H. (2023). Effect of the Ammonium Nitrate Levels on Intercropped Barley (*Hordeum Vulgare* L.) and Vetch (*Vicia Villosa*) under Weed Competition Management. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *20*(4), 481-500. (in Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75859.1154

Introduction

Intensive agriculture, despite high production, has adverse environmental effects, mainly due to the use of pesticides and chemical fertilizers. Therefore, we need alternative agricultural systems that are more economically and environmentally sustainable to produce crops. One of the sustainable methods in the production of agricultural products is intercropping. Intercropping of two or more species in a plot of land can increase biodiversity and resource utilization as agricultural perspective, which in turn can lead to increased yield stability. Intercropping uses resources more efficiently than monoculture, preventing the growth and spread of weeds by shading and suffocating weeds, and in some cases with allelopathic. Intercropping of cereals and legumes is recommended for the development of sustainable food production systems, especially in planting systems based on reduced consumption of foreign inputs. The importance of these systems depends on the nitrogen stabilized by the legumes. The aim of this experiment was to study the effects of row intercropping of barley and vetch and different levels of ammonium nitrate fertilizer on weed biomass, yield components and yield of two species in Karaj climatic condition.

Materials and Methods

This experiment was performed as a factorial split plot based on randomized complete block design in 2019-2020 cropping year in the research farm of the Agriculture and Natural Resources, University of Tehran. Main plots included three levels of ammonium nitrate fertilizer (0, 35 and 70 kg.ha^{-1}) and sub-plots include different ratios of barley and vetch (100% barley, 80% barley: 20% vetch, 80% barley: 45% vetch, 80% barley: 70% vetch, 100% vetch, 80% vetch: 20% barley, 80% vetch: 45% barley, 80% vetch: 70% barley) weeding and non-weeding were in three replications. Plant density in sole barley and vetch were 250 plants per square meter. The method of cultivation in this study was additive intercropping. Seeds were sown on November 6th. The first stage of fertilization was done simultaneously with planting and one third was added to each plot and the second and third stages of fertilization were performed in two stages of stem emergence and spike emergence, respectively from ammonium nitrate fertilizer source. The final harvest was done on July 28th. Data were

1- PhD student in Crop Ecology, Karaj Agricultural and Natural Resources Campus, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Department of Agronomy, Karaj Agricultural and Natural Resources Campus, University of Tehran, Tehran, Iran
3- Assistant Professor, Sugar Beet Research Department, Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamedan, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Hamedan, Iran
4- Assistant Professor, Institute of Agronomy, University of Lisbon, Portugal
5- Professor, Department of Agronomy, Karaj Agricultural and Natural Resources Campus, University of Tehran, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: bhosseini@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75859.1154

analyzed using SAS 9.1 software. The least significant difference test ($P \leq 0.05$) was used to compare the means.

Results and Discussion

The highest barley grain yield (432.44 g) was related to sole barley, 70 kg ammonium nitrate and weed control, which was not significantly different with 80% B: 45%V, 70 kg ammonium nitrate and weed control. Also, the highest yield of vetch grain (161.47 g) was obtained in sole vetch, application of 70 kg ammonium nitrate and weed control treatment, which was not significantly different with 80%V: 20%B intercropping, application of 70 kg ammonium nitrate and weed control treatment. Weeds in this experiment include: Wild oats (*Avena fatua*), ryegrass (*Lolium temulentum*), Bromus (*Bromus tectorum*), Fox tail (*Alopecurus myosuroides*), Wild mustard (*Sinapis arvensis*), Creeping Thistle (*Cirsium arvense*), London rocket (*Sisymbrium irio*), Cockspur grass (*Echinochloa crus-galli*) and Cornflower (*Centaurea cyanus*). The highest dry weight of weed (231.62 g) was observed in sole vetch, application of 70 $kg.ha^{-1}$ ammonium nitrate fertilizer treatment. The highest land equivalent ratio LER (1.68) is related to 80% V: 70%B, non-application of ammonium nitrate fertilizer in weed control condition. Intercropping was successful in controlling weeds and using resources, thereby increasing the yield of plants in the experiment.

Conclusion

The results obtained from the experiment showed that all different systems of barley and vetch intercropping had land equivalent ratio higher than one, which indicates the superiority of intercropping over pure crops in the land use and crop production. Intercropping treatments were also able to control weeds. Intercropping with high ability to suppress weeds were able to use more resources. On the other hand, vetch biologically stabilized nitrogen was able to reduce the need for fertilizer in plants.

Keywords: Grain yield, Monoculture, Number of spikes, Weed control

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
Homepage: https://jcesc.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۲۰، شماره ٤، زمستان ١٤٠١، ص ٥٠٠-٤٨١

اثر سطوح نیترات آمونیوم بر مخلوط جو (*Hordeum vulgare* L.) و ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia Villosa*) در شرایط رقابت علف هرز

فرزانه فرامرزی[۱]، سید محمدباقر حسینی[۲*]، حامد منصوری[۳]، دیوید فانگوئیرو[٤]، حسن علیزاده[٥]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷

چکیده

این آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح کود نیترات آمونیوم (صفر، ۳۵ و ۷۰ کیلوگرم در هکتار) و کرت‌های فرعی شامل نسبت‌های مختلف مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای (۱۰۰٪ جو (B100)- ۸۰٪ جو: ۲۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{20})- ۸۰٪ جو: ۴۵٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{45})- ۸۰٪ جو: ۷۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{70})-۱۰۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (V_{100})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۲۰٪ جو (V_{80}+ B_{20})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۴۵٪ جو (V_{80}+ B_{45})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۷۰٪ جو (V_{80}+ B_{70})) و وجین و عدم وجین علف هرز در سه تکرار بود. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه جو (۴۳۲/۴۴ گرم بر مترمربع) مربوط به تک‌کشتی جو، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز بود که تفاوت معنی‌داری با کشت مخلوط B_{80}+V_{45}، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. همچنین بیشترین عملکرد دانه ماشک (۱۶۱/۴۷ گرم بر مترمربع) در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط V_{80}+B_{20} کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. بیشترین میزان وزن خشک علف هرز (۲۳۱/۶۲ گرم بر مترمربع) در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم مشاهده شد. بیشترین میزان نسبت برابری زمین LER (۱/۶۸) مربوط به تیمار V_{80}+B_{70} و عدم کاربرد کود نیترات آمونیوم و در شرایط کنترل علف هرز می‌باشد. در بسیاری از نسبت‌های کشت مخلوط افزایشی عملکرد دانه گیاهان در حالت وجین و عدم وجین علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشت که نشان‌دهنده‌ی موفقیت کشت مخلوط افزایشی در جذب نیتروژن و سرکوب علف‌های هرز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعداد سنبله، عملکرد دانه، کشت خالص، کنترل علف هرز

مقدمه

کشاورزی فشرده علی‌رغم تولید بالا، اثرات سوء زیست‌محیطی را نیز در پی دارد که عمدتاً به دلیل استفاده از سموم و کودهای شیمیایی است. بنابراین برای تولید محصولات زراعی، به سامانه‌های کشاورزی جایگزینی نیاز است که هم از نظر اقتصادی و هم زیست‌محیطی پایدارتر باشند (Soleimanpour *et al.*, 2018). یکی از روش‌های پایدار در تولید محصولات کشاورزی کشت مخلوط است. کشت مخلوط دو یا چند گونه در یک قطعه زمین می‌تواند تنوع زیستی و بهره‌وری استفاده از منابع را از منظر کشاورزی افزایش دهد که به نوبه خود می‌تواند منجر به افزایش ثبات عملکرد گردد (Luce *et al.*, 2020; Weih *et al.*, 2021). نظریه مرتبطی که از جوامع گیاهی موجود در طبیعت به‌دست آمده است "فرضیه بیمه" است که پیش‌بینی می‌کند که جوامع گیاهی متنوع‌تر در برابر آشفتگی‌هایی مانند رویدادهای شدید اقلیمی مقاوم‌تر یا انعطاف‌پذیرتر خواهند بود، زیرا مجموعه‌های متنوع‌تر احتمال بیشتری دارد که گونه‌ها یا

۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲- دانشیار گروه زراعت، پردیس کشاورزی کرج و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳- استادیار، بخش تحقیقات چغندر قند، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران
۴- استادیار انستیتو زراعت، دانشگاه لیسبون، پرتغال
۵- استاد گروه زراعت، پردیس کشاورزی کرج و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: bhosseini@ut.ac.ir)
https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.75859.1154

ژنوتیپ هایی را در خود جای دهند که توانایی تحمل بهتر یک آشفتگی را دارند (Weih *et al.*, 2021). یکی از این آشفتگی‌ها که می‌توان در مزارع کشاورزی به آن اشاره کرد علف‌های هرز می‌باشند. علف‌های‌هرز از معضلات و مشکلات مهم درکشت محصولات کشاورزی هستند که نه تنها عملکرد و کیفیت محصول را کاهش می‌دهند، بلکه کنترل آن‌ها، هزینه‌های زیادی را به کشاورزان تحمیل می‌کند (Elhaminejad *et al.*, 2021). برای موفقیت در مدیریت علف‌های هرز نیاز به استراتژی‌های تلفیقی است. ترکیب روش‌های کنترل مستقیم علف‌های هرز مانند علف‌کش یا وجین دستی همراه با روش‌های غیرمستقیم مانند آماده‌سازی زمین، غرقاب و گیاهان زراعی رقابتی می‌توانند رشد علف‌های هرز را سرکوب کنند (Gbanguba *et al.*, 2020). استفاده از گونه‌ها با قدرت رقابت، تنظیم فاصله ردیف‌های کشت، افزایش تراکم و استفاده از سیستم‌های کشت مخلوط، همگی به‌عنوان عوامل افزایش‌دهنده‌ی توان رقابتی گیاهان زراعی مطرح هستند (Elhaminejad *et al.*, 2021). رقابت علف‌های هرز– گیاه زراعی با عادت رشد گیاه زراعی تعیین می‌شود که در آن پوشش سریع کانوپی یک گیاه، جمعیت علف‌های هرز را سرکوب می‌کند (Weerarathne *et al.*, 2017). مکانیسم کنترل علف‌های هرز در کشت مخلوط می‌تواند به این شکل باشد که یکی از گیاهان زراعی از طریق رقابت با علف‌های‌هرز، محیطی برای گیاهان زراعی دیگر فراهم نماید که در آن، زیست‌توده علف‌های‌هرز را کاهش می‌دهد. کشت مخلوط به‌عنوان یکی از راهبردهای موردتوجه در خصوص افزودن توانایی رقابتی گیاهان محسوب می‌گردد (Elhaminejad *et al.*, 2021). کشت مخلوط نسبت به تک‌کشتی به‌طور مؤثرتری از منابع استفاده می‌کند، از طریق سایه‌اندازی و خفه کردن علف‌های هرز و در برخی موارد با خاصیت دگرآسیبی، از رشد و گسترش علف‌های‌هرز جلوگیری می‌کند همچنین کاهش آشیانه‌های خالی در کشت‌های مخلوط منجر به کاهش مقدار مواد قابل دسترس برای استفاده علف‌های هرز می‌گردد (Zimdahl, 2007). توانایی نظام‌های کشت مخلوط برای رقابت با علف‌های‌هرز و کنترل آن‌ها به عوامل مختلفی از جمله ترکیب گیاهان، ارقام، تراکم یا نسبت‌های کشت مخلوط و حاصلخیزی خاک وابسته است (Asadi & Khorramdel, 2014). آجینهو و همکاران (Agegnehu *et al.*, 2008) در آزمایش خود نشان دادند که کشت مخلوط گندم (*Triticum aestivum*)– باقلا (*Vicia faba*) باعث افزایش عملکرد کل، کاهش رشد علف‌های هرز، افزایش کارایی استفاده از زمین و در نتیجه افزایش پایداری در تولید شد. فرناندز آپاریکو و همکاران (Fernandez-Aparicio *et al.*, 2008) در آزمایش خود نشان دادند که کشت مخلوط شنبلیله (*Trigonella foenum-graecum*) با دیگر بقولات، به‌دلیل اثرات دگرآسیبی ریشه شنبلیله بر چرخه زندگی گل‌جالیز (*Orobanche*)، در مرحله جوانه‌زنی باعث کاهش خسارت این علف‌هرز شد.

کشت مخلوط با گیاهان تیره لگومینوزه یکی از مرسوم‌ترین انواع الگوهای کشت مخلوط است که دارای سابقه‌ای طولانی در بسیاری از مناطق جهان می‌باشد (Asadi & Khorramdel, 2014). کشت مخلوط غلات و لگومینوزها برای توسعه نظام‌های پایدار تولید غذا، به‌ویژه در نظام‌های کاشت بر مبنای کاهش مصرف نهاده‌های خارجی توصیه گردیده است (Asadi & Khorramdel, 2014). اهمیت این نظام‌ها بر نیتروژن تثبیت‌شده به‌وسیله لگوم‌ها متکی می‌باشد (Bedoussac *et al.*, 2015). پلزر و همکاران (Pelzer *et al.*, 2012) اظهار داشتند که کشت مخلوط گندم و نخود (*Cicer arietinum*) می‌تواند باعث تولید عملکرد بالایی از گندم شود، به طوری‌که علاوه بر پایداری اقتصادی، سازگار با محیط‌زیست نیز باشد. با توجه به مطالعات مالزیو و همکاران (Malézieux *et al.*, 2009) کشت مخلوط غلات– لگوم باعث افزایش پایداری عملکرد در مقایسه با سیستم‌های تک‌کشتی شد. چاپاگاین و رایسمن (Chapagain & Riseman, 2014) در آزمایش خود نشان دادند که نسبت برابری زمین در تیمارهای کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*)– نخود نسبت به تیمارهای تک‌کشتی ۳۲ درصد بیشتر بود. ماشک گل‌خوشه‌ای (*Vicia villosa* Roth.) یکی از گیاهان علوفه‌ای از تیره لگومینوز می‌باشد که کاشت آن به‌دلیل تثبیت بیولوژیکی نیتروژن منجر به بهبود حاصلخیزی می‌شود و در پی آن عملکرد بهبود می‌یابد. کشت مخلوط این گیاه، راهکار مناسبی برای افزایش عملکرد و ارتقای پایداری تولید در نظام‌های کشاورزی کم نهاده می‌باشد (Asadi & Khorramdel, 2014). احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2010) گزارش دادند که تیمارهای مخلوط ماشک و جو به‌دلیل بهره‌برداری بهتر از نور، منجر به بهبود عملکرد شدند. حبیبی و همکاران (Habibi *et al.*, 2010) اظهار داشتند که بالاترین عملکرد علوفه خشک، نسبت برابری زمین بیش از یک و بالاترین کیفیت علوفه در ترکیب ۵۰ درصد ماشک+ ۵۰ درصد جو به‌دست آمد. توستی و همکاران (Tosti *et al.*, 2010) با بررسی رقابت و مساعدت کشت مخلوط افزایشی ماشک گل خوشه‌ای و جو در شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای، بیان کردند که نسبت‌های مخلوط منجر به بهبود نسبت برابری زمین گردید و در کلیه نسبت‌ها در مقایسه با تک‌کشتی کارایی استفاده از منابع افزایش داشت. از آنجا که ماشک گل‌خوشه‌ای گونه‌ای متحمل نسبت به سرما است کاشت این گیاه همچنین می‌تواند مزایایی مانند بهبود حاصلخیزی خاک، ایجاد تعادل در میزان تشعشع، رطوبت، دما و نیز نیتروژن را به همراه داشته باشد. همچنین با توجه به‌این‌که بالاترین میزان آبشویی نیترات طی پاییز و زمستان صورت می‌گیرد کاشت گیاهان خانواده لگومینوزه که دارای تحمل

نسبتاً مناسب به سرما می‌باشند می‌تواند مانع تلفات نیتروژن شود و از این طریق علاوه بر حفظ محیطزیست و جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی، موجب کاهش هزینه‌های تولید گردد (Asadi & Khorramdel, 2014).

بنابراین، با توجه به اهمیت لگوم‌ها در الگوی کشت این آزمایش با هدف مطالعه اثر نسبت‌های کشت مخلوط ردیفی جو و ماشک گل‌خوشه‌ای و سطوح مختلف کود نیترات آمونیوم بر زیست‌توده علف‌های‌هرز، اجزای عملکرد و عملکرد دو گونه در شرایط آب و هوایی کرج طراحی و اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۹۹-۱۳۹۸ به‌صورت کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. کرت‌های اصلی شامل سه سطح کود نیترات آمونیوم (صفر، ۳۵ و ۷۰کیلوگرم در هکتار) و کرت‌های فرعی شامل نسبت‌های مختلف مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای (۱۰۰٪ جو (B100)- ۸۰٪ جو: ۲۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{20})- ۸۰٪ جو: ۴۵٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{45})- ۸۰٪ جو: ۷۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (B_{80}+V_{70})- ۱۰۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای (V_{100})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۲۰٪ جو (V_{80}+ B_{20})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۴۵٪ جو (V_{80}+ B_{45})- ۸۰٪ ماشک گل‌خوشه‌ای: ۷۰٪ جو (V_{80}+ B_{70})) و وجین و عدم وجین علف هرز در سه تکرار بود. در این تحقیق از روش کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی جو: ماشک گل‌خوشه‌ای استفاده شد و به‌صورت افزایش تراکم بر روی ردیف‌های کاشت بود. به این شکل که با افزایش نسبت کشت هر گونه فاصله بین بوته‌ها روی ردیف کاهش یافت. جهت انجام عملیات آماده‌سازی زمین ابتدا با گاو آهن برگردان‌دار شخم و سپس دیسک زده شد. تراکم بوته در تک‌کشتی جو و ماشک ۲۵۰ بوته در متر مربع بود (Asadi & Khorramdel, 2014; Mohsenabadi *et al.*, 2008). تجزیه واریانس وزن خشک علف‌هرز نیز به‌صورت کرت خردشده در قالب بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد که در آن سطوح کود نیترات آمونیوم به‌عنوان کرت‌های اصلی و نسبت‌های مختلف کشت به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شد.

نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت که نتایج آن نشان داد که خاک مزرعه محل آزمایش دارای بافت لومی رسی با pH برابر ۷/۵ و هدایت الکتریکی $dS.m^{-1}$ ۱/۲۳، دارای ۰/۰۸۱ درصد نیتروژن، ۰/۷۷ درصد کربن آلی و ۶۱/۴ $mg.kg^{-1}$ فسفر قابل‌جذب و ۱۰۸ $mg.kg^{-1}$ پتاسیم قابل‌جذب بود. اطلاعات هواشناسی منطقه نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک کرج طی دوره آزمایش در سال ۹۹-۱۳۹۸

Table 1- Meteorological statistics (monthly) of Karaj synoptic station during the experimental period in 2019-20

ماه Month	بارش Precipitation (mm)	دمای حداقل Minimum temperature	دمای حداکثر Maximum temperature	دمای میانگین Average temperature	ساعات آفتابی Sunny hours (h)
		بر حسب سانتی‌گراد (°C)			
آبان November	103.62	4.98	14.17	9.57	6.21
آذر December	30.16	2.39	10.3	6.34	5.37
دی January	38.54	-0.38	7.66	3.64	6.1
بهمن February	34.45	-0.81	8.33	3.76	6.99
اسفند March	100.65	4.88	15.9	10.39	7.14
فروردین April	94.22	5.61	16.32	10.96	6.94
اردیبهشت May	56.15	11.01	21.21	16.11	9.09
خرداد June	0	16.9	34.16	25.53	11.8
تیر July	0	19.2	34.3	26.75	11.16

فاصله بین ردیف‌های کشت ۲۵ سانتی‌متر و در کشت‌های مخلوط افزایشی، افزایش تراکم بر روی ردیف‌ها انجام گرفت به طوری که با افزایش تراکم فاصله بین بوته‌ها کمتر گردید که بر اساس افزایش در ردیف در هر تیمار این فاصله متغیر بود. اندازهٔ کرت‌ها ۶×۲ و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر و بلوک‌ها یک متر در نظر گرفته شد. زمین به‌صورت جوی و پشته تهیه گردید. دانه‌ها قبل از کاشت از نظر قوه نامیه آزمایش شدند و میزان قوه نامیه برای هر دو نوع دانه، بیش از ۹۰ درصد بود. بذور در آبان ماه کشت شدند.

ارقام مورد استفاده برای این پژوهش شامل جو رقم مهتاب که از مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران و ماشک گل‌خوشه‌ای رقم نئوپلانتا که از شرکت دانه نگین سبز برنا تهیه شد. مرحله اول کوددهی همزمان با کاشت از منبع کود نیترات آمونیوم و به میزان یک سوم به هر کرت اضافه و مرحله دوم و سوم کوددهی نیز به‌ترتیب در دو مرحله ساقه رفتن و مرحله ظهور سنبله انجام شد. آبیاری (به‌صورت بارانی) اول بلافاصله پس از کاشت انجام شد و فاصله آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه انجام شد. در تیمارهای بدون علف‌هرز وجین دستی دو بار در مراحل پنجه‌زنی و خوشه رفتن جو انجام شد. به‌منظور بررسی تأثیر نسبت‌های کشت مخلوط بر وزن خشک علف‌های‌هرز، نمونه‌برداری با استفاده از کوادرات یک در یک انجام شد. تعداد پنج بوته جهت اندازه‌گیری اجزای عملکرد انتخاب گردید و روش اندازه‌گیری به شیوه تخریبی بود. در پایان فصل رشد، گیاهان با حذف اثرات حاشیه‌ای (به میزان نیم متر) برداشت شده و عملکرد و اجزای عملکرد برای ماشک گل‌خوشه‌ای و جو اندازه‌گیری و ثبت شد. برداشت نهایی نیز در تیر ماه انجام شد. نمونه‌برداری از علف‌های هرز جهت تعیین تراکم و وزن خشک آن‌ها قبل از برداشت گیاهان با استفاده از کوآدرات یک در یک صورت پذیرفت. وزن خشک گیاهان زراعی و علف‌های هرز پس از قرار گرفتن در آون (۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری و تعیین شد. برای ارزیابی نسبت‌های کشت مخلوط شاخص نسبت برابری زمین بر اساس رابطه (۱) محاسبه شد (Gliessman, 1990):

$$LER= (Yij/Yii) +(Yji/Yjj) \quad (۱)$$

که در این معادله Yii= عملکرد گونه i در کشت خالص، Yjj= عملکرد گونه j در کشت خالص، Yij= عملکرد گونه i در کشت مخلوط، Yji= عملکرد گونه j در کشت مخلوط می‌باشد.

داده‌ها با نرم‌افزار SAS 9.1 تجزیه شدند. از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (P≤۰/۰۵) جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

نتایج و بحث

جو

تعداد سنبله

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود نیترات آمونیوم، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و وجین علف هرز در سطح یک درصد بر تعداد سنبله معنی‌دار بودند همچنین بر همکنش سه عامل در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بود اما سایر تیمارها اثر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۲). بیشترین تعداد سنبله در تیمار تک‌کشتی جو B_{100} (۴۶۴ سنبله در متر مربع)، کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط $B_{80}+V_{45}$ و مصرف کود ۳۵ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. کمترین تعداد سنبله (۶۰/۶۷) نیز در تیمار کشت مخلوط $V_{80}+B_{20}$، عدم مصرف کود و عدم کنترل علف هرز مشاهده شد (جدول ۳).

در آزمایش سلیمانپور و همکاران (Soleimanpour *et al.*, 2018) نیز مشخص شد بیشترین تعداد سنبله در مترمربع مربوط به تیمار تک‌کشتی جو و کنترل علف هرز بود. علت کمتر بودن تعداد سنبله در کشت مخلوط را می‌توان به علت جایگزینی بخشی از سطح زیر کاشت به‌وسیله گیاه لگوم، رقابت بین گیاهان زراعی همراه و علف‌های هرز به‌ویژه برای کسب مواد غذایی دانست. علاوه بر این تعداد سنبله جو در تیمارهایی که نسبت ماشک در حضور علف هرز افزایش یافت نسبت به تیمارهایی که درصد جو در حضور علف هرز افزایش یافت کمتر بود که علت آن را می‌توان قدرت رقابت کمتر لگوم‌ها با علف‌های هرز و در نتیجه افزایش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز در این تیمارهای کشت مخلوط دانست. در تحقیقات دیگر بیان شد که وجین علف‌های هرز منجر به افزایش مواد مغذی در دسترس گیاهان زراعی می‌گردد که همین امر افزایش تعداد سنبله را در پی دارد (Seyedi *et al.*, 2012). در تحقیق بارکر و دنت (Barker & Dennett, 2013) مشخص شد که تعداد سنبله گندم در تک‌کشتی بیشتر از کشت مخلوط گندم و باقلا بود.

تعداد دانه در سنبله

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است اثرات اصلی نیترات آمونیوم، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و وجین علف هرز و همچنین برهمکنش کود نیترات آمونیوم و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در سطح یک درصد بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار بودند. بیشترین تعداد دانه در سنبله (۵۵/۵۰) مربوط به تیمار کشت مخلوط $V_{80}+B_{45}$ و مصرف ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم بود که منجر به

افزایش ۶۲ درصدی نسبت به تیمار $V_{80}+B_{70}$ و عدم مصرف کود شد (شکل ۱). کمترین (۲۱) نیز در تیمار $V_{80}+B_{70}$ و عدم مصرف کود مشاهده شد (شکل ۱). همین‌طور از تیمار کنترل علف هرز بیشترین تعداد دانه در سنبله (۴۱/۲۲) حاصل شد و کمترین (۳۷/۹۵) نیز مربوط به عدم کنترل علف هرز بود (شکل ۲).

کهراریان و همکاران (Kahraryan *et al.*, 2018) گزارش دادند که بیشترین تعداد دانه در سنبله در کشت مخلوط جو و ماشک با متوسط ۴۵/۹۷ دانه مربوط به تیمار تراکم ۲۵۰ بوته ماشک+ ۳۰۰ بوته جو می‌باشد این محققان گزارش دادند که این تیمار منجر به افزایش ۱۸/۷۸ درصدی این صفت نسبت به کشت خالص گردید. این محققان اظهار داشتند که افزایش تراکم بوته ماشک به ۶۵۰ بوته از تعداد دانه در سنبله جو کاسته شد. در آزمایش دیگری بیان شد که با افزایش نسبت یونجه یک‌ساله در کشت مخلوط با جو از تعداد دانه در سنبله جو کاسته شد (Sadeghpour & Jahanzad, 2012). اما با این‌حال تعداد دانه در سنبله در کشت‌های مخلوط بیشتر از تک‌کشتی بود. در واقع در کشت مخلوط رقابت برون گونه‌ای ماشک نسبت به رقابت درون گونه‌ای جو کاهش یافته و فضای بیشتری برای رشد جو فراهم گردید و رشد جو افزایش یافت و ماده فتوسنتزی بیشتری به سنبله‌ها انتقال یافت و این مسئله سبب تشکیل تعداد دانه‌های بیشتری در سنبله شده و در اثر آن تعداد دانه در سنبله افزایش یافته است. در آزمایش سلیمانپور و همکاران (Soleimanpour *et al.*, 2018) بیشترین تعداد دانه در سنبله در کشت مخلوط جو و باقلا مشاهده شد این محققان اظهار داشتند که کاهش تداخل علف‌های هرز باعث افزایش تعداد دانه در این تیمار شد.

وزن هزار دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی سطوح مختلف کود نیترات آمونیوم، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و وجین علف هرز و برهمکنش نیترات آمونیوم و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و برهمکنش نیترات آمونیوم و وجین بر وزن هزار دانه معنی‌دار بودند ($P\leq۰/۰۵$) (جدول ۲). مطابق با نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان وزن هزار دانه (۶۳/۴ گرم) در تیمار $B_{80}+V_{45}$ و کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار نسبت کشت مخلوط $B_{80}+V_{70}$ و کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم نداشت (شکل ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر مصرف کود آمونیوم نیترات، نسبت‌های کشت مخلوط با ماشک گل خوشه‌ای و مدیریت علف‌های هرز بر صفات مختلف جو

Table 2- Variance analysis of ammonium nitrate fertilizer use, different ratios of intercropping with vetch effects on different traits of barley

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد سنبله Number of spikes	تعداد دانه در سنبله Number of seeds per spike	وزن هزار دانه 1000- seed weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	317.06**	1.20ns	0.06ns	803.15*
کود آمونیوم نیترات (A) Ammonium nitrate fertilizer (A)	2	8727.98**	2506.48**	6.08**	11672.87**
خطای اصلی Error main	4	10.51	16.22	0.07	83.80
نسبت‌های کشت مخلوط (B) Intercropping ratios (B)	6	285795.03**	435.79**	5.87**	107403.14**
مدیریت علف هرز (C) Weed management (C)	1	6718.92**	336.79**	1.54**	1309.45ns
A × B	12	752.63ns	79.23**	0.33**	2492.10**
A × C	6	184.21ns	10.87ns	0.12*	2842.51*
B × C	2	353.70ns	41.72ns	0.00ns	5107.24**
A × B × C	12	1104.83*	17.49ns	0.01ns	1931.48*
خطای فرعی Error sub	78	565.31	20.04	0.05	1014.13
ضریب تغییرات (C.V)		7.9	11.3	4.3	10.6

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

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

جدول ۳- اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفات مختلف جو

Table 3- The triple interaction of different treatments on different traits of barley

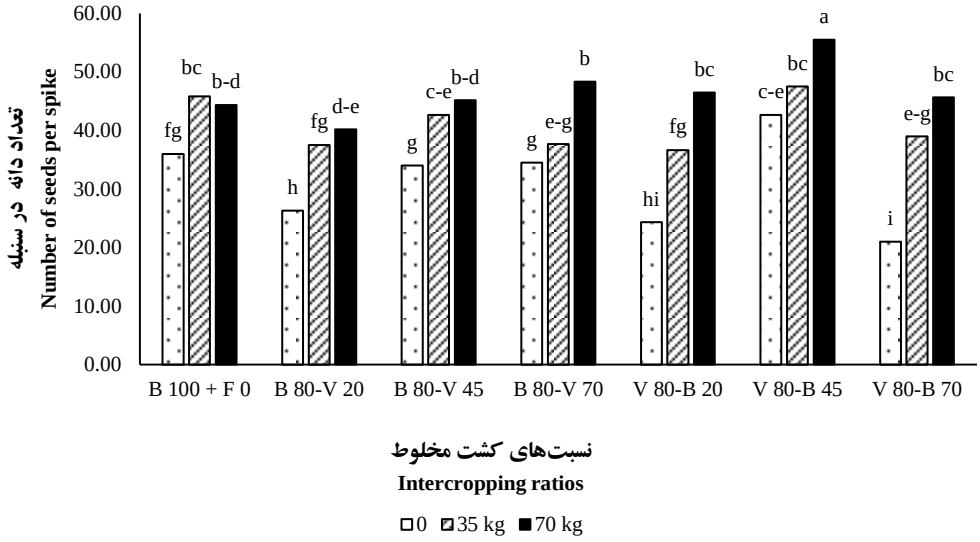
کود آمونیوم نیترات Ammonium nitrate (kg.ha^{-1})	نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	مدیریت علف هرز Weed management	تعداد سنبله Number of spikes (m^{-2})	عملکرد دانه Grain yield (g.m^{-2})
کود صفر 0 (kg.ha^{-1})	B_{100}	Weedy	407.67^{d-g}	352.14^{c-h}
	B_{100}	Free weeds	416.33^{c-f}	361.16^{b-f}
	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	341.03^{i-m}	272.49^{k-o}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	314.33^{m-o}	365.60^{b-e}
	$B_{80}+V_{45}$	Weedy	371.33^{g-j}	328.25^{d-i}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	391.00^{e-h}	365.18^{b-e}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	307.00^{m-o}	311.24^{f-k}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	378.33^{f-i}	325.53^{d-j}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	60.67^{s}	114.18^{u}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	93.00^{s}	122.32^{u}
	$V_{80}+B_{45}$	Weedy	151.33^{r}	218.26^{p-r}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	165.33^{qr}	227.28o^{-r}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	284.33^{o}	302.20^{h-m}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	291.67^{no}	334.36^{c-i}
35 (kg.ha^{-1})	B_{100}	Weedy	424.33^{b-e}	367.26^{b-e}
	B_{100}	Free weeds	455.67^{ab}	372.42^{b-e}
	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	331.33^{k-m}	308.64^{g-l}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	334.00^{j-m}	343.32^{c-h}
	$B_{80}+V_{45}$	weedy	406.00^{d-g}	351.61^{c-h}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	452.07^{a-c}	381.16^{a-c}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	340.33^{i-m}	335.49^{c-i}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	326.67^{k-n}	324.07^{e-k}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	70.67^{s}	138.49^{tu}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	93.67^{s}	153.39^{s-u}
	$V_{80}+B_{45}$	Weedy	173.00^{p-r}	244.23^{n-q}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	184.00^{p-r}	257.34^{l-p}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	307.33^{m-o}	332.26^{c-i}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	331.67^{k-m}	284.88^{i-n}
70 (kg.ha^{-1})	B_{100}	Weedy	441.00^{a-d}	412.40^{ab}
	B_{100}	Free weeds	464.00^{a}	432.44^{a}
	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	321.00^{l-o}	322.45^{e-k}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	356.67^{h-l}	324.29^{e-j}
	$B_{80}+V_{45}$	Weedy	431.67^{a-d}	376.28^{b-d}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	421.00^{b-e}	302.46^{h-m}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	362.33^{h-k}	362.51^{b-f}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	345.00^{i-m}	373.50^{b-e}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	84.00^{s}	178.21^{r-t}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	94.67^{s}	204.19^{q-s}
	$V_{80}+B_{45}$	Weedy	201.67^{pq}	276.31^{j-o}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	208.00^{p}	291.46^{i-n}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	316.33^{m-o}	357.24^{c-g}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	324.00^{k-n}	251.17^{m-q}
		$LSD_{0.05}$	38.6	51.8

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, similar letters show that there is no significant difference according to the LSD test at the level of 5% probability.

کمترین (۳۳/۷ گرم) نیز در تیمار شاهد عدم مصرف نیترات آمونیوم و کشت خالص جو به‌دست آمد (شکل ۳). در مورد برهمکنش کود نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز مشاهده شد که بیشترین وزن هزار دانه (۵۷/۴ گرم) از تیمار کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و وجین علف هرز به‌دست آمد که منجر به افزایش ۱۷ درصدی نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۴). کمترین (۴۷/۴ گرم) نیز در تیمار عدم مصرف کود نیترات آمونیوم و عدم کنترل علف هرز مشاهده شد (شکل ۴). مورفولوژی متفاوت این دو گونه در نسبت‌های مختلف کشت مخلوط در به دام انداختن تشعشع خورشیدی مفید بوده که این امر در نتیجه به دلیل افزایش جذب نور، بهبود اجزای عملکرد

هر دو گونه را در مقایسه با کشت خالص به دنبال داشته است. اسدی و خرم دل (Asadi & Khorramdel, 2014) در آزمایش خود بیان کردند که بیشترین وزن صد دانه جو در کشت مخلوط جو و ماشک مربوط به تیمار ۵۰ درصد جو و ۵۰ درصد ماشک بود.

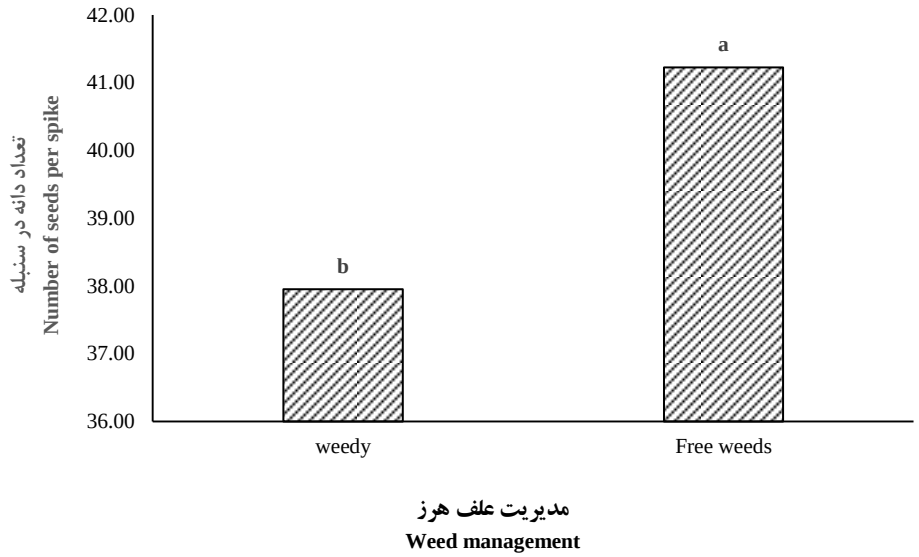


شکل ۱- برهمکنش اثر نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و سطوح کود نیترات آمونیوم بر تعداد دانه در سنبله

Figure 1- Interaction of different intercropping ratios and ammonium nitrate fertilizer levels on number of seeds per spike

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=5.14)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=5.14)

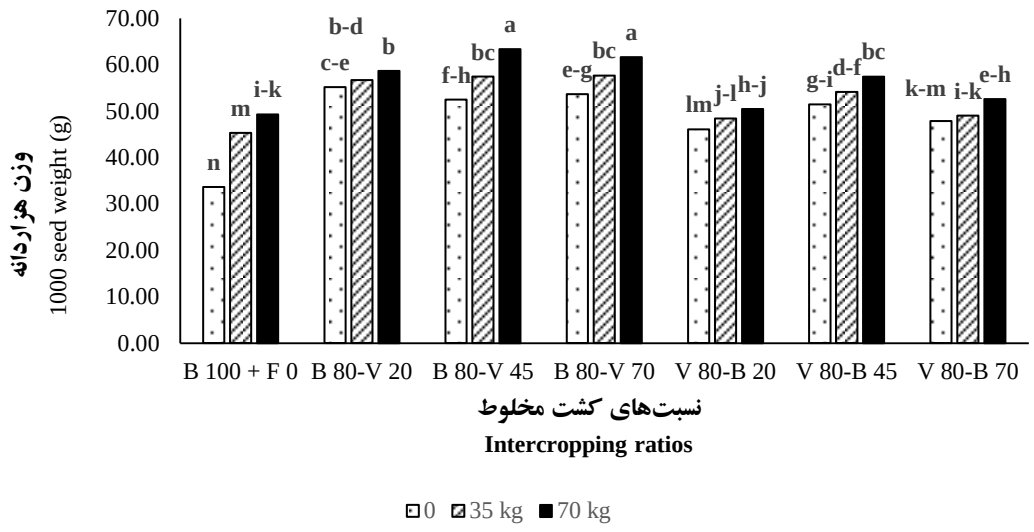


شکل۲- مقایسه اثر مدیریت علف هرز بر تعداد دانه در سنبله جو

Figure 2- The effect of weed management on the number of seeds per spike

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=1.59)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=1.59)

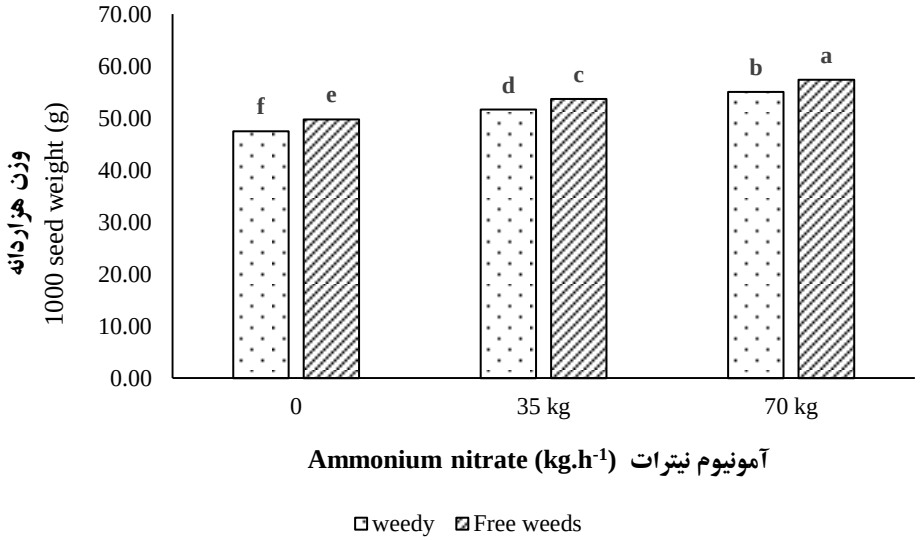


شکل ۳- اثر برهمکنش نسبت‌های مختلف کشت و سطوح مختلف نیترات آمونیوم بر وزن هزار دانه جو

Figure 3–Effect of different intercropping ratios and ammonium nitrate fertilizer levels interaction on 1000 seed weight of barley

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=2.57)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=2.57)



شکل ٤- اثر برهمکنش سطوح مختلف نیترات آمونیوم و مدیریت علف هرز بر وزن هزار دانه جو

Figure 4- Effect of different ammonium nitrate fertilizer levels and weed management interaction on 1000 seed weight of barley

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=1.37)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=1.37)

در آزمایش کهراریان و همکاران (Kahraryan *et al.*, 2018) نیز مشاهده شد که بیشترین وزن هزار دانه جو مربوط به تیمار تراکم ۶۵۰ بوته ماشک + ۳۰۰ بوته جو بود. در آزمایش آن‌ها با افزایش تراکم بوته ماشک از وزن هزار دانه جو کاسته شده است که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت. تصور می‌شود با افزایش تراکم مواد فتوسنتزی باید در تعداد بیشتری از مخازن توزیع شود و این امر

موجب کاهش وزن هزار دانه در تراکم‌های بالاتر می‌شود (Kahraryan *et al.*, 2018). در آزمایش ونگ و شانگوان (Wang & Shangguan, 2016) و همین‌طور لیو و همکاران (Luo *et al.*, 2021) گزارش شدکه کاربرد میزان مناسب کود نیتروژن منجر به افزایش وزن هزار دانه گندم در کشت مخلوط آن با باقلا (Vicia faba) شد. با این حال تصور می‌شود تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ماشک و در اختیار قرار گرفتن آن برای جو تأثیر مثبتی در افزایش وزن هزار دانه جو داشته است.

عملکرد دانه

مطابق با نتایج تجزیه واریانس جدول ۲ مشخص شد که اثرات اصلی سطوح مختلف کود آمونیوم نیترات و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و برهمکنش‌های کود نیترات آمونیوم و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و وجین علف هرز و آمونیوم نیترات و وجین و برهمکنش سه عامل بر عملکرد دانه معنی‌دار بودند ($P\leq$۰/۰۵). بیشترین عملکرد دانه (۴۳۲/۴۴ گرم در متر مربع) متعلق به تیمار تک‌کشتی جو، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز بود که تفاوت معنی‌داری با کشت مخلوط $B_{80}+V_{45}$، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. کمترین (۱۱۴/۱۸ گرم در مترمربع) نیز در تیمار کشت مخلوط $V_{80}+B_{20}$، عدم مصرف کود و عدم کنترل علف هرز به‌دست آمد (جدول ۳). در آزمایش سلیمانپور و همکاران (Soleimanpour *et al.*, 2018) در بررسی کشت مخلوط غلات و لگوم‌ها مشاهده شد که بیشترین عملکرد در بین غلات مربوط به تک‌کشتی جو و مخلوط آن با نخود و باقلا و در حالت کنترل علف هرز بود. این محققان بیان کردند که رشد سریع و ارتفاع بلند جو و کنترل موفق علف‌های هرز توسط آن منجر به تولید عملکرد بالاتر آن شد. اگرچه عملکرد تیمارهای کشت مخلوط نسبت به تیمارهای تک‌کشتی کمتر بود، اما در برخی از موارد این اختلاف معنی‌دار نبود. محسن آبادی و همکاران (Mohsenabadi *et al.*, 2008) نیز گزارش کردند که کاربرد کود نیتروژن به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه جو در تک‌کشتی آن گردید. این محققان اظهار داشتند که جو با توانایی برتر خود در جذب نیتروژن و سیستم ریشه‌زایی قوی‌تر، توانست از منابع موجود استفاده موثرتری داشته باشد که باعث شد در تیمارهای کشت مخلوط به محصول غالب تبدیل شود. نتایج آزمایش دیگر نیز افزایش ۱۶ درصدی عملکرد گندم تحت تأثیر کود نیتروژن را در کشت مخلوط گندم و باقلا نشان داد (Wang & Shangguan, 2016).

جدول ٤- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای مختلف بر صفات مختلف ماشک گل‌خوشه‌ای

Table 4- Variance analysis of different treatments effects on different traits of vetch

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	وزن صد دانه 100 seed weight	عملکرد دانه Grain yield
بلوک Block	2	0.42^{ns}	33.29^{**}	167.77^{**}
کود آمونیوم نیترات Ammonium nitrate fertilizer (A)	2	3.049^{*}	102^{**}	6887.72^{**}
Error main خطای اصلی	4	0.239	0.57	1.13
نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios (B)	6	3.016^{**}	48.95^{**}	16727.43^{**}
مدیریت علف هرز Weed management (C)	1	0.888^{**}	29.87^{**}	1279.83^{**}
A × B	12	0.05^{**}	5.45^{*}	654.38^{**}
A × C	6	0.01^{ns}	1.45^{ns}	39.75^{ns}
B × C	2	0.0003^{ns}	3.8^{ns}	61.76^{ns}
A × B × C	12	0.04^{**}	1.33^{ns}	165.88^{*}
خطای فرعی Error sub	78	0.016	2.71	87.02
ضریب تغییرات (C.V)		3.8	4.5	10.9

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

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

جدول ۵- اثر متقابل سه‌گانه تیمارهای مختلف بر صفات مختلف ماشک گل‌خوشه‌ای

Table 5- The triple interaction of different treatments on different traits of vetch

کود نیترات آمونیوم Ammonium nitrate fertilizer	نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	مدیریت علف هرز Weed management	تعداد دانه در غلاف Number of seeds per pod	عملکرد دانه Grain yield ($g.m^{-2}$)
کود صفر 0	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	2.17^{s}	42.16^{s}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	2.31^{s}	49.07^{rs}
	$B_{80}+V_{45}$	Weedy	2.66^{r}	48.19^{rs}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	2.87^{pq}	50.14^{q-s}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	3.08^{m-o}	53.51^{o-s}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	3.17^{k-o}	64.83^{m-q}
	V_{100}	Weedy	3.36^{h-k}	97.14^{g-i}
	V_{100}	Free weeds	3.66^{b-d}	104.11^{f-h}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	3.41^{e-j}	91.14^{h-j}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	3.57^{b-f}	98.12^{g-i}
	$V_{80}+B_{45}$	weedy	3.22^{j-o}	96.14^{g-i}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	3.25^{j-n}	88.07^{i-l}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	3.11^{mn}	63.17^{n-r}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	3.33^{g-k}	79.12^{j-m}
۳۵ کیلوگرم 35 kg	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	2.55^{r}	44.87^{s}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	2.72^{qr}	48.06^{rs}
	$B_{80}+V_{45}$	Weedy	3.02^{op}	51.17^{rs}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	3.09^{m-o}	66.36^{m-o}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	3.33^{g-k}	73.17^{mn}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	3.48^{d-h}	64.32^{m-q}
	V_{100}	Weedy	3.71^{bc}	117.51^{d-f}
	V_{100}	Free weeds	4.00^{a}	123.12^{c-e}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	3.64^{b-d}	114.14^{d-f}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	4.00^{a}	117.13^{d-f}
	$V_{80}+B_{45}$	weedy	3.30^{h-l}	88.17^{i-l}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	3.36^{g-k}	108.11^{e-g}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	3.38^{f-j}	84.15^{i-l}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	3.46^{d-i}	75.18^{k-n}
۷۰ کیلوگرم 70 kg	$B_{80}+V_{20}$	Weedy	3.06^{n-p}	52.71^{o-s}
	$B_{80}+V_{20}$	Free weeds	3.16^{k-o}	65.48^{m-p}
	$B_{80}+V_{45}$	Weedy	3.17^{k-o}	63.04^{n-r}
	$B_{80}+V_{45}$	Free weeds	3.27^{i-m}	60.48^{n-r}
	$B_{80}+V_{70}$	Weedy	3.53^{b-g}	65.12^{m-q}
	$B_{80}+V_{70}$	Free weeds	3.62^{b-e}	66.46^{n-o}
	V_{100}	Weedy	4.03^{a}	146.32^{ab}
	V_{100}	Free weeds	4.11^{a}	161.47^{a}
	$V_{80}+B_{20}$	Weedy	4.04^{a}	134.14^{bc}
	$V_{80}+B_{20}$	Free weeds	4.08^{a}	153.51^{a}
	$V_{80}+B_{45}$	Weedy	3.43^{e-j}	124.17^{cd}
	$V_{80}+B_{45}$	Free weeds	4.03^{a}	126.49^{cd}
	$V_{80}+B_{70}$	Weedy	3.51^{c-h}	74.13^{k-n}
	$V_{80}+B_{70}$	Free weeds	3.72^{b}	88.47^{i-k}
		$LSD_{0.05}$	0.207	15.2

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, similar letters show that there is no significant difference according to the LSD test at the level of 5% probability.

ماشک

تعداد دانه در غلاف

از نتایج این آزمایش مشخص شد که اثر اصلی نیترات آمونیوم و اثرات اصلی نسبت‌های مختلف کشت و مدیریت علف‌های هرز و برهمکنش نسبت‌های مختلف کشت و نیترات آمونیوم و برهمکنش سه عامل بر تعداد دانه در غلاف معنی‌دار بودند ($P\leq۰/۰۵$) (جدول ۴). بیشترین تعداد دانه در غلاف (۴/۱۱) مربوط به تیمار تک‌کشتی ماشک کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کنترل علف

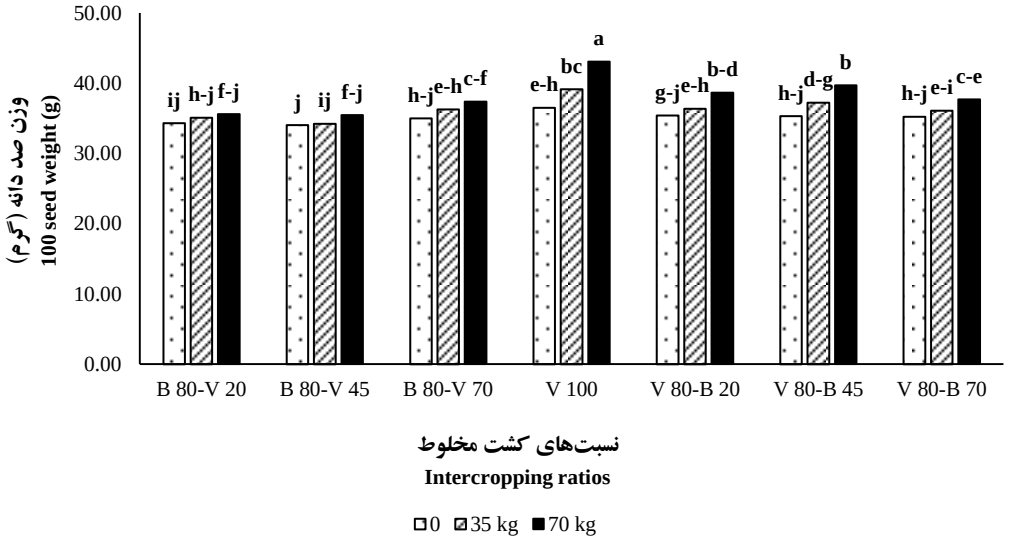
هرز بود که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط $V_{80}+B_{20}$ کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. کمترین نیز با ۲/۱۷ دانه در غلاف در تیمار $B_{80}+V_{20}$ عدم کاربرد کود و عدم کنترل علف هرز مشاهده شد (جدول ۵). تیمار بیشترین تعداد دانه در غلاف منجر به افزایش ۴۷/۲۰ درصدی نسبت به تیمار کمترین تعداد دانه در غلاف شد.

در آزمایش حمزه‌ای و همکاران (Hamzei *et al.*, 2012) مشاهده شد که در تمامی تیمارهای الگوی کشت نخود و جو تعداد دانه در غلاف نخود در تیمارهای حضور علف هرز کمتر از حالت کنترل علف هرز بود. از سوی دیگر در نتایج آزمایش این محققان گزارش شد که در تیمارهای عدم حضور علف هرز و الگوی کشت ۱۰۰ درصد نخود و جو و ۱۰۰ نخود و ۷۵ درصد جو بیشترین میزان تعداد دانه در غلاف را در نخود تولید کردند. در آزمایش حاضر مشاهده شد در تیمارهایی مانند $V_{80}+B_{20}$ و مصرف ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و $V_{80}+B_{20}$ و عدم مصرف کود در شرایط حضور علف هرز تعداد دانه در غلاف نسبت به تک‌کشتی آن‌ها در شرایط حضور علف بیشتر بود. این موضوع نشان‌دهنده‌ی کنترل بهتر علف‌های هرز و در نتیجه استفاده بیشتر از کود در حضور علف‌های هرز در این تیمارهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی آن‌ها در حضور علف هرز می‌باشد.

محققان زیادی برتری کشت مخلوط نسبت به تک‌کشت را در کنترل علف هرز و جذب عناصر گزارش داده‌اند (Azizi *et al.*, 2018; Gu *et al.*, 2021).

وزن صد دانه

اثرات اصلی نسبت‌های مختلف کشت، کود نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز و برهمکنش نیترات آمونیوم و نسبت‌های مختلف کشت بر وزن صد دانه ماشک معنی‌دار بودند ($P\leq۰/۰۵$) (جدول ۴). بیشترین وزن صد دانه (۴۳/۰۵ گرم) در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کمترین (۳۴/۰۴ گرم) نیز در تیمار کشت مخلوط $B_{80}+V_{45}$ و عدم کاربرد کود نیترات آمونیوم به‌دست آمد که تیمار بیشترین وزن صد دانه منجر به افزایش ۲۰/۹۲ درصدی نسبت به تیمار کمترین وزن صد دانه شد (شکل ۵). همچنین تیمار کنترل علف هرز دارای بیشترین وزن صد دانه (۳۷ گرم) بود که منجر به افزایش ۲/۴۳ درصدی نسبت به تیمار عدم کنترل علف هرز شد. کمترین وزن صد دانه (۳۶/۱ گرم) نیز با تیمار عدم کنترل علف هرز به‌دست آمد (شکل ۶).

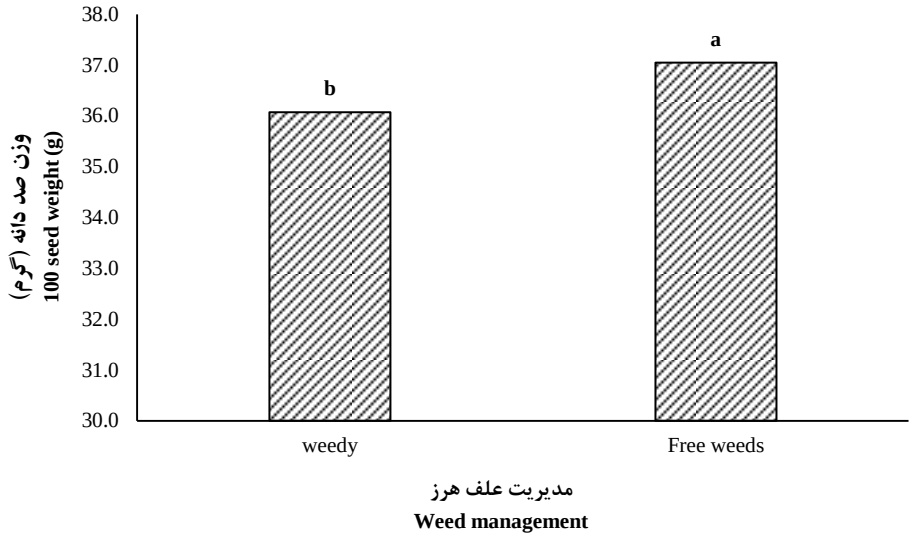


شکل ۵- اثر برهمکنش نسبت‌های مختلف کشت مخلوط با جو و سطوح مختلف نیترات آمونیوم بر وزن صد دانه ماشک گل‌خوشه‌ای

Figure 5- Effect of different intercropping ratios with barley and ammonium nitrate fertilizer levels interaction on 100 seed weight of vetch

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=1.89)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=1.89)



شکل ٦- اثر مدیریت علف هرز بر وزن صد دانه ماشک گل‌خوشه‌ای

Figure 6- Effect of weed management on 100 seed weight of vetch

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=0.583)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=0.583)

کهراریان و همکاران (Kahraryan *et al.*, 2021) گزارش دادند که صفات ژنتیکی نسبت به عوامل محیطی بر وزن هزار دانه مؤثرتر می‌باشند. در شرایط نرمال، دریافت نور بیشتر و دسترسی بیشتر به آب، مواد مغذی و تابش خورشیدی در تک‌کشتی ماشک ممکن است باعث عملکرد بالای فتوسنتز شود و در پی آن اجزای عملکرد را بهبود بخشد. در بررسی کشت مخلوط ماشک و آفتابگردان در آزمایش جلیلیان و همکاران (Jalilian *et al.*, 2017) نشان داده شد که بیشترین وزن هزار دانه ماشک مربوط به تیمار تک‌کشتی ماشک و سیستم کشاورزی پرنهاده شامل کاربرد نیتروژن و کنترل علف هرز بود. از سوی دیگر افزایش وزن هزار دانه ماشک در تک‌کشتی آن را می‌توان به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن توسط ماشک و استفاده از آن بدون وجود رقابت با جو در این تیمار دانست. بلل و همکاران (Belel *et al.*, 2014) نیز گزارش دادند که کاهش در اجزای عملکرد در شرایط کشت مخلوط می‌تواند به دلیل رقابت بر سر رطوبت، مواد مغذی و تشعشع خورشیدی باشد.

عملکرد دانه

در این آزمایش مشاهده شد که اثرات اصلی نیترات آمونیوم، نسبت‌های مختلف کشت و کنترل علف هرز و برهمکنش نسبت‌های مختلف کشت و کود نیترات آمونیوم در سطح یک درصد بر عملکرد معنی‌دار بودند. همچنین برهمکنش سه عامل در سطح پنج درصد بر این صفت معنی‌دار بودند (جدول ۴). بیشترین عملکرد دانه (۱۶۱/۴۷ گرم در مترمربع) در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط V_{80}+B_{20} کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت (جدول ۵). کمترین عملکرد دانه (۴۲/۱۶ گرم) نیز در تیمار B_{80}+V_{20} عدم کاربرد کود و عدم کنترل علف هرز مشاهده شد. تیماری که بیشترین عملکرد دانه را تولید کرد منجر به افزایش ۷۳/۸۸ درصدی نسبت به تیماری گردید که کمترین میزان عملکرد دانه را تولید کرد. با افزایش تراکم جو از عملکرد ماشک کاسته شد. به نظر می‌رسد که گیاه ماشک قادر به رشد پایاپای، در کشت مخلوط با گیاه جو نیست و نمی‌تواند همگام با جو به رشد و توسعه اندام‌های رویشی و زایشی خود بپردازد. شاید یکی از دلایل کاهش عملکرد دانه ماشک در کشت مخلوط در مقایسه با کشت خالص به خاطر کاهش فضای لازم برای رشد و به دنبال آن رقابت به خاطر آب، مواد غذایی و نور باشد.

کهراریان و همکاران (Kahraryan *et al.*, 2018) گزارش دادند که در بررسی کشت مخلوط جو و ماشک بالاترین عملکرد ماشک مربوط به تیمار تک‌کشتی ماشک بود. احمدی و همکاران (Ahmadi *et al.*, 2010) نیز در آزمایش خود بیان داشتند که نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده‌ی مغلوبیت ماشک گل خوشه‌ای در مخلوط با جو، به‌ویژه در کشت مخلوط افزایشی می‌باشد. در این آزمایش گیاه ماشک گل خوشه‌ای گیاه مغلوب بوده و بیشترین میزان عملکرد آن متعلق به تک‌کشتی و کمترین آن متعلق به تیمار افزایشی ۱۵:۱۰۰ می‌باشد. در

آزمایش محسن آبادی و همکاران (Mohsenabadi *et al.*, 2008) نیز بیشترین عملکرد دانه ماشک در تیمار تک‌کشتی ماشک و افزایش سطح کود نیتروژن تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. رضوانی مقدم و همکاران (Rezvani Moghadam *et al.*, 2009) در بررسی کشت مخلوط ماشک و سیاهدانه (*Nigella sativa*) در شرایط کنترل و عدم کنترل علف هرز افزایش عملکرد ماش را در تیمار تک‌کشتی ماش و در شرایط کنترل علف هرز گزارش دادند. این محققان اظهار داشتند که چنانچه ماشک در کشت مخلوط همراه با گیاهی قرار گیرد که از پتانسیل بیشتری در اشغال فضای کانوپی برخوردار باشد باید در تعداد ردیف‌های بیشتری در کشت مخلوط قرار گیرد تا بتواند عملکرد قابل قبولی را داشته باشد. اما چنانچه ماش در مخلوط با گیاهی قرار گیرد که فرم بوته‌ای برابر و یا محدودتری داشته باشد، قادر خواهد بود حتی در ردیف‌های متناوب نیز عملکرد مطلوبی تولید نماید.

وزن خشک علف هرز

علف‌های هرز رایج در مزرعه آزمایشی شامل یولاف وحشی، چچم، علف پشمکی، دم روباهی، خردل وحشی، خارلته، خاکشیر تلخ، سوروف و گل گندم بود و خصوصیات آن‌ها شامل فرم رویشی، سیکل رویشی، مسیر فتوسنتزی و نوع برگ در جدول ۶ ارائه گردید.

جدول ٦- علف‌های هرز رایج در مزرعه و خصوصیات آن‌ها

Table 6- Common weeds in the experimental field and their characteristics

نام گونه Common name	نام فارسی Persian name	نام علمی Scientific name	نام تیره Family	فرم رویشی Vegetative form	سیکل رویشی Vegetative cycle	مسیر فتوسنتزی Photosynthetic pathway	نوع برگ Leaf
Wild oat	یولاف وحشی	*Avena fatua*	Poaceae	تک‌لپه	یک‌ساله	C_3	باریک برگ
Darnel ryegrass	چچم	*Lolium temulentum*	Poaceae	تک‌لپه	یک‌ساله	C_3	باریک برگ
Bromus	علف پشمکی	*Bromus tectorum*	Poaceae	تک‌لپه	یک‌ساله	C_3	باریک برگ
Foxtail	دم روباهی	*Alopecurus myosuroides*	Poaceae	تک‌لپه	یک‌ساله	C_3	باریک برگ
Wild mustard	خردل وحشی	*Sinapis arvensis*	Brassicaceae	دولپه	یک‌ساله	C_3	پهن برگ
Creeping thistle	خارلته	*Cirsium arvense*	Asteraceae	دولپه	چندساله	C_3	پهن برگ
London rocket	خاکشیر تلخ	*Sisymbrium irio*	Brassicaceae	دولپه	یک‌ساله	C_3	پهن برگ
Barnyard grass	سوروف	*Echinochloa crus-galli*	Poaceae	تک‌لپه	یک‌ساله	C_4	باریک برگ
Cornflower	گل گندم	*Centaurea cyanus*	Asteraceae	دولپه	یک‌ساله	C_3	پهن برگ

مطابق با نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد نیترات آمونیوم و نسبت‌های کشت در سطح یک درصد بر وزن خشک علف‌های هرز معنی‌دار بود (جدول ۷). بیشترین میزان وزن خشک در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم به میزان ۲۳۱/۶۲ گرم مشاهده شد (شکل ۷). کمترین میزان علف هرز نیز در تیمار نسبت‌های کشت $V_{80}+B_{70}$ و عدم کاربرد نیترات آمونیوم به میزان ۳۸/۸۳ گرم به‌دست آمد (شکل ۷). این تیمار منجر به کاهش درصدی ۸۳/۴۲ وزن خشک علف هرز نسبت به تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم در هکتار کود نیترات آمونیوم شد. در این آزمایش با افزایش تراکم دو گیاه در کشت مخلوط افزایشی $V_{80}+B_{70}$ فضای کمتری برای رشد علف‌های هرز ایجاد کردند و درنتیجه رشد علف‌های هرز در این تیمار کمتر بود. نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2012) نیز کاهش معنی‌دار زیست‌توده علف‌های هرز را در کشت مخلوط افزایش ماش و ذرت گزارش نمودند و علت آن را تراکم بالای گیاهان زراعی و تولید بیشتر زیست‌توده آن‌ها در نتیجه افزایش توان رقابتی آن‌ها با علف هرز را ذکر نمودند. در آزمایش نصیری (Nasiri, 2020) مشاهده شد که کشت خالص گشنیز (*Coriandrum sativum*) و ماشک دارای بیشترین میزان وزن خشک علف‌های هرز بودند و کشت مخلوط این دو گیاه به‌ترتیب منجر به کاهش ۱۴/۲ و ۹/۲ درصدی وزن خشک علف‌های هرز نسبت به تیمارهای تک‌کشتی گشنیز و ماشک گل خوشه‌ای شدند. کشت مخلوط به دلیل ایجاد تنوع در بعد زمان و مکان، می‌تواند به‌عنوان یک عامل ارگانیک در مدیریت علف‌های هرز به‌شمار آید و این نوع مدیریت علف‌های هرز را می‌توان با دستکاری تعادل رقابتی بین گیاهان زراعی و علف هرز ایجاد کرد (Azizi *et al.*, 2018). در آزمایش عزیزی و همکاران (Azizi *et al.*, 2018) نیز کمترین میزان علف هرز در تیمار کشت مخلوط ۱۰۰:۷۰ جو و ماشک مشاهده شد. در این آزمایش مشاهده شد که کاربرد نیترات

آمونیوم بیشتر در تک‌کشتی ماشک منجر به افزایش وزن خشک علف‌های هرز گردید. افضلی هرسینی و همکاران (Afzali Harsini *et al.*, 2016) نیز گزارش دادند که کاربرد کود نیتروژن منجر به افزایش زیست‌توده علف‌های هرز می‌گردد، این موضوع بیانگر تاثیر کود نیتروژن بر رشد و نمو علف‌های هرز است.

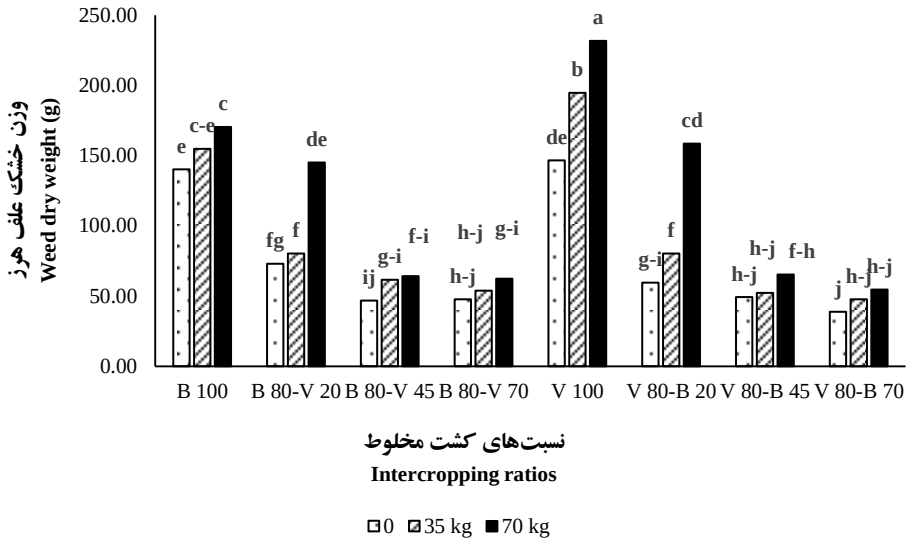
جدول ۷- جدول تجزیه واریانس (میانگین مربعات) وزن خشک علف هرز در شرایط نسبت‌های مختلف کشت و سطوح مختلف کود نیترات آمونیوم

Table 7- Variance analysis of weed dry weight in different intercropping ratios and ammonium nitrate fertilizer levels conditions

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean square
بلوک Block	2	11.81^{ns}
کود آمونیوم نیترات (A) Ammonium nitrate fertilizer (A)	2	11907.62**
خطای اصلی Error main	4	90.99
نسبت‌های کشت مخلوط (B) Intercropping ratios (B)	7	25367.44**
A × B	14	1148.87**
خطای فرعی Errorsub	42	86.50
ضریب تغییرات (C.V)		9.8

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

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



شکل ۷- اثر متقابل نسبت‌های مختلف کشت و سطوح مختلف کود آمونیوم نیترات بر وزن خشک علف هرز

Figure 7–Effect of different intercropping ratios and ammonium nitrate fertilizer levels interaction on weed dry weight

ستون‌های با حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($LSD_{0.05}$=15.3)

Columns with similar letters show that there is no significant difference based on the LSD test at the 5% probability level ($LSD_{0.05}$=15.3)

نسبت برابری زمین (Land equivalent ratio)

نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثرات اصلی کود نیترات آمونیوم و نسبت‌های کشت بر شاخص نسبت برابری زمین (LER) معنی‌دار بود (P≤۰/۰۱) (جدول ۸). اثرات دوگانه کود نیترات آمونیوم و

نسبت‌های کشت، کود نیترات آمونیوم و مدیریت علف هرز و نسبت‌های کشت و مدیریت علف هرز و برهمکنش سه عامل بر LER معنی‌دار بود (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین مشخص شد که بیشترین میزان LER (۱/۶۸) مربوط به تیمار $V_{80}+B_{70}$ و عدم کاربرد کود نیترات آمونیوم و در شرایط کنترل علف هرز می‌باشد که تفاوت معنی‌داری با تیمار $V_{80}+B_{45}$ و عدم مصرف کود و عدم کنترل علف هرز نداشت (جدول ۹). کمترین میزان LER (۱/۰۷) نیز در تیمار $B_{80}+V_{45}$ و مصرف ۷۰ کیلوگرم در هکتار نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز مشاهده شد (جدول ۹). به نظر می‌رسد وجود ماشک با توانایی بالای تثبیت نیتروژن حتی بیشتر از حالت مصرف کود در بهره‌وری محصول مؤثر می‌باشد. به نظر می‌رسد مصرف کود با وجود کاربرد ماشک (تثبیت نیتروژن توسط این گیاه) در کشت منجر به عدم مصرف کود توسط گیاهان زراعی گردیده و با آبیاری از دسترس گیاه خارج شده است. هچنین عدم تفاوت LER در شرایط کنترل و عدم کنترل علف هرز نشان‌دهنده‌ی کارایی بالای کشت مخلوط افزایشی در کنترل علف هرز می‌باشد. همچنین می‌توان گفت در تیمارهای مختلف، مصرف کود بیشتر به نفع علف‌های هرز بوده تا گیاهان زراعی و به همین دلیل در تیمارهایی که کود نیترات آمونیوم مصرف نشده است میزان رشد علف‌های هرز کمتر بوده که منجر به افزایش LER شده است. با این‌حال تمام تیمارهای کشت مخلوط دارای LER بیشتر از یک بودند (جدول ۹) که نشان‌دهنده‌ی توانایی بالای کشت‌های مخلوط با نسبت‌های مختلف کشت در بهره‌وری زمین نسبت به تک‌کشتی می‌باشد. عزیزی و همکاران (Azizi *et al.*, 2018) در آزمایش خود نشان دادند که بیشترین میزان LER در تیمار ۱۰۰:۱۰۰ (جو و ماشک) مشاهده شد. این محققان اظهار داشتند که مشخص شد که سهم جو در دیگر تیمارها در افزایش LER کمتر از سهم ماشک است و ماشک به‌عنوان جزئی قوی در همزیستی با جو و در راستای تولید محصول با بهره‌برداری از زمین و عامل‌های محیطی قلمداد شد. در آزمایش اکبری و همکاران (Akbari *et al.*, 2014) گزارش شد که در بررسی مخلوط تریتیکاله× ماشک× علف هرز، نسبت دانه ۵۰ × ۵۰ × آلوده به علف هرز، بیشترین میزان LER را داشت که نشان‌دهنده‌ی برتری این ترکیب در تولید محصول بوده است که تأییدکننده نتایج این آمایش می‌باشد. در آزمایش محسن آبادی و همکاران (Mohsenabadi *et al.*, 2008) نیز گزارش شد که با افزایش سطوح کود نیتروژن نسبت برابری زمین برای عملکرد علوفه و دانه کاهش یافت که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. این محققان اظهار داشتند که کشت مخلوط باعث کارایی بیشتر استفاده از منابع و کاهش استفاده از کود نیتروژن شد.

جدول ۸- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف برای شاخص LER

Table 8- Variance analysis of different treatments effects on LER index

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	LER
بلوک Block	2	0.004^{ns}
کود آمونیوم نیترات (A) Ammonium nitrate fertilizer (A)	2	0.24^{**}
خطای اصلی Error main	4	0.008
نسبت‌های کشت مخلوط (B) Intercropping ratios (B)	5	0.14^{**}
مدیریت علف هرز (C) Weed management	1	0.00005^{ns}
A × B	10	0.04^{**}
A × C	2	0.06^{**}
B × C	5	0.02^{ns}
A × B × C	10	0.03^{**}
خطای(فرعی Error sub	66	0.01
ضریب تغییرات (C.V)		7.96

ns, *, **به‌ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

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

جدول ۹- اثرات متقابل سه‌گانه کود، نسبت‌های مختلف کشت مخلوط و مدیریت علف هرز بر شاخص LER

Table 9- Triple interactions of fertilizer levels, different intercropping ratios and weed management on LER index

مدیریت علف هرز weed management	نسبت‌های کشت مخلوط Intercropping ratios	کود آمونیوم نیترات Ammonium nitrate fertilizer		
		0	35 kg	70 kg
عدم وجین weedy	$B_{80}+V_{20}$	1.21^{l-p}	1.23^{k-p}	1.14^{n-p}
	$B_{80}+V_{45}$	1.43^{c-j}	1.39^{d-l}	1.34^{g-l}
	$B_{80}+V_{70}$	1.44^{b-j}	1.54^{a-e}	1.33^{g-m}
	$V_{80}+B_{20}$	1.26^{j-o}	1.35^{f-l}	1.35^{f-l}
	$V_{80}+B_{45}$	1.62^{ab}	1.42^{c-j}	1.52^{a-f}
	$V_{80}+B_{70}$	1.51^{a-g}	1.62^{ab}	1.37^{e-l}
وجین Free weeds	$B_{80}+V_{20}$	1.49^{b-h}	1.32^{h-n}	1.16^{m-p}
	$B_{80}+V_{45}$	1.50^{a-g}	1.57^{a-d}	1.07^{p}
	$B_{80}+V_{70}$	1.53^{a-e}	1.40^{c-k}	1.28^{i-o}
	$V_{80}+B_{20}$	1.28^{j-o}	1.36^{e-l}	1.42^{c-j}
	$V_{80}+B_{45}$	1.48^{b-h}	1.58^{a-c}	1.46^{b-i}
	$V_{80}+B_{70}$	1.68^{a}	1.37^{e-l}	1.13^{op}
	$LSD_{0.05}$		0.181	

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column and for each factor, similar letters show that there is no significant difference according to the LSD test at the level of 5% probability

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست آمده از آزمایش نشان داد که تمامی سیستم‌های مختلف کشت مخلوط جو و ماشک گل‌خوشه‌ای دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند و در بین تیمارها، کشت مخلوط $V_{80}+B_{70}$، عدم کاربرد کود و وجین علف هرز دارای بیشترین میزان LER بود که نشان‌دهنده‌ی برتری کشت‌های مخلوط نسبت به کشت‌های خالص در بهره‌وری از زمین و تولید محصول می‌باشد. همچنین در تمامی تیمارهای کشت مخلوط، میزان وزن خشک علف‌های هرز کمتر از تک‌کشتی‌های ماشک و جو بود. در بین تیمارهای کشت مخلوط تیمار $V_{80}+B_{70}$ به همراه عدم مصرف کود در کاهش وزن خشک علف‌های هرز موفق‌تر از سایر تیمارها بود. بیشترین عملکرد دانه جو به تک‌کشتی جو، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز تعلق داشت و تفاوت معنی‌داری با کشت مخلوط $B_{80}+V_{45}$، ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت و در ماشک نیز بیشترین عملکرد دانه در تیمار تک‌کشتی ماشک و کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمار کشت مخلوط $V_{80}+B_{20}$ کاربرد ۷۰ کیلوگرم نیترات آمونیوم و کنترل علف هرز نداشت. نتایج این آزمایش نشان از توانایی بالای کشت مخلوط در جذب منابع و کاهش میزان وزن خشک علف‌های هرز و در نتیجه افزایش عملکرد داشت. در بسیاری از نسبت‌های کشت مخلوط تفاوت چندانی در عملکرد دانه در حالت وجین و عدم وجین داشت که نشان‌دهنده توانایی این سیستم‌های کشت در سرکوب علف‌های هرز نسبت به تک‌کشتی می‌باشد.

References

1. Afzali Harsini, S., Taghizadeh, M. S., Behpoori, A., & faramarzi, F. (2016). *Weed management in wheat using genotypes intercropping and nitrogen fertilizer*. 2nd international and 14th national Iranian crop science congress. Aug. 30- Sep. 1, 2016. University of Guilan, Rasht. Iran. (in Persian).
2. Agegnehu, G., Ghizaw, A., & Sinebo, W. (2008). Yield potential and land-use efficiency of wheat and faba bean mixed intercropping. *Agronomy for Sustainable Development*, *28*, 257-263. https://doi.org/10.1051/agro:2008012
3. Ahmadi, A., Dabbagh Mohammdi Nasab, A., Zehtab Salmasi, S., Amini, R., & Janmohammadi, H. (2010). Evaluation of yield and advantage indices in barley and vetch intercropping. *Agricultural science and sustainable Production*, *20*(4), 77- 87. (in Persian).
4. Akbari, N., Daraeimofrad, A. R., Hosseinian, S. H., Zaremanesh, H., & Kakoolvand, E. (2014). *The effect of the different densities of intercropping triticale and common vetch on the hay yield of crops and weed populations under dryland conditions*. The first Conference on new findings on the environment and agricultural ecosystem. Tehran University, the Institute of energy and environment. 523. (in Persian).
5. Arshad, M., & Ranamukhaarachchi, S. L. (2012). Effects of legume type, planting pattern and time of establishment on growth and yield of sweet sorghum-legume intercropping. *Australian Journal of Crop Science*, *6*,

1265-1274.
6. Asadi, Gh. A., & Khorramdel, S. (2014). Effects of different ratio of barley and hairy vetch intercropping on yield, plant nitrogen content, weed population and diversity. *European Journal of Clinical Pharmacology, 7*(1), 131-156. (in Persian).
7. Azizi, K. H., Daraeimofrad, A. R., Nasiri, B., & Feizian, M. (2018). Estimation of the effect of intercropping on hay production and efficiency indices of vetch (*Vicia narbonensis* L.) and barley (*Hordeum velgare* L.) in weeds interference. *Iranian Journal of Field Crop Science, 49*(3), 13-23. (in Persian). https://doi.org/10.22059/ijfcs.2017.219998.654214
8. Barker, S., & Dennett, M. D. (2013). Effect of density, cultivar and irrigation on spring sown monocrops and intercrops of wheat (*Triticum aestivum* L.) and faba beans (*Vicia faba* L.). *European Journal of Agronomy, 51*, 108-116. https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.08.001
9. Bedoussac, L., Journet, E. P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Prieur, L., & Justes, E. (2015). Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercrops in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA, 35*(3), 911-935. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0277-7
10. Belel, M. D., Halim, R. A., Rafii, M. Y., & Saud, H. M. (2014). Intercropping of corn with some selected legumes for improved forage production: a review. *Journal of Agricultural Science, 6*, 48-62. https://doi.org/10.5539/jas.v6n3p48
11. BenYoussef, S., Kachout, S. S., Abidi, S., Saddem, B., Ismail, J., & Salem, H. B. (2019). Effect of different levels of nitrogen fertilization on forage yields and quality of hairy vetch (*Vicia villosa*, Roth) triticale (*Xtritcosecale*, Witmack) mixtures. *The Open Agriculture Journal, 13*, 90-100. https://doi.org/10.2174/1874331501913010090
12. Chapagain, T., & Riseman, A. (2014). Barley–pea intercropping: Effects on land productivity, carbon and nitrogen transformations. *Field Crops Research, 166*, 18-25. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.06.014
13. Elhaminejad, M., Rahimian Mashhadi, H., & Oveisi, M. (2021). Effect of planting density and imaztapir dose on weed control in the intercropping of standing and climbing red bean cultivars. *Iranian Journal of Weed Science, 17*(1), 43-56. (in Persian). https://doi.org/10.22092/ijws.2020.127727.1348
14. Fernandez-Aparicio, M., Emeran, A. A., & Rubiales, D. (2008). Control of Orobanch ecrenata in legumes intercropped with fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *Crop Protection, 27*, 653-659. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.09.009
15. Gbanguba, A. U., Daniya, E., Kolo, M. G. M., Ibrahim, P. A., Ismaila, U., & Umar, A. (2020). Effects of pre-rice cassava/legume intercrops and weed management practices on weed dynamics and yield of low land rice in Badeggi, Nigeria. *African Journal of Agricultural Research, 16*(6), 829-842. https://doi.org/10.5897/AJAR2019.14190
16. Gliessman, S. R. (1990). *Agroecology: Researching the Ecological Basis for Sustainable Agriculture*. Springer-Verlag, New York 380 pp. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3252-0_1
17. Gu, G., Bastiaans, L., Anten. N. P. R., & Makowski, D. (2021). Annual intercropping suppresses weeds: A meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 322*, 107658. https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107658
18. Habibi, S. D., Kashani, A., Paknejad, F., Jafari, H., Jami Al-Ahmadi, M., Tookalloo, M. R., & Lamei, J. (2010). Evaluation of hairy vetch (*Vicia villosa* Roth.) in pure and Mixed cropping with Barley (*Hordeum vulgare* L.) to determine the Best combination of legume and cereal for forage production. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences, 5*, 169-176. https://doi.org/10.3844/ajabssp.2010.169.176
19. Hamzei, J., Seyedi, M., Ahmadvand, G., & Abutalebian, M. A. (2012). The effect of incremental intercropping on weed suppression, yield and yield components of pea and barley. *Iranian Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products, 2*(3), 43-55. (in Persian).
20. Heydari asl, A. R., Karim mojeni. H., Razmju, J., & Zahedi, M. (2015). Evaluation of the effect of nitrogen application and planting methods on yield and yield components of flax and Bersim clover in intercropping system. Production and processing of agricultural and horticultural products. *Agricultural Science and Technology and former Natural Resources, 5*(17), 311-320. (in Persian).
21. Huňady, I., & Hochman, M. (2014). Potential of legume-cereal intercropping for increasing yields and yield stability for self-sufficiency with animal fodder in organic farming. Czech *Journal of Genetics and Plant Breeding, 50*, 185-194. https://doi.org/10.17221/242/2013-CJGPB
22. Jalilian, J., Najafabadi, A., & Zardashti, M. R. (2017). Intercropping patterns and different farming systems affect the yield and yield components of safflower and bitter vetch. *Journal of Plant Interactions, 12*(1), 92-99. https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1294712
23. Kahraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., & Rashidi, V. (2018). Evaluation of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Vetch (*Vicia villosa* Roth) Intercropping. *Journal of Crop Ecophysiology, 12*(4), 651-6670. (in Persian).
24. Kahraryan, B., Farahvash, F., Mohammadi, S., Mirshekari, B., & Rashidi, V. (2021). Evaluation of yield, yield components and nutritive value in intercropping of Barley with Vetch. *Plant Science Today, 8*(2), 373-379.

25. Luce, M. S., Lemke, R., Gan, Y. T., McConkey, B., May,W., Campbell, C., Zentner, R.,Wang, H., Kroebel, R., Fernandez, M., & Brandt, K. (2020). Diversifying cropping systems enhances productivity, stability, and nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, *112*, 1517-1536. https://doi.org/10.1002/agj2.20162
26. Luo, C., Guo, Z., Xiao, J., Dong, K., & Dong, Y. (2021). Effects of Applied Ratio of Nitrogen on the Light Environment in the Canopy and Growth, Development and Yield of Wheat When Intercropped. Front. *Plant Science*, *12*, 719850. https://doi.org/10.3389/fpls.2021.719850
27. Malézieux, E., Crozat, Y., Dupraz, C., Laurans, M., Makowski, D., Ozier-Lafontaine, H., Rapidel, B., Tourdonnet, S., & Valantin-Morison, D. M. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, *29*, 43-62. https://doi.org/10.1051/agro:2007057
28. Mohsenabadi, Gh. R., Jahansooz, M. R., Chaichi, M. R., Rahimian Mashhadi, H., Liaghat, A. M., & Savaghebi, Gh. R. (2008). Evaluation of Barley–Vetch Intercrop at Different Nitrogen Rates. *Journal of Agricultural Science and Technology*, *10*, 23-31.
29. Nasiri, Y. (2020). Effect of Hairy Vetch (*Vicia villosa* Roth) on Weeds Control and Production of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Intercropping. *Agricultural Science and Sustainable Production*, *30*(3), 1-19. (in Persian).
30. Nazari, S. H., Zand, A., Asadi, S., & Golzardi, F. (2012). Effect of additive and replacement intercropping series of corn (*Zea mays* L.) and mungbean (*Vigna radiate* L.) on yield, yield components and weed biomass. *Weed Research Journal*, *4*(2), 97-109. (in Persian).
31. Pelzer, E., Bazot, M., Makowski, D., Corre-Hellou, G., Naudin, C., Al Rifaï, M., Baranger, E., Bedoussac, L., Biarnès, V., Boucheny, P., Carrouée, B., Dorvillez, D., Foissy, D., Gaillard, B., Guichard, L., Mansard, M. C., Omon, B., Prieur, L., Yvergniaux, M., Justes, E., & Jeuffroy, M. H. (2012). Pea–wheat intercrops in low-input conditions combine high economic performances and low environmental impacts. *European Journal of Agronomy*, *40*, 39-53. https://doi.org/10.1016/j.eja.2012.01.010
32. Rezvani Moghadam, P., Raoofi, M. R., Rashed Mohassel, M. H., & Moradi, R. (2009). Evaluation of sowing patterns and weed control on mung bean (*Vigna radiate* L. Wilczek)- black cumin (*Nigella sativa* L.) intercropping system. *Journal of Agroecology*, *1*(1), 65-79. (in Persian).
33. Sadeghpour, A., & Jahanzad. E. (2012). Seed yield and yield components of intercropped barley (*Hordeum vulgare* L.) and annual medic (*Medicago scutellata* L.). *Australian Journal of Agricultural Research*, *3*, 47-50.
34. Seyedi, M., Hamzei, J., Ahmadvand, G., & Abutalebian, M. A. (2012). The Evaluation of Weed Suppression and Crop Production in Barley-Chickpea Intercrops. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, *22*(3), 101-115.
35. Soleimanpour, L., Naderi, R., Bijanzadeh, E., Behpouri, A., & Emam, Y. (2018). Response of yield and yield components of wheat, barley and triticale to intercropping with legumes under weed interference. *Journal of Plant Ecophysiology*, *9*(32), 1-12. (in Persian).
36. Toreifi, Sh., Fateh, E., & Aynehband, A. (2020). Investigation the different barley (*Hordeum vulgare*) and fenugreek (*Trigonella foenum- graecum*) growth characteristics intercropping under nitrogen fertilizer at barley spiking stage. *Journal of Plant Ecophysiology*, *12*(40): 91-101. (in Persian).
37. Tosti, G., Benincasa, P., & Giuiducci, M. (2010). Competition and Facilitation in Hairy vetch- Barley Intercrops. *Italian Journal of Agronomy/ Rivista di Agronomia*, *3*, 239-247. https://doi.org/10.4081/ija.2010.239
38. Wang, L. F., Chen, J., & Shangguan, Z. P. (2016). Photosynthetic characteristics and nitrogen distribution of large-spike wheat in northwest china. *Journal of Integrative Agriculture*, *15*, 545-552. https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61151-0
39. Weerarathne, L. V. Y., Marambe, B., & Chauhan, B. S. (2017). Does intercropping play a role in alleviating weeds in cassava as a non-chemical tool of weed management? - A review. *Crop Protection*, *95*, 81-88. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.08.028
40. Weih, M., Karley, A. J., Newton, A. C., Kiær, L. P., Scherber, C., Rubiales, D., Adam, E., Ajal, J., Brandmeier, J., Pappagallo, S., Villegas-Fernández, A., Reckling, M., & Tavoletti, S. (2021). Grain Yield Stability of Cereal-Legume Intercrops Is Greater Than Sole Crops in More Productive Conditions. *Agriculture*, *11*, 255. https://doi.org/10.3390/agriculture11030255
41. Zafaranieh, M. (2015). Effect of various combinations of safflower and chickpea intercropping on yield and yield components of safflower. *Agriculture Science Developments*, *4*, 31-34.
42. Zimdahl, R. L. (2007). *Weed-Crop Competition: A Review*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

Contents

Research Articles

Calibration and Evaluation of APSIM Model for Simulation of Growth and Development of KSC 70 and Maxima Maize Hybrids under Different Amounts of Nitrogen 363
M. Madadizadeh, S. R. Amiri, J. Kambouzia, S. Soufizadeh

Investigating the Possibility of Autumn-Sown and Determining the Most Suitable Planting Date and the Best Bolt-Resistant Cultivar of Sugar Beet in Khorasan Region 381
H. Shafapour, M. Jahan, M. Bannayan Aval, M. Nassiri-Mahallati

Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations 401
J. Etezadi Jame, S. V. Eslami, M. Jami Al-Ahmadi, M. H. Sayyari

Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh 417
F. Moallem Banhangi, P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, M. Nassiri Mahallati

Effect of Nano Silicon and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biomass, Nodulation and Some Physiological Traits of Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) 435
R. Seyed Sharifi, R. Seyed Sharifi, H. Narimani

Response of Agronomic and Phenological Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars with Different Growth Habit to Delayed Planting 451
M. Behneh, Sh. Rezvan, S. Sanjani, J. Masoud Sinaki

Effect of end of Season Drought Stress on Morphology, Yield Components and Grain Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars 467
H. Aboodeh, A. Bakhshandeh, M. R. Moradi Telavat, S. A. Siadat, S. A. Moosavi

Effect of the Ammonium Nitrate Levels on Intercropped Barley (*Hordeum Vulgare* L.) and Vetch (*Vicia Villosa*) under Weed Competition Management 481
F. Faramarzi, S. M. B. Hosseini, H. Mansory, D. Fangueiro, H. Alizadeh

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 20 **No. 4** **2023**

Publisher Ferdowsi University of Mashhad

Managing P. Rezvani Moghaddam (Agroecology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editor- in-chief H.R. Khazaei (Crop Physiology) Prof., Ferdowsi University of Mashhad

Editorial Board

AghaAlikhani, M.	Weed-Crop Ecophisiology	Prof., Tarbiat Modares University, Tehran
Ehsanzadeh, P.	Plant Physiology	Prof., Isfahan University of Technology
Emam, Y.	Crop Physiology	Prof., Shiraz University
Bagheri, A.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Behdani, M.A.	Crop Ecology	Prof., University of Birjand
Banayan Awal, M.	Agro-Environment Modeling	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Jami Alahmadi, M.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Raee, Y.	Plant Eco physiology	Prof., Tabriz University
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Eyshi Rezaei, E.	Crop modeling	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Environmental Plant Physiology	(CIMMYT-Henan Collaborative Innovation Centre), Henan Agricultural University, Zhengzhou, China

Address: Iranian Journal of Field Crops Research Ferdowsi University of Mashhad Faculty of Agriculture Mashhad, Iran

P. O. Box: 91775-1163

Email: cesc@um.ac.ir

Web Site: https://jcesc.um.ac.ir

Ferdowsi University of Mashhad

Vol.20 No.4

2023

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

Calibration and Evaluation of APSIM Model for Simulation of Growth and Development of KSC 70 and Maxima Maize Hybrids under Different Amounts of Nitrogen 363
M. Madadizadeh, S. R. Amiri, J. Kambouzia, S. Soufizadeh

Investigating the Possibility of Autumn-Sown and Determining the Most Suitable Planting Date and the Best Bolt-Resistant Cultivar of Sugar Beet in Khorasan Region 381
H. Shafapour, M. Jahan, M. Bannayan Aval, M. Nassiri-Mahallati

Evaluation of Plant Nitrogen Use Efficiency in Different Crop Rotations 401
J. Etezadi Jame, S. V. Eslami, M. Jami Al-Ahmadi, M. H. Sayyari

Agroecological Analysis of Sugar Beet Ecosystem (*Beta vulgaris* L.) in Torbat-e Heydarieh 417
F. Moallem Banhangi, P. Rezvani Moghaddam, S. Khorramdel, M. Nassiri Mahallati

Effect of Nano Silicon and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria on Biomass, Nodulation and Some Physiological Traits of Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) 435
R. Seyed Sharifi, R. Seyed Sharifi, H. Narimani

Response of Agronomic and Phenological Characteristics of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars with Different Growth Habit to Delayed Planting 451
M. Behneh, Sh. Rezvan, S. Sanjani, J. Masoud Sinaki

Effect of end of Season Drought Stress on Morphology, Yield Components and Grain Yield of Rapeseed (*Brassica napus* L.) Cultivars 467
H. Aboodeh, A. Bakhshandeh, M. R. Moradi Telavat, S. A. Siadat, S. A. Moosavi

Effect of the Ammonium Nitrate Levels on Intercropped Barley (*Hordeum Vulgare* L.) and Vetch (*Vicia Villosa*) under Weed Competition Management 481
F. Faramarzi, S. M. B. Hosseini, H. Mansory, D. Fangueiro, H. Alizadeh