



جلد ۲۱ شماره ۲

سال ۱۴۰۲

(شماره پیاپی: ۷۰)

نشریه علمی

پژوهشهای زراعی ایران

شاپا: ۱۴۷۲-۲۰۰۸

عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

ارزیابی ویژگی‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های نخود کابلی (*Cicer arietinum* L.) در تنش شوری ۱۳۹
زهرا نصیری، جعفر نباتی، احمد نظامی، محمد کافی

اثر مقدار کاربرد نیتروژن و بهره‌وری آن بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی در شرایط قوچان ۱۴۵
محسن نوری، محسن جهان، حمیدرضا خزاعی، مهدی نصیری محلاتی، کوروش شجاعی

ارزیابی پایداری کشت‌بوم‌های کلزا (*Brassica napus* L.) بر پایه تحلیل انرژی، ردپای کربن و گازهای گلخانه‌ای ۱۶۱
حمیدرضا شاه حسینی، سمانه لطفی، حسین کاظمی، بهنام کامکار

ارزیابی میزان هتروزیس و وراثت‌پذیری صفات کمی و گروه‌بندی ارقام جدید و ژنوتیپ‌های رازیانه (*Foeniculum vulgare*. Mill) ۱۷۵
اعظم اکبری، علی ایزدی دربندی، حسین رامشینی، محسن ابراهیمی

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک کشور ایران برای تولید گیاهی ۱۹۱
عفت پرآور، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی، حسین کاظمی، امیر دادرسی

تأثیر برخی کودهای زیستی و نانواکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی ۲۰۵
فاطمه آقائی، رنوف سیدشریفی، سلیم فرزانه

تأثیر پوترسین و کودهای زیستی بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم تحت تنش شوری ۲۲۳
علیرضا محسنی محمدجانیلو، رنوف سیدشریفی، سعید علی پور

پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به کاربرد کلات پتاس و روی تحت شرایط تنش خشکی ۲۴۵
یانس زحمتکش، محمد پسرکائی، علیرضا سوهانی دریانی

نشریه پژوهشهای زراعی ایران

«نشریه علمی قطب علمی گیاهان زراعی ویژه»

با شماره ثبت ۱۲۴/۷۸۵۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی و

۸۲/۵/۲۷

درجه علمی - پژوهشی شماره ۳/۱۱/۷۴۵۰۹ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

۸۹/۱۰/۲۱

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

سال ۱۴۰۲

شماره ۲

جلد ۲۱

صاحب امتیاز:

دانشگاه فردوسی مشهد

مدیر مسئول:

پرویز رضوانی مقدم

سر دبیر:

حمیدرضا خزاعی

استاد - اگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)

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 - مدل سازی سیستم های 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)

فرح 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

مدل سازی گیاهی (مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لاینیتر (زالف)، آلمان)

اعظم لشکری

فیزیولوژی گیاهی محیطی (مرکز جان اینس، نورویچ، انگلیس)

امیر بهزاد بذرگر

مدل سازی اکولوژیک (دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوئلف، کانادا)

ناشر: دانشگاه فردوسی مشهد

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دبیرخانه نشریات علمی، نشریه پژوهشهای زراعی ایران صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳

پست الکترونیک: cesc@um.ac.ir

مقالات این شماره در سایت <https://jcesc.um.ac.ir> به صورت مقاله کامل نمایه شده است.

این نشریه در پایگاه های زیر نمایه می شود:

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

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- 129 ارزیابی ویژگی‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های نخود کابلی (*Cicer arietinum* L.) در تنش شوری
زهره نصیری، جعفر نباتی، احمد نظامی، محمد کافی
- 145 اثر مقدار کاربرد نیتروژن و بهره‌وری آن بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی در شرایط قوچان
محسن نوری، محسن جهان، حمیدرضا خزاعی، مهدی نصیری محلاتی، کوروش شجاعی
- 161 ارزیابی پایداری کشت‌بوم‌های کلزا (*Brassica napus* L.) بر پایه تحلیل انرژی، رد پای کربن و گازهای گلخانه‌ای
حمیدرضا شاه حسینی، سمانه لطفی، حسین کاظمی، بهنام کامکار
- 175 ارزیابی میزان هتروزیس و وراثت‌پذیری صفات کمی و گروه‌بندی ارقام جدید و ژنوتیپ‌های رازیانه
(*Foeniculum vulgare*. Mill)
اعظم اکبری، علی ایزدی دربندی، حسین رامشینی، محسن ابراهیمی
- 191 پهنه‌بندی اگرواکولوژیک کشور ایران برای تولید گیاهی
عفت پراور، افشین سلطانی، ابراهیم زینلی، حسین کاظمی، امیر دادرسی
- 205 تاثیر برخی کودهای زیستی و نانواکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تربتیکاله در شرایط محدودیت آبی
فاطمه آقائی، رئوف سیدشریفی، سلیم فرزانه
- 223 تاثیر پوترسین و کودهای زیستی بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ و عملکرد
گندم تحت تنش شوری
علیرضا محسنی محمدجانلو، رئوف سیدشریفی، سعید علی پور
- 245 پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به کاربرد کلات پتاس و روی
تحت شرایط تنش خشکی
یاسر زحمتکش، محمد پسرکالی، علیرضا سوهانی دربانی



Assessment of Photosynthetic Traits of Kabuli-type Chickpea Genotypes under Salinity Stress

Z. Nasiri¹, J. Nabati^{2*}, A. Nezami³, M. Kafi³

Received: 19-05-2019

Revised: 27-07-2019

Accepted: 29-09-2019

How to cite this article:

Nasiri, Z., Nabati, J., Nezami, A., & Kafi, M. (2023). Assessment of Photosynthetic Traits of Kabuli-Type Chickpea Genotypes under Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 127-142. (in Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/jsc.v0i0.80785>

Introduction

The effect of salinity stress on the quantity and quality of crop production highlights the importance of managing and reducing the damage caused by this stress factor in agriculture. Increasing soil salinity and decreasing fertility of arable lands is one of the major problems in saline areas. Cultivation of salt-tolerant crops which can increase soil fertility could be effective in the sustainable production of these lands. Studying photosynthesis and its related factors could provide appropriate physiological views in understanding plant behavior against salinity stress. The present study was conducted to assess the salinity tolerance of chickpea genotypes for cultivation in saline areas.

Materials and Methods

To evaluate the effects of salinity stress on photosynthetic criteria and yield of chickpeas, an experiment was conducted in 2018 at the research farm of the faculty of agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. The experiment was arranged as a split plot based on a randomized complete block design with three replications. Experimental factors consisted of salinity levels (0.5 and 8 dS.m⁻¹) as the main plot and chickpea genotype (17 kabuli-type genotypes) as the subplot. Seeds were provided from the Mashhad chickpea collection of the Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Seeds were planted on March 11th and complementary irrigation was done in three growth stages of pre-flowering, flowering, and pod-filling. Sodium chloride was used to prepare saline solutions and the irrigation water rate was measured by water meter. Photosynthetic criteria including photosynthesis rate, evapotranspiration, stomatal conductance, and resistance and concentration of photosynthetic pigments were measured in the 50% flowering stage.

Results and Discussion

Results indicated that the lowest and highest reduction in the concentration of chlorophyll *a* was found in MCC65 (6%) and MCC83 (3.3 times increase), respectively. Increasing salinity level increased the concentration of chlorophyll *b* in MCC65 and MCC139, the ratio of chlorophyll *a/b* in MCC92, MCC139, and MCC776, carotenoids concentration in MCC77, MCC92, MCC313, and MCC679 and total pigments in MCCMCC77, MCC92, MCC298, and MCC679. Increasing salinity levels led to higher evapotranspiration in 14 genotypes except for MCC65, MCC95, and MCC298 in which 37, 54, and 63% decrease of this parameter was observed. Increasing salinity level increased photosynthesis rate in 7 genotypes of MCC12, MCC65, MCC72, MCC92, MCC95, MCC679 and MCC776 among which MCC95 and MCC679 showed the highest percentage increase (61 and 53%, respectively). The highest increase in sub-stomatal CO₂ (51, 49, and 40 ppm) with increasing salinity levels, was found in MCC485, MCC776, and MCC313, respectively. An increase of 28 and 8% in stomatal conductance was found in MCC65 and MCC95. Stomatal resistance was only reduced in MCC77, MCC420, and MCC29. Higher salinity levels also led to 3.4 times, 67, 14, and 13% increase in instantaneous water use efficiency in MCC95, MCC65, MCC92, and MCC298, respectively. Biomass and seed yield declined

1- MSc. Student of Agronomy, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Assistant Professor, Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

3- Professor, Faculty of Agriculture and Research Center for Plant Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

<https://doi.org/10.22067/jsc.v0i0.80785>

in all genotypes by salinity. The highest seed yield was observed in MCC65, MCC77, MCC92, and MCC95 with 142, 148, 167, and 166 g.m⁻² respectively in saline conditions. There was a negative significant correlation between seed yield and evapotranspiration ($r=-0.43^{**}$), and stomatal resistance ($r=-0.38^{**}$), and a significant positive correlation between seed yield and biomass ($r=0.61^{**}$) and photosynthesis ($r=0.24^{**}$) and stomatal conductance (0.36^{**}).

Conclusion

In general, the results of this experiment indicated the diversity among chickpea genotypes for salinity tolerance caused by saline irrigation water. Studying some photosynthetic criteria in 17 kabuli-type chickpea genotypes under salinity stress showed high diversity in physiological responses of chickpeas to salinity stress which could be used in the selection and breeding of salt-tolerant cultivars. MCC65, MCC77, MCC92, and MCC95 were superior in most studied criteria in saline conditions and even performed, unlike the declining trend of the other genotypes. It seems that these genotypes could produce reasonable seed yield in salinity levels up to 8dS.m⁻¹.

Keywords: Biomass, Chlorophyll, Evapotranspiration, Stomatal conductance

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۴۲-۱۲۷

ارزیابی ویژگی‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های نخود کابلی (*Cicer arietinum* L.) در تنش شوری

زهرا نصیری^۱، جعفر نباتی^{۲*}، احمد نظامی^۳، محمد کافی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

چکیده

تنش شوری در بیشتر مواقع بر تولید کمی و کیفیت محصول تأثیر منفی داشته و شناسایی جنبه‌های مختلف آن برای مدیریت کاهش خسارت آن در تولید محصولات زراعی از اهمیت بالایی برخوردار است. این آزمایش به صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۶-۹۷ اجرا شد. سطوح شوری ۰/۵، به عنوان شاهد و 8 dSm^{-1} در کرت‌های اصلی و ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی در کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که میزان تبخیر و تعرق با اعمال تنش شوری افزایش و تنها در ژنوتیپ‌های MCC65، MCC95 و MCC298 به ترتیب ۳۷، ۵۴ و ۶۳ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. تنش شوری میزان فتوسنتز را در ژنوتیپ‌های MCC12، MCC65، MCC679، MCC95، MCC92، MCC72، MCC776 و MCC77 افزایش یافت. هدایت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های MCC65 و MCC95 با اعمال شوری به ترتیب ۲۸ و ۸ درصد افزایش یافت. با اعمال تنش شوری، کارایی مصرف آب در ژنوتیپ‌های MCC95، MCC65، MCC92 و MCC298 به ترتیب با ۳/۴ برابر، ۶۷، ۱۴ و ۱۳ درصد افزایش یافت. میزان زیست‌توده با اعمال تنش شوری در تمامی ژنوتیپ‌ها روند کاهشی داشت. در تمامی ژنوتیپ‌ها با اعمال تنش شوری میزان عملکرد دانه کاهش یافت و بیشترین عملکرد دانه در شرایط شور مربوط به ژنوتیپ‌های MCC65، MCC77، MCC92 و MCC95 به ترتیب با ۱۴۲، ۱۴۸، ۱۶۷ و ۱۶۶ گرم در مترمربع بود. به طور کلی ژنوتیپ‌های MCC65، MCC77، MCC92، MCC95 در شرایط تنش شوری در بیشتر صفات برتری داشته و حتی در برخی صفات توانسته‌اند در شرایط تنش شوری برخلاف روند سایر ژنوتیپ‌ها در جهت تحمل به تنش عمل کنند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، زیست‌توده، عملکرد دانه، کلروفیل، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

گیاهان در معرض طیف وسیعی از تنش‌های محیطی مانند دمای بالا، سرما، خشکی و شوری هستند. تنش‌های زیستی علت اصلی کاهش عملکرد بیش از ۵۰ درصد محصولات در سراسر جهان هستند (Rasool, Ahmad, Siddiqi, & Ahmad, 2013). بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار زمین‌های زراعی در سراسر جهان تحت تأثیر شوری قرار گرفته و این مناطق در حال گسترش هستند و این تهدیدی برای تولید مواد غذایی به شمار می‌رود (Munns & Tester, 2008). بر اساس بررسی‌های صورت گرفته، به طور تقریبی نیمی از زمین‌های

فاریاب در ایران درگیر اثرات شوری خاک هستند و بخش وسیعی از اراضی ایران به‌ویژه مناطق مرکزی مستعد شوری هستند (Qureshi, Qadir, Heydari, Turral, & Javadi, 2007). تحمل شوری تحت کنترل یک ژن نبوده بلکه دارای طبیعت بسیار پیچیده‌ای است که به ویژگی‌های مختلف مورفولوژیکی و بیوشیمیایی وابسته است (Meloni, Olivia, Martinez, & Cambraia, 2003). با توجه به این نکته که فرایندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی رشد گیاه را کنترل می‌کنند، اما فتوسنتز یک رخداد کلیدی است که در رشد و نمو گیاه نقش اساسی دارد (Taiz & Zeiger, 2010) تنش شوری با کاهش هدایت روزنه‌ای، اسیمیلایون دی‌اکسید کربن و کاهش سرعت فتوسنتز II فتوسنتز را به شدت کاهش می‌دهد. به نظر می‌رسد این کاهش در نتیجه بسته شدن روزنه‌ها یا سایر ممانعت‌کننده‌های فتوسنتزی روی می‌دهد (Zhang & Deng, 2012). ممانعت از خروج آب و دریافت دی‌اکسید کربن وابسته به تنظیم هدایت روزنه‌ای می‌باشد (Medici, Azevedo, Canellas, 2012).

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استادیار گروه بقولات، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- استاد گروه آگروتکنولوژی و گروه بقولات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*) نویسنده مسئول: jafarnabati@ferdowsi.um.ac.ir
<https://doi.org/10.22067/gsc.v0i0.80785>

مواد و روش‌ها

این مطالعه به صورت آزمایش کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ اجرا شد. هفده ژنوتیپ نخود کابلی مورد استفاده از بانک بذر حبوبات پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد (جدول ۱). ژنوتیپ‌های مورد استفاده در این مطالعه حاصل گزینش مقدماتی تحمل به شوری در شرایط هیدروپونیک بودند. به منظور به‌گزینی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود، سطوح شوری آب آبیاری با هدایت الکتریکی هشت و تیمار شاهد نیم دسی‌زیمنس بر متر به عنوان عامل اصلی و ژنوتیپ‌ها به عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شدند.

خاک محل مورد آزمایش دارای بافت لوم رسی، هدایت الکتریکی ۱/۳۱، اسیدیته ۷/۶۵، وزن مخصوص ظاهری ۱/۶۵ و کربن آلی آن ۱/۲۷ درصد بود. کاشت در ۲۰ اسفند ۱۳۹۶ انجام شد. هر کرت شامل چهار ردیف به طول دو متر با فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف شش سانتی‌متر بود. فاصله بین کرت‌های فرعی یک متر در نظر گرفته شد. جهت جلوگیری از نفوذ شوری‌های مختلف بین تیمارهای آبیاری، فاصله بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. بلافاصله پس از کاشت آبیاری با هدایت الکتریکی نیم دسی‌زیمنس بر متر انجام و تیمار آبیاری (هشت دسی‌زیمنس بر متر) به صورت تکمیلی در سه مرحله به‌طور یکسان برای ۱۷ ژنوتیپ، قبل از گلدهی، زمان گلدهی و پر شدن غلاف‌ها انجام شد. از کلرید سدیم برای اعمال شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر استفاده شد حجم آب آبیاری داده شده به هر کرت با استفاده از کنتور ثبت و مقدار آب در تمامی تیمارها یکسان در نظر گرفته شد. به منظور تهیه محلول شوری مقدار آب آبیاری در هر کرت اندازه‌گیری و بر این اساس مقدار نمک در هر لیتر محاسبه گردید. این محلول در مزرعه تهیه و به وسیله لوله در هر کرت توزیع شد.

ویژگی‌های فتوسنتزی، شامل میزان فتوسنتز، تبخیر و تعرق، هدایت و مقاومت روزنه‌ای و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در زمان ۵۰ درصد گلدهی مورد ارزیابی قرار گرفت. به منظور تعیین عوامل فتوسنتزی، از جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه‌یافته استفاده و فتوسنتز خالص برحسب میکرو مول دی‌اکسید کربن تثبیت‌شده بر مترمربع برگ در ثانیه، تعرق برحسب میلی‌مول آب بر مترمربع در ثانیه، هدایت روزنه‌ای برحسب مول آب بر مترمربع در ثانیه با دستگاه IRGA مدل LCA4 ساخت کشور انگلستان تعیین شد.

(Machado, & Pimentel, 2007). پژوهش‌ها نشان داده که صفاتی مانند میزان رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی (Nabati et al., 2015) عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه (Hirich, Ragab, Choukr-, Allah, & Rami, 2014) تحت تنش شوری کاهش می‌یابد. از طرفی صفاتی مانند میزان تعرق، هدایت روزنه‌ای و مقاومت روزنه‌ای افزایش می‌یابد (Nabati et al., 2015). شناسایی ارقامی که تحت تنش شوری دارای رشد و عملکرد قابل‌قبولی باشند علاوه بر تأثیری که بر افزایش عملکرد محصول دارند می‌تواند بینشی در مورد فرایندهای تحمل به شوری و راهبردهایی برای به‌نژادی در اختیار قرار دهد (Munns & Tester, 2008). مطالعات صورت گرفته در ارتباط با خصوصیات تحمل به شوری گیاه نخود نشان داده است که این گیاه از جمله گیاهان حساس به شوری است (Flowers et al., 2010). نخود (*Cicer arietinum* L.) علاوه بر تثبیت نیتروژن، به سبب جایگاه سوم از نظر تولید در میان کل حبوبات در آسیا، استرالیا و شمال آمریکا حائز اهمیت است (Roy, Boye, & Simpson, 2010) و یک منبع بسیار ارزشمند پروتئین، برای مصرف انسان در کشورهای در حال توسعه است (Asha Dhingra, 2007; Hameed et al., 2012; Zaccardelli et al., 2013). سطح زیر کشت نخود ۱۲/۶ میلیون هکتار و میزان تولید سالانه آن بیش از ۱۲ میلیون تن می‌باشد؛ در این میان ایران پس از کشورهای هند، پاکستان و استرالیا با ۴۳۴ هزار هکتار، رتبه چهارم سطح زیر کشت را دارا می‌باشد. میزان تولید سالانه نخود در ایران در حدود ۱۷۷ هزار تن و سرانه مصرف آن کمتر از دو کیلوگرم به ازای هر نفر می‌باشد. در این بین خراسان رضوی با ۷۲۷ هکتار سطح زیر کشت نخود، دارای میزان تولید ۱۱۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد (FAOSTAT, 2016). همانند اکثر حبوبات، جوانه‌زنی نخود نسبت به سایر مراحل رشدی کمتر تحت تأثیر شوری قرار می‌گیرد (Varshney et al., 2009) حساسیت ژنوتیپ‌های نخود به شوری با افزایش رشد گیاه بیشتر می‌شود (Gandour, 2002). تنش شوری سبب کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی می‌شود (Beltagi, 2008). کاهش فتوسنتز (Murumkar & Chavan, 1986)، کاهش میزان کاروتنوئیدها (Mudgal, Madaan, Mudgal, & Mishra, 2009) کاهش هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه نخود (Abdelaziz et al., 2014) می‌شود.

با توجه به گسترش روزافزون تنش شوری و کاهش حاصلخیزی اراضی زراعی تحت تنش شوری از یک طرف و اهمیت تولید نخود در این مناطق به عنوان یک منبع پروتئینی مهم از طرف دیگر، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی تحمل به شوری ژنوتیپ‌های نخود جهت کشت در این مناطق انجام شد.

جدول ۱- ژنوتیپ‌های مورد استفاده در آزمایش و منشأ آن‌ها

Table 1- Used chickpea genotypes and their origin

ردیف No	شناسه در بانک بذر Seed bank ID	منشأ Origin
1	MCC12	IRAN
2	MCC65	Flip88-32c
3	MCC72	5302
4	MCC77	Flip86-58c
5	MCC92	12228
6	MCC95	217655
7	MCC98	6102
8	MCC139	217897
9	MCC158	2217
10	MCC298	CIYT-610
11	MCC313	Flip90-183c
12	MCC420	IRAN
13	MCC483	Flip93-250c
14	MCC485	Flip93-252c
15	MCC500	Sel95TH1722
16	MCC679	IRAN
17	MCC776	Flip97-111c

MCC: کلکسیون نخود مشهد (بانک بذر نخود پژوهشکده علوم گیاهی دانشگاه فردوسی مشهد)
MCC: Mashhad Chickpea Collection

نتایج و بحث

بین شاهد و تنش شوری اختلاف معنی‌داری از نظر غلظت کلروفیل a مشاهده شد (جدول ۲). با افزایش میزان شوری از نیم به هشت دسی‌زیمنس بر متر غلظت کلروفیل a در ژنوتیپ‌های نخود ۸۲ درصد کاهش یافت (جدول ۲). بین ژنوتیپ‌های نخود از نظر غلظت کلروفیل a تنوع معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۲). به‌طوری‌که بین بیشترین (MCC776) و کمترین (MCC98 و MCC65) غلظت کلروفیل a در شرایط تنش شوری ۶۷ درصد تفاوت مشاهده شد (جدول ۲). برهمکنش تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود نشان داد که در تمامی ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح تنش شوری غلظت کلروفیل a کاهش یافت (جدول ۲). با این وجود میزان تغییرات در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بود به‌طوری‌که کمترین میزان کاهش در ژنوتیپ MCC65 با شش درصد و بیشترین میزان کاهش در ژنوتیپ MCC483 با ۳/۳ برابر مشاهده شد (جدول ۲). البته به این نکته باید توجه کرد که ژنوتیپ MCC65 کمترین مقدار کلروفیل a را شرایط بدون تنش دارا بود و میزان تغییرات آن با افزایش تنش شوری نیز بسیار کم بود (جدول ۲).

در این آزمایش به منظور اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی از روش دری و همکاران (Dere, Gines, & Sivaci, 1998) استفاده شد. برای این منظور ۱۰۰ میلی‌گرم برگ تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته استفاده و رنگ‌دانه‌ها با استفاده از اتانول ۹۶ درصد استخراج شد. میزان جذب با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج‌های ۴۷۰، ۶۴۸ و ۶۶۴ نانومتر انجام شد. بر اساس معادله‌های زیر غلظت کلروفیل‌های a و b و کاروتنوئیدها محاسبه گردید. به‌منظور اندازه‌گیری غلظت رنگ‌دانه‌ها از جمع غلظت کلروفیل و کاروتنوئیدهای برگ استفاده شد. همچنین نسبت کلروفیل a به b نیز محاسبه گردید.

$$Chla=13.36 \times A664 - 5.19 \times A648$$

$$Chlb=27.43 A648 - 8.12 A664$$

$$C(x+c) = (1000 \times A470 - 2.13 \times Ca - 97.64 \times Cb) / 209$$

کارایی مصرف لحظه‌ای آب با تقسیم مقدار فتوسنتز بر تبخیر و

تغرق محاسبه گردید (Haghighi & Pessarakli, 2013). در انتهای فصل رشد در رشد دهه اول تیرماه با حذف نیم متر حاشیه از هر طرف سطح باقی‌مانده برداشت و عملکرد زیستی و دانه پس از خشک شدن در هوای آزاد اندازه‌گیری و ثبت شد.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار Minitab 18 و مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

جدول ۲- اثر تنش شوری بر غلظت کلروفیل a و کلروفیل b در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 2- Effect of salinity on Chlorophyll a, Chlorophyll b content in chickpeas genotypes

Chlorophyll a (mg.gFW ⁻¹)				Chlorophyll b (mg.gFW ⁻¹)			
Genotype		Genotype		Genotype		Genotype	
ژنوتیپ		کلروفیل a		ژنوتیپ		کلروفیل b	
MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean	MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
12	0.730 ^a	0.413 ^a	0.571 ^A	12	0.475 ^{ab}	0.272 ^{a-c}	0.374 ^A
65	0.368 ^a	0.350 ^a	0.359 ^A	65	0.204 ^{bc}	0.249 ^{a-c}	0.227 ^{AB}
72	0.588 ^a	0.209 ^a	0.399 ^A	72	0.187 ^c	0.144 ^c	0.165 ^B
77	0.596 ^a	0.318 ^a	0.457 ^A	77	0.327 ^{bc}	0.191 ^c	0.259 ^{AB}
92	0.465 ^a	0.320 ^a	0.392 ^A	92	0.252 ^{a-c}	0.140 ^c	0.196 ^{AB}
95	0.572 ^a	0.396 ^a	0.484 ^A	95	0.315 ^{a-c}	0.251 ^{a-c}	0.283 ^{AB}
98	0.451 ^a	0.272 ^a	0.362 ^A	98	0.340 ^{a-c}	0.214 ^{bc}	0.277 ^{AB}
139	0.625 ^a	0.420 ^a	0.522 ^A	139	0.154 ^c	0.225 ^{a-c}	0.189 ^B
158	0.606 ^a	0.318 ^a	0.462 ^A	158	0.308 ^{a-c}	0.221 ^{a-c}	0.265 ^{AB}
298	0.808 ^a	0.345 ^a	0.577 ^A	298	0.377 ^{a-c}	0.189 ^c	0.283 ^{AB}
313	0.544 ^a	0.373 ^a	0.459 ^A	313	0.255 ^{a-c}	0.196 ^{bc}	0.225 ^{AB}
420	0.648 ^a	0.375 ^a	0.511 ^A	420	0.262 ^{a-c}	0.212 ^{bc}	0.237 ^{AB}
483	0.856 ^a	0.265 ^a	0.561 ^A	483	0.407 ^{a-c}	0.194 ^{bc}	0.300 ^{AB}
485	0.528 ^a	0.346 ^a	0.437 ^A	485	0.262 ^{a-c}	0.202 ^{bc}	0.232 ^{AB}
500	0.583 ^a	0.272 ^a	0.427 ^A	500	0.394 ^{a-c}	0.176 ^c	0.285 ^{AB}
679	0.483 ^a	0.337 ^a	0.410 ^A	679	0.272 ^{a-c}	0.191 ^c	0.231 ^{AB}
776	0.833 ^a	0.358 ^a	0.596 ^A	776	0.500 ^a	0.173 ^c	0.337 ^{AB}
Mean	0.605 ^(A)	0.335 ^(B)		Mean	0.311 ^(A)	0.202 ^(B)	
Salinity		Genotype		Salinity		Genotype	
Genotype×Salinity		Genotype×Salinity		Genotype×Salinity		Genotype×Salinity	
P value	0.001 ^{**}	0.074 ^{ns}	0.123 ^{ns}	P value	0.001 ^{**}	0.006 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	31			CV%	16		

LSD_{0.05}: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم معنی‌دار در سطح پنج درصد، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

برابر بود (جدول ۳). برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود کابلی از نظر میزان کاروتنوئیدها نشان داد که ژنوتیپ‌های مورد مطالعه به سه گروه قابل تقسیم است. گروه اول ژنوتیپ‌هایی که با اعمال تنش شوری میزان کاروتنوئیدهای آن‌ها کاهش یافت که بیشترین تعداد ژنوتیپ‌ها (۱۰ ژنوتیپ) در این گروه قرار گرفتند. گروه دوم ژنوتیپ‌هایی که با اعمال تنش شوری میزان کاروتنوئیدهای آن‌ها افزایش یافت که چهار ژنوتیپ MCC77، MCC92، MCC313 و MCC679 در این گروه قرار گرفتند و بیشترین افزایش مربوط به ژنوتیپ MCC92 با ۸۳ درصد بود. گروه سوم ژنوتیپ‌هایی که با اعمال تنش شوری تغییری در میزان کاروتنوئیدهای آن‌ها حاصل نشد که شامل ژنوتیپ‌های MCC65، MCC139 و MCC298 بودند (جدول ۳).

از نظر غلظت کلروفیل b بین سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری وجود داشت، اما برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌ها حاکی از تفاوت معنی‌داری در این ویژگی بود (جدول ۲). در بیشتر ژنوتیپ‌ها با اعمال تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر غلظت کلروفیل b کاهش یافت اما در دو ژنوتیپ MCC139 و MCC65 برخلاف روند سایر ژنوتیپ‌ها غلظت کلروفیل b با اعمال تنش شوری افزایش یافت (جدول ۲). بیشترین میزان کاهش غلظت کلروفیل b با اعمال تنش شوری در ژنوتیپ MCC776 با ۲/۹ برابر کاهش مشاهده شد (جدول ۲).

محتوی کاروتنوئیدهای برگ با اعمال تنش شوری کاهش معنی‌دار یافت (جدول ۳). در میان ژنوتیپ‌ها، کمترین غلظت کاروتنوئیدها در ژنوتیپ‌های MCC298 و MCC679 و بیشترین غلظت در ژنوتیپ MCC776 تولید شد که تفاوت میان آن‌ها ۲/۳

جدول ۳- اثر تنش شوری بر غلظت کاروتنوئیدها در ژنوتیپ‌های نخود کابلی
Table 3- Effect of salinity on concentration of carotenoids in chickpeas genotypes

Genotype	Carotenoids (mg.gFW ⁻¹)		
	ژنوتیپ	کاروتنوئیدها	
	MCC	0.5 dSm ⁻¹	8 dS.m ⁻¹
			Mean
12		0.151 ^a	0.095 ^a
65		0.083 ^a	0.075 ^a
72		0.139 ^a	0.054 ^a
77		0.154 ^a	0.173 ^a
92		0.062 ^a	0.112 ^a
95		0.117 ^a	0.079 ^a
98		0.134 ^a	0.063 ^a
139		0.105 ^a	0.101 ^a
158		0.134 ^a	0.081 ^a
298		0.078 ^a	0.084 ^a
313		0.101 ^a	0.190 ^a
420		0.112 ^a	0.088 ^a
483		0.160 ^a	0.053 ^a
485		0.120 ^a	0.095 ^a
500		0.181 ^a	0.082 ^a
679		0.066 ^a	0.088 ^a
776		0.270 ^a	0.090 ^a
Mean		0.128 ^(A)	0.094 ^(B)
		Salinity	Genotype
P value		0.003 ^{**}	0.068 ^{ns}
CV%		49.5	Genotype×Salinity
			0.019 ^{ns}

LSD_{0.05}: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم در سطح پنج درصد معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

کمترین میزان را دارا بودند (جدول ۴). از سوی دیگر چهار ژنوتیپ MCC77، MCC92، MCC298 و MCC679 برخلاف روند سایر ژنوتیپ‌ها با اعمال تنش شوری، غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی در آن‌ها افزایش یافت (جدول ۴).

بررسی همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد که بین کلروفیل a با کلروفیل b ($r=0.68^{**}$)، کاروتنوئیدها ($r=0.53^{**}$) و کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ($r=0.64^{**}$) و همچنین بین کلروفیل b با کاروتنوئیدها ($r=0.54^{**}$) و کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ($r=0.56^{**}$) همبستگی مثبت و معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۹). مقدار کلروفیل و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی نقش مؤثری در توان فتوسنتزی گیاهان دارند و به همین دلیل مستقیماً بر میزان و سرعت فتوسنتز و در نهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند (Nabati et al., 2015).

باوجود کاهش غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی با اعمال تنش شوری این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۴). سه ژنوتیپ MCC12، MCC123 و MCC776 نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها از رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی بیشتری برخوردار بودند (جدول ۴). تفاوت بین بیشترین (MCC776) و کمترین (MCC72 و MCC779) غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی ۲/۱ برابر بود (جدول ۴). برهمکنش سطوح تنش شوری و ژنوتیپ‌های نخود از نظر غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی معنی‌دار بود (جدول ۴). در میان ۱۷ ژنوتیپ مورد مطالعه، ۱۳ ژنوتیپ با اعمال تنش شوری از تیمار شاهد به هشت دسی‌زیمنس بر متر غلظت کل رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی آن‌ها کاهش یافت که در این میان دو ژنوتیپ MCC483 و MCC776 بیشترین میزان کاهش و سه ژنوتیپ MCC313، MCC65 و MCC95

جدول ۴- اثر تنش شوری بر غلظت کل رنگدانه‌های فتوسنتزی و تبخیر و تعرق در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 4- Effect of salinity on concentration of total pigment and transpiration rate in chickpeas genotypes

Total pigments (mg.gFW ⁻¹)				Transpiration rate (mmol m ⁻² s ⁻¹)			
Genotype	کل رنگدانه‌های فتوسنتزی			Genotype	تبخیر و تعرق		
ژنوتیپ	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean	ژنوتیپ	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
MCC				MCC			
12	1.279 ^{ab}	0.899 ^{ab}	1.089 ^{A-C}	12	1.690 ^{lm}	5.850 ^f	3.770 ^{EF}
65	0.655 ^b	0.638 ^b	0.646 ^{BC}	65	6.293 ^{ef}	3.941 ^{h-j}	5.117 ^{BC}
72	0.757 ^b	0.455 ^b	0.606 ^C	72	2.969 ^{jk}	8.056 ^{cd}	5.513 ^B
77	1.077 ^{ab}	1.386 ^{ab}	1.232 ^{A-C}	77	4.734 ^{gh}	6.121 ^{ef}	5.428 ^B
92	0.621 ^b	0.637 ^b	0.629 ^{BC}	92	1.080 ^{m-o}	1.239 ^{m-o}	1.159 ^I
95	0.837 ^{ab}	0.802 ^b	0.819 ^{A-C}	95	6.372 ^{ef}	2.952 ^{lk}	4.662 ^{CD}
98	0.882 ^{ab}	0.546 ^b	0.714 ^{A-C}	98	0.426 ^{no}	7.135 ^{de}	3.780 ^{EF}
139	0.924 ^{ab}	0.776 ^b	0.850 ^{A-C}	139	1.443 ^{h-o}	4.342 ^{g-i}	2.893 ^{GH}
158	0.901 ^{ab}	0.603 ^b	0.752 ^{A-C}	158	1.988 ^{k-m}	6.410 ^{ef}	4.199 ^{DE}
298	0.587 ^b	0.710 ^b	0.649 ^{BC}	298	3.617 ^{ij}	1.329 ^{h-o}	2.473 ^H
313	0.802 ^b	0.776 ^b	0.789 ^{A-C}	313	5.708 ^{fg}	9.526 ^b	7.617 ^A
420	0.931 ^{ab}	0.750 ^b	0.840 ^{A-C}	420	1.499 ^{h-n}	4.663 ^{g-i}	3.081 ^{F-H}
483	1.214 ^{ab}	0.534 ^b	0.874 ^{A-C}	483	1.024 ^{m-o}	7.120 ^{de}	4.072 ^{DE}
485	0.908 ^{ab}	0.642 ^b	0.775 ^{A-C}	485	5.886 ^f	8.941 ^{bc}	7.413 ^A
500	1.097 ^{ab}	0.609 ^b	0.853 ^{A-C}	500	2.425 ^{kl}	11.719 ^a	7.072 ^A
679	0.558 ^b	0.666 ^b	0.612 ^{BC}	679	0.382 ^o	6.641 ^{ef}	3.512 ^{E-G}
776	1.809 ^{ab}	0.843 ^{ab}	1.326 ^A	776	0.427 ^{no}	7.175 ^{de}	3.801 ^E
Mean	0.932 ^(A)	0.722 ^(B)		Mean	2.821 ^(B)	6.068 ^(A)	
	Salinity	Genotype	Genotype×Salinity		Salinity	Genotype	Genotype×Salinity
P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.051 [*]	P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	35			CV%	7.3		

LSD_{0.05}, LSD_{0.01}: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم در سطح پنج درصد معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال

یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

تأثیر بر تشکیل پلاستیدهای جدید کلروفیل و کاروتن‌ها کاهش فعالیت سیستم فتوسنتزی را به همراه دارد (Sudhir & Murthy, 2004). مطالعات نشان می‌دهد میزان کلروفیل در شرایط تنش شوری در گیاهان حساس و متحمل متفاوت است و تنوع قابل ملاحظه‌ای بین گونه‌ها مشاهده می‌شود. ارقامی که میزان نسبی کلروفیل بالاتری دارند در شرایط تنش شوری عملکرد بالاتری دارند. از طرف دیگر، وراثت‌پذیری بالای صفات فتوسنتزی سبب شده است میزان آسمیلاسیون مواد فتوسنتزی در وارته‌های متحمل بیشتر باشد و به دنبال آن رشد و تولید بیشتری را به خود اختصاص دهند. با این وجود، در مورد نقش تأثیرگذار رنگدانه‌های فتوسنتزی یا بسته شدن روزنه‌ها در کاهش فتوستن در شرایط شوری و خشکی تردیدهایی وجود دارد (Mundree et al., 2002; Lawson, Oxborough, Morison, & Baker, 2003; Samineni, Siddique, Gaur, & Colmer, 2011).

بررسی اثر تنش شوری بر میزان تبخیر و تعرق در ژنوتیپ‌های مختلف نشان داد که در میان ۱۷ ژنوتیپ موردبررسی، ۱۴ ژنوتیپ با اعمال تنش شوری میزان تبخیر و تعرق افزایش و در سه ژنوتیپ MCC65، MCC95 و MCC298 با اعمال تنش شوری این ویژگی

پژوهشگران کاهش میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی در اثر تنش شوری را در نخود گزارش کرده‌اند (Beltagi, 2008; Mudgal et al., 2009). در مطالعه حاضر تنوع زیادی بین ژنوتیپ‌های نخود مورد مطالعه از نظر رنگدانه‌های فتوسنتزی در واکنش به افزایش سطح تنش شوری ملاحظه گردید. در بیشتر ژنوتیپ‌ها میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی با اعمال تنش شوری کاهش یافت (Parida & Das, 2005; Dharamvi, Kumar, Kumar, & Kumar, 2018)، اما در این میان چهار ژنوتیپ (MCC92، MCC77، MCC298 و MCC679) روند متفاوتی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارا بودند و با اعمال تنش شوری میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی آن‌ها افزایش یافت. این افزایش میزان رنگدانه‌ها را می‌توان به عادت رشدی فتوسنتزی در شرایط تنش شوری می‌تواند به‌عنوان یک فرایند در جهت افزایش تحمل به این تنش مدنظر قرار گیرد، زیرا تنش شوری با کاهش رنگدانه‌های فتوسنتزی ظرفیت گیاه برای فتوسنتز و تولید را کاهش می‌دهد. افزایش تجمع سدیم کلرید در کلروپلاست گیاهان کاهش میزان کلروفیل را از طریق شکستن کلروپلاست در پی دارد، ناپایداری کمپلکس پروتئین و لیپید در گیاهان حساس به شوری با

شوری میزان دی‌اکسید کربن زیر روزه آن‌ها افزایش یافت به‌طوری‌که سه ژنوتیپ MCC485، MCC776 و MCC313 به‌ترتیب با ۵۱، ۴۹ و ۴۰ پی‌پی‌ام بیشترین مقدار افزایش را نشان دادند (جدول ۵). از سوی دیگر در میان ژنوتیپ‌هایی که با اعمال تنش شوری میزان دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزه آن‌ها کاهش یافت، ژنوتیپ‌های MCC95، MCC72، MCC158 و به‌ترتیب با ۲۶، ۲۲ و ۲۱ پی‌پی‌ام بیشترین میزان کاهش را دارا بودند (جدول ۵).

در شرایط غیر شور بیشترین و کمترین میزان دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MCC158 و MCC500 با ۱۰۶ پی‌پی‌ام تفاوت بود. در شرایط تنش شوری بیشترین و کمترین مقدار دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزه به‌ترتیب مربوط به ژنوتیپ‌های MCC12 و MCC500 با ۸۳ پی‌پی‌ام تفاوت بود (جدول ۵). سه ژنوتیپ MCC65، MCC139 و MCC298 کمترین میزان تغییرات در دی‌اکسید کربن اتاقک زیر روزه با اعمال تنش شوری را نشان دادند (جدول ۵).

به‌ترتیب ۳۷، ۵۴ و ۶۳ درصد کاهش یافت (جدول ۴). در میان ژنوتیپ‌ها سه ژنوتیپ MCC679، MCC776 و MCC98 به‌ترتیب با ۱۷/۵، ۱۶/۷ و ۱۶/۶ برابر افزایش بیشترین میزان تغییرات تعرق را با اعمال تنش شوری نشان دادند (جدول ۴).

در واکنش به اعمال تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر از نظر میزان فتوسنتز در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه تنوع مشاهده گردید (جدول ۵). میزان فتوسنتز در هفت ژنوتیپ (MCC12، MCC65، MCC72، MCC92، MCC95، MCC679 و MCC776) با اعمال تنش شوری افزایش و در ۱۰ ژنوتیپ این ویژگی کاهش یافت (جدول ۵). در میان ژنوتیپ‌هایی که با اعمال تنش شوری میزان فتوسنتز روند افزایشی داشت دو ژنوتیپ MCC95 و MCC679 بیشترین نرخ افزایش را با ۶۱ و ۵۳ درصد دارا بودند (جدول ۵). از سوی دیگر در میان ژنوتیپ‌هایی که نرخ فتوسنتز با اعمال تنش شوری کاهش یافت ژنوتیپ‌های MCC420 و MCC158 به‌ترتیب با ۶۵ و ۶۰ درصد بیشترین میزان کاهش را نشان دادند (جدول ۵). در میان ژنوتیپ‌های مورد بررسی هشت ژنوتیپ با اعمال تنش

جدول ۵- اثر تنش شوری بر میزان فتوسنتز و دی‌اکسید کربن زیر روزه در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 5- Effect of salinity on photosynthetic rate and CO₂ substomatal at different chickpeas genotypes under salinity stress

Photosynthesis rate (μmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹)				CO ₂ substomatal (P.P.M)			
Genotype	فتوسنتز			Genotype	دی اکسید کربن زیر اتاقک روزنه		
ژنوتیپ				ژنوتیپ			
MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dSm ⁻¹	Mean	MCC	0.5 dSm ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
12	16.22 ^{g-m}	18.78 ^{e-k}	17.50E-G	12	355 ^{a-f}	381 ^{ab}	368 ^{A-C}
65	18.11 ^{f-l}	19.30 ^{e-k}	18.71EF	65	372 ^{a-d}	371 ^{a-d}	371 ^{AB}
72	11.65 ^{k-m}	12.01 ^{j-m}	11.83G	72	369 ^{a-e}	347 ^{a-f}	358 ^{A-D}
77	28.82 ^{b-d}	15.80 ^{g-m}	22.31C-E	77	351 ^{a-f}	335 ^{d-h}	343 ^{C-E}
92	23.08 ^{b-i}	29.80 ^{a-d}	26.44A-C	92	348 ^{a-f}	356 ^{a-f}	352 ^{A-D}
95	15.03 ^{h-m}	24.21 ^{b-h}	19.62D-F	95	358 ^{a-f}	336 ^{d-h}	347 ^{B-D}
98	23.08 ^{b-i}	12.19 ^{j-m}	17.64E-G	98	350a-f	324 ^{f-i}	337 ^{D-F}
139	21.57 ^{b-i}	18.68 ^{e-k}	20.12D-F	139	340c-g	338 ^{c-g}	339 ^{D-F}
158	22.25 ^{b-i}	8.89 ^m	15.57FG	158	386a	365 ^{a-e}	376 ^A
298	27.83 ^{b-e}	12.29 ^{j-m}	20.06D-F	298	339c-g	336 ^{c-h}	338 ^{D-F}
313	30.09 ^{a-c}	22.28 ^{b-i}	26.18A-C	313	336c-h	376 ^{a-c}	356 ^{AD}
420	26.64 ^{b-f}	9.35 ^{lm}	18.00EF	420	307g-j	333 ^{d-i}	320 ^{EF}
483	38.85 ^a	24.96 ^{b-g}	31.90A	483	322f-i	306 ^{g-j}	314 ^{FG}
485	30.59 ^{ab}	26.34 ^{b-f}	28.47AB	485	295ij	346 ^{b-f}	320 ^{EF}
500	29.29 ^{b-d}	20.69 ^{d-k}	24.99B-D	500	280j	298 ^{h-j}	289 ^G
679	14.90 ^{j-m}	22.74 ^{b-i}	18.82EF	679	330e-i	336 ^{c-h}	333 ^{E-F}
776	18.17 ^{f-l}	20.98 ^{c-j}	19.58D-F	776	323f-i	372 ^{a-d}	348 ^{B-D}
Mean	23.30 ^(A)	18.78 ^(B)		Mean	339 ^(B)	345 ^(A)	
	Salinity	Genotype	GenotypexSalinity		Salinity	Genotype	GenotypexSalinity
P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	P value	0.015 [*]	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	12.0			CV%	3.4		

تائیدکننده مطالب قبل است.

میزان هدایت روزنه‌ای در ۱۵ ژنوتیپ با افزایش شوری از صفر به هشت دسی‌زیمنس بر متر کاهش معنی‌داری پیدا کرد، بیشترین میزان کاهش هدایت روزنه‌ای در سه ژنوتیپ MCC313، MCC158 و MCC72 به ترتیب با ۶۴، ۶۰ و ۵۵ درصد مشاهده شد (جدول ۶). در میان ژنوتیپ‌ها تنها دو ژنوتیپ MCC65 و MCC95 با افزایش سطح تنش شوری هدایت روزنه‌ای آن‌ها به ترتیب ۲۸ و ۸ درصد افزایش یافت (جدول ۶). همان‌طور که در قبل اشاره شد در ژنوتیپ MCC65 میزان دی‌اکسید کربن را در اتاقک زیر روزنه حداقل تغییرات را داشت که در نتیجه عدم بسته شدن روزنه در شرایط تنش و انجام تبادلات گازی در شرایط تنش بود.

به‌طورمعمول گیاهان در شرایط تنش خشکی و شوری تمایل به بستن روزنه‌ها جهت مدیریت آب دارند (Shimada, Sugano, & Hara-Nishimura, 2011). بسته شدن روزنه‌ها موجب کاهش غلظت دی‌اکسید کربن در زیر روزنه می‌گردد (Hetherington & Woodward, 2003). بررسی میزان تغییرات دی‌اکسید کربن در زیر روزنه نشان‌دهنده توانایی هر ژنوتیپ در مدیریت روزنه‌ها و حفظ آب در داخل گیاه است. باوجوداین که ژنوتیپ‌هایی که توانایی مدیریت روزنه‌ها و حفظ آب را دارا هستند اما میزان دی‌اکسید کربن را در اتاقک زیر روزنه آن‌ها کاهش می‌یابد و فتوسنتز نیز متعاقب آن کاهش پیدا می‌کند. در این مطالعه بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که غلظت دی‌اکسید کربن در اتاقک زیر روزنه با میزان فتوسنتز همبستگی منفی و معنی‌داری ($r = -0.22^*$) دارد (جدول ۹) که

جدول ۶- اثر تنش شوری بر هدایت و مقاومت روزنه‌ای در ژنوتیپ‌های نخود

Table 6- Effect of salinity on stomata conductance and stomata resistant at different chickpea genotypes under salinity stress							
Genotype		Stomatal conductance (mol.m ⁻² s ⁻¹)		Genotype		Stomatal resistant (m ² s ⁻¹ .mol ⁻¹)	
ژنوتیپ		هدایت روزنه‌ای		ژنوتیپ		مقاومت روزنه‌ای	
MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 Ds.m ⁻¹	Mean	MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
12	16.8 ^{a-g}	8.8 ^{b-g}	12.8 ^{AB}	12	72.3 ^{b-d}	121.6 ^{a-d}	96.9 ^{AB}
65	13.0 ^{a-g}	16.6 ^{a-g}	14.8 ^{AB}	65	94.4 ^{a-d}	136.1 ^{a-d}	115.3 ^{AB}
72	19.6 ^{a-c}	8.9 ^{b-g}	14.3 ^{AB}	72	60.3 ^{cd}	113.1 ^{a-d}	86.7 ^{AB}
77	14.0 ^{a-g}	9.8 ^{b-g}	11.9 ^{AB}	77	72.3 ^{b-d}	52.7 ^d	62.5 ^B
92	15.8 ^{a-g}	7.3 ^{e-g}	11.6 ^{AB}	92	65.3 ^{cd}	72.3 ^{b-d}	68.8 ^{AB}
95	12.8 ^{a-g}	13.7 ^{a-g}	13.3 ^{AB}	95	47.0 ^d	101.7 ^{a-d}	74.3 ^{AB}
98	16.8 ^{a-g}	7.9 ^{d-g}	12.4 ^{AB}	98	60.2 ^{cd}	127.8 ^{a-d}	94.0 ^{AB}
139	18.6 ^{a-e}	11.4 ^{a-g}	15.0 ^A	139	61.4 ^{cd}	82.1 ^{a-d}	71.7 ^{AB}
158	17.4 ^{a-f}	6.9 ^{fg}	12.1 ^{AB}	158	63.3 ^{cd}	133.4 ^{a-d}	98.4 ^{AB}
298	19.4 ^{a-d}	11.6 ^{a-g}	15.5 ^A	298	87.9 ^{a-d}	56.6 ^d	72.3 ^A
313	20.2 ^{ab}	7.2 ^{e-g}	13.7 ^{AB}	313	49.7 ^d	169.7 ^a	109.7 ^{AB}
420	21.9 ^a	14.7 ^{a-g}	18.3 ^A	420	70.5 ^{b-d}	68.8 ^{cd}	69.6 ^{AB}
483	13.0 ^{a-g}	9.3 ^{b-g}	11.1 ^{AB}	483	107.1 ^{a-d}	118.1 ^{a-d}	112.6 ^{AB}
485	15.1 ^{a-g}	8.5 ^{c-g}	11.8 ^{AB}	485	55.9 ^d	163.5 ^{ab}	109.7 ^{AB}
500	10.7 ^{a-g}	5.2 ^g	7.9 ^B	500	99.5 ^{a-d}	150.3 ^{a-c}	124.9 ^A
679	15.9 ^{a-g}	10.9 ^{a-g}	13.4 ^{AB}	679	64.8 ^{cd}	97.2 ^{a-d}	81.0 ^{AB}
776	18.5 ^{a-f}	9.4 ^{b-g}	13.9 ^{AB}	776	60.5 ^{cd}	114.2 ^{a-d}	87.4 ^{AB}
Mean	16.4 ^(A)	9.9 ^(B)		Mean	70.1 ^(B)	110.5 ^(A)	
	Salinity	Genotype	Genotype×Salinity		Salinity	Genotype	Genotype×Salinity
P value	0.001 ^{**}	0.004 ^{**}	0.015 [*]	P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	26			CV%	30		

LSD_{0.05}: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم در سطح پنج درصد معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

افزایش سطح تنش شوری در ژنوتیپ‌های MCC313 و MCC485 به ترتیب با ۳/۴ و ۲/۹ برابر مشاهده شد (جدول ۶). کاهش تبادلات گازی در اثر تنش شوری در پژوهش‌های پیشین گزارش شده است (Flexas et al., 2007). شوری روی دو فرآیند روابط آبی و روابط یونی در گیاه تأثیر دارد. گیاهان زمانی که در

برهمکنش تنش شوری در ژنوتیپ‌های نخود کابلی از نظر میزان مقاومت روزنه‌ها نشان داد که با اعمال تنش شوری در ۱۴ ژنوتیپ میزان مقاومت روزنه‌ای افزایش و تنها در سه ژنوتیپ MCC77، MCC420 و MCC29 با اعمال تنش شوری مقاومت روزنه‌ای کاهش یافت (جدول ۶). بیشترین میزان افزایش مقاومت روزنه‌ای با

با ۲۷، ۱۴، ۱۳ و ۱۱ برابر کاهش بیشترین میزان کاهش کارایی مصرف آب لحظه‌ای را دارا بودند (جدول ۷). در مقابل با اعمال تنش شوری چهار ژنوتیپ MCC95، MCC65، MCC92 و MCC298 به ترتیب با ۳/۴ برابر، ۶۷، ۱۴ و ۱۳ درصد کارایی مصرف آب لحظه‌ای آن‌ها افزایش یافت (جدول ۷). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد که کارایی مصرف آب لحظه‌ای آب با میزان فتوستتزر رابطه مثبت و معنی‌دار ($r=0.78^{**}$) و با تبخیر و تعرق رابطه منفی و معنی‌داری ($r=-0.71^{**}$) داشت. سدیم مهم‌ترین یون سمی در تنش شوری است، زیرا در جذب K^+ و همچنین در تنظیم باز و بسته شدن روزنه‌ای اختلال ایجاد کرده و در نهایت باعث از دست دادن آب و نکرز برگ‌ها می‌شود (Nabati et al., 2015; Kafi, Bagheri, Nabati, Zare Mehrjerdi, & Masomi, 2011). تجمع زیاد Cl^- منجر به کاهش قابل توجه در رشد و کارایی مصرف آب گیاهان می‌شود (White & Broadley, 2001). ژنوتیپ‌هایی که قابلیت حفظ فتوستتزر خود در شرایط تنش شوری را داشتند و میزان تعرق خود را کاهش دادند یا به عبارت دیگر علی‌رغم بسته شدن روزنه‌ها توان فتوستتزی خود را حفظ کردند، کارایی مصرف آب لحظه‌ای بالاتری نیز داشتند؛ بنابراین می‌توان عنوان کرد این ژنوتیپ‌ها برای شرایط تنش شوری مناسب‌تر خواهند بود.

معرض شوری قرار می‌گیرند ابتدا تنش آب را تجربه می‌کنند که به کاهش توسعه برگ‌ها می‌انجامد. در صورتی که گیاه مدت طولانی در معرض شوری قرار گیرد تنش یونی را نیز تجربه می‌کند که باعث پیری زودرس برگ‌های بالغ می‌شود بنابراین کاهش در سطح فتوستتزی که حمایت‌کننده رشد است ایجاد می‌شود. کاهش فتوستتزر با افزایش شوری با بسته شدن روزنه‌ها موجب کاهش فشار جزئی دی‌اکسید کربن بین سلولی یا عوامل غیر روزنه‌ای می‌شود (Sultan, Ikeda, & Itoh, 1999; Kafi et al., 2009).

در این مطالعه مشاهده شد عوامل روزنه‌ای مانند هدایت و مقاومت روزنه‌ای و همچنین دی‌اکسید کربن اتاقتک زیر روزنه در بین ژنوتیپ‌ها تنوع قابل ملاحظه‌ای دارند که در این میان دو ژنوتیپ MCC65 و MCC95 در بسیاری از صفات روندی مخالف با سایر ژنوتیپ‌ها داشتند. افزایش تعرق و هدایت روزنه‌ای با اعمال تنش شوری در سایر پژوهش‌ها نیز گزارش شده (Nabati et al., 2015)، در مقابل کاهش میزان هدایت روزنه‌ای با اعمال تنش شوری نیز در نخود گزارش شده است (Hirich et al., 2014).

در میان ۱۷ ژنوتیپ مورد مطالعه، ۱۳ ژنوتیپ با اعمال تنش شوری کارایی مصرف آب لحظه‌ای آن‌ها کاهش یافت که چهار ژنوتیپ MCC98، MCC776، MCC679 و MCC158 به ترتیب

جدول ۷- کارایی مصرف آب لحظه‌ای آب در ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی تحت تنش شوری
Table 7- Water use efficiency in 17 chickpea genotypes under salinity stress

Genotype	Water use efficiency ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$)		
ژنوتیپ	کارایی مصرف آب		
MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
12	9.60 ^{h-j}	3.22 ^{m-o}	6.41 ^{D-F}
65	2.88 ^{m-o}	4.90 ^{k-o}	3.89 ^{GH}
72	3.92 ^{l-o}	1.50 ^{no}	2.71 ^H
77	6.08 ^{j-m}	2.58 ^{m-o}	4.33 ^{E-H}
92	21.36 ^{de}	23.90 ^d	22.63 ^B
95	2.40 ^{m-o}	8.20 ^{t-k}	5.30 ^{E-G}
98	54.25 ^a	1.72 ^{no}	27.98 ^A
139	14.95 ^{fg}	4.30 ^{l-o}	9.62 ^C
158	11.14 ^{g-i}	1.39 ^o	6.26 ^{D-G}
298	7.69 ^{i-l}	9.25 ^{h-j}	8.47 ^{CD}
313	5.32 ^{k-n}	2.32 ^{m-o}	3.82 ^{GH}
420	17.78 ^{ef}	2.01 ^{no}	9.89 ^C
483	37.93 ^c	3.51 ^{m-o}	20.72 ^B
485	5.20 ^{k-o}	2.95 ^{mo}	4.07 ^{F-H}
500	12.08 ^{gh}	1.77 ^{no}	6.92 ^{DE}
679	39.03 ^{bc}	3.42 ^{m-o}	21.23 ^B
776	42.59 ^b	2.93 ^{m-o}	22.76 ^B
Mean	17.31 ^(A)	4.70 ^(B)	
	Salinity	Genotype	Genotype×Salinity
P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	10.30		

LSD_{0.05}: حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد، ns: عدم در سطح پنج درصد معنی‌دار، *: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

میزان زیست توده با افزایش سطح تنش شوری در تمامی ژنوتیپ‌ها روند کاهشی داشت (جدول ۸). حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به اعمال تنش شوری سه ژنوتیپ MCC12، MCC420، MCC158 بودند که به ترتیب ۳/۱، ۲/۸ و ۲/۶ برابر کاهش زیست توده با اعمال تنش شوری نشان دادند (جدول ۸). از سوی دیگر چهار ژنوتیپ MCC298، MCC139، MCC72 و MCC65 با ۲۳، ۳۰، ۳۷ و ۴۴ درصد کاهش زیست توده در میان ژنوتیپ‌ها کمترین کاهش تولید زیست توده با اعمال تنش شوری را نشان دادند (جدول ۸). میزان زیست توده دارای همبستگی مثبت و معنی داری با کلروفیل a ($r=0.33^{***}$)، کلروفیل b ($r=0.21^*$)، میزان فتوسنتز ($r=0.28^{**}$)، هدایت روزنه‌ای ($r=0.38^{**}$) و کارایی مصرف لحظه‌ای آب

میزان زیست توده با افزایش سطح تنش شوری در تمامی ژنوتیپ‌ها روند کاهشی داشت (جدول ۸). حساس‌ترین ژنوتیپ‌ها به اعمال تنش شوری سه ژنوتیپ MCC12، MCC420، MCC158 بودند که به ترتیب ۳/۱، ۲/۸ و ۲/۶ برابر کاهش زیست توده با اعمال تنش شوری نشان دادند (جدول ۸). از سوی دیگر چهار ژنوتیپ MCC298، MCC139، MCC72 و MCC65 با ۲۳، ۳۰، ۳۷ و ۴۴ درصد کاهش زیست توده در میان ژنوتیپ‌ها کمترین کاهش تولید زیست توده با اعمال تنش شوری را نشان دادند (جدول ۸). میزان زیست توده دارای همبستگی مثبت و معنی داری با کلروفیل a ($r=0.33^{***}$)، کلروفیل b ($r=0.21^*$)، میزان فتوسنتز ($r=0.28^{**}$)، هدایت روزنه‌ای ($r=0.38^{**}$) و کارایی مصرف لحظه‌ای آب

جدول ۸- اثر تنش شوری بر زیست توده و عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های نخود کابلی

Table 8- Effect of salinity on biomass and seed yield at different chickpea genotypes

Biomass (kg.m ⁻²)				Seed yield (kg.m ⁻²)			
Genotype	ژنوتیپ			Genotype	ژنوتیپ		
ژنوتیپ	زیست توده			ژنوتیپ	عملکرد دانه		
MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean	MCC	0.5 dS.m ⁻¹	8 dS.m ⁻¹	Mean
12	0.357 ^{lm}	0.116 ^s	0.237 ^K	12	0.101 ^j	0.035 ^o	0.068 ^K
65	0.813 ^b	0.565 ^{ef}	0.689 ^{AB}	65	0.218 ^a	0.148 ^g	0.183 ^B
72	0.515 ^{hi}	0.376 ^l	0.445 ^{EF}	72	0.111 ⁱ	0.099 ^j	0.105 ^G
77	0.576 ^e	0.292 ^{o-q}	0.434 ^{FG}	77	0.148 ^g	0.143 ^g	0.146 ^C
92	0.919 ^a	0.467 ^j	0.693 ^A	92	0.219 ^a	0.167 ^{de}	0.193 ^A
95	0.928 ^a	0.421 ^k	0.675 ^B	95	0.196 ^b	0.166 ^e	0.181 ^B
98	0.491 ^{ij}	0.283 ^{pq}	0.387 ^J	98	0.135 ^h	0.047 ⁿ	0.091 ^I
139	0.572 ^e	0.440 ^k	0.506 ^D	139	0.156 ^f	0.086 ^k	0.121 ^E
158	0.774 ^c	0.301 ^{op}	0.538 ^C	158	0.165 ^e	0.071 ^l	0.118 ^{EF}
298	0.468 ^j	0.380 ^l	0.424 ^G	298	0.113 ⁱ	0.040 ^{no}	0.077 ^J
313	0.528 ^{gh}	0.314 ^{no}	0.421 ^{GH}	313	0.128 ^h	0.065 ^{lm}	0.096 ^H
420	0.568 ^{ef}	0.204 ^f	0.386 ^J	420	0.135 ^h	0.061 ^m	0.098 ^H
483	0.687 ^d	0.343 ^{mn}	0.515 ^D	483	0.178 ^c	0.065 ^{lm}	0.122 ^E
485	0.563 ^{ef}	0.339 ^{mn}	0.451 ^{EF}	485	0.174 ^{cd}	0.092 ^k	0.133 ^D
500	0.543 ^{fg}	0.269 ^q	0.406 ^{HI}	500	0.162 ^{ef}	0.065 ^{lm}	0.113 ^F
679	0.520 ^{gh}	0.280 ^{pq}	0.400 ^{IJ}	679	0.148 ^g	0.087 ^k	0.118 ^{EF}
776	0.588 ^e	0.332 ^{mn}	0.460 ^E	776	0.143 ^g	0.066 ^{lm}	0.104 ^G
Mean	0.604 ^(A)	0.345 ^(B)		Mean	0.154 ^(A)	0.089 ^(B)	
	Salinity	Genotype	Genotype×Salinity		Salinity	Genotype	Genotype×Salinity
P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	P value	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}	0.001 ^{**}
CV%	2			CV%	2		

LSD_{0.05}: حداقل اختلاف معنی دار در سطح پنج درصد، ns: عدم در سطح پنج درصد معنی دار، *: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد، **: معنی دار در سطح احتمال یک درصد، CV: ضریب تغییرات.

LSD_{0.05}: Least significant difference at the level of 0.05, ns: non-significant at probability level 5%, *: significant at probability level 5%, **: significant at probability level 1%, CV: Coefficient variation.

MCC77 بیشترین عملکرد را تولید کردند، باین وجود نسبت به شرایط غیر شور به ترتیب ۴۶، ۳۱، ۱۹ و ۳ درصد کاهش عملکرد نشان دادند (جدول ۸). در میان ژنوتیپ‌هایی که عملکرد دانه بالایی در شرایط تنش شوری داشتند، ژنوتیپ MCC65 کاهش زیست توده کمی نیز دارا بود. این ژنوتیپ بیشترین غلظت کلروفیل a، b،

در تمامی ژنوتیپ‌ها با افزایش سطح تنش شوری میزان عملکرد دانه کاهش یافت و تفاوت معنی داری بین ژنوتیپ‌ها مشاهده شد (جدول ۸). در شرایط غیر شور بیشترین عملکرد دانه مربوط به ژنوتیپ‌های MCC65، MCC92 و MCC95 بود و در تنش شوری هشت دسی‌زیمنس بر متر نیز این ژنوتیپ‌ها به همراه ژنوتیپ

باشد (Samineni *et al.*, 2011, Katerji, Van Hoorn, Hamdy, Mastroilli, & Oweis, 2005, Katerji, Van Hoorn, Hamdy, & Mastroilli, 2000; Grewal, 2010; Singla & Garg, 2005). به نظر می‌رسد اثر منفی تنش شوری بر عملکرد ارتباط مستقیمی با کاهش زیست‌توده و کارایی مصرف آب داشته باشد (Grewal, 2010).

کاروتنوئیدها و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، فتوسنتز را به خود اختصاص داده بود. عملکرد دانه دارای رابطه منفی و معنی‌داری با میزان تبخیر و تعرق ($r = -0.43^{**}$)، و مقاومت روزنه‌ای ($r = -0.38^{**}$) بود (جدول ۹). همبستگی میان عملکرد دانه با میزان زیست‌توده ($r = 0.61^{**}$)، فتوسنتز ($r = 0.24^{**}$) و هدایت روزنه‌ای ($r = 0.36^{**}$) مثبت و معنی‌داری بود (جدول ۹). کاهش عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش می‌تواند در نتیجه کاهش فتوسنتز و زیست‌توده

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده ارقام نخود تحت تأثیر شوری

Table 9- Coefficient of correlations of some measured traits of chickpea genotypes affected by salinity

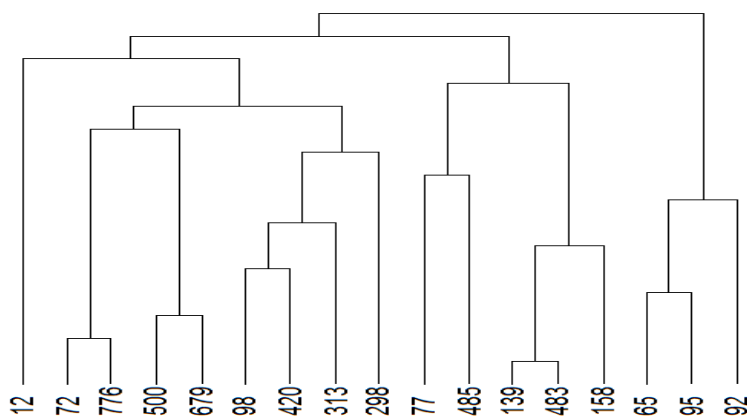
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Chl a	1											
2. Chl b	0.68**	1										
3. Carotenoides	0.53**	0.54**	1									
4. Total pigments	0.64**	0.56**	0.75**	1								
5. Transpiration rate	-0.49**	-0.39**	-0.19*	-0.30**	1							
6. Photosynthetic rate	0.29**	0.15 ^{ns}	0.14 ^{ns}	0.13 ^{ns}	-0.13 ^{ns}	1						
7. CO ₂ substomatal	-0.12 ^{ns}	-0.14 ^{ns}	-0.04 ^{ns}	-0.15 ^{ns}	0.04 ^{ns}	-0.22*	1					
8. Stomatal conductance	0.52**	0.30**	0.13 ^{ns}	0.20*	-0.55**	0.14 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1				
9. Stomatal resistant	-0.32**	-0.17 ^{ns}	-0.08 ^{ns}	-0.23*	0.53**	0.01 ^{ns}	0.03 ^{ns}	-0.54**	1			
10. WUE	0.37**	0.38**	0.26**	0.28**	-0.71**	0.28**	-0.13 ^{ns}	0.32**	-0.29**	1		
11. Biology yield	0.33**	0.21*	0.07 ^{ns}	0.07 ^{ns}	-0.39**	0.28**	0.09 ^{ns}	0.38**	-0.36**	0.32**	1	
12. Seed yield	0.30**	0.19*	0.14 ^{ns}	0.17 ^{ns}	-0.43**	0.39**	0.01 ^{ns}	0.36**	-0.38**	0.37**	0.86**	1

ns, * و ** به ترتیب نشان‌دهنده غیرمعنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد، معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, *, ** respectively non-significant at 0.05 probability level, significant at 0.05, 0.01 probability level.

پنج ژنوتیپ، در گروه سوم، هشت ژنوتیپ و در گروه چهارم، یک ژنوتیپ قرار گرفتند (شکل ۱).

بر اساس نتایج تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌ها به چهار گروه مجزا از هم تفکیک شدند (شکل ۱). در گروه اول، سه ژنوتیپ، در گروه دوم،



شکل ۱- گروه‌بندی خوشه‌ای ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری در شرایط مزرعه

Figure 1- Cluster grouping of chickpea under salinity stress in field conditions

روزنه و هدایت روزنه‌ای نسبت به میانگین کل برتری داشت و از نظر تبخیر و تعرق و مقاومت روزنه‌ای از میانگین کل کمتر بود (جدول ۴). نتایج این گروه‌بندی نشان داد که می‌توان از ژنوتیپ‌های نخود گروه اول در پروژه‌های اصلاحی جهت استفاده از صفات برتر آن‌ها از جمله تحمل به شوری بهره برد.

مقایسه میانگین گروه‌ها با میانگین کل نشان داد که عملکرد زیست‌توده و دانه در گروه اول و دوم نسبت به میانگین کل برتری داشت و در سایر گروه‌ها پایین‌تر از میانگین کل بود (جدول ۴). از نظر عملکرد دانه در واحد سطح، گروه دوم نسبت به میانگین کل برتر بود ولی سایر گروه‌ها از میانگین کمتری برخوردار بودند (جدول ۴). به‌طور کلی گروه اول از نظر میزان فتوسنتز، دی‌اکسید کربن اتاقک زیر

جدول ۱۰- میانگین و انحراف از میانگین گروه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای برای صفات مورد مطالعه در ژنوتیپ‌های نخود تحت تنش شوری در شرایط مزرعه

Table 10- Mean and deviation from the mean of groups in cluster analysis for traits in chickpea genotypes under salinity stress in field conditions

Genotypes (MCC)	Group							
	1		2		3		4	
	65, 95, 92		77, 139, 158, 483, 485		72, 98, 298, 313, 420, 500, 679, 776		12	
Traits	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean	Group mean	Deviation from mean
Chl a	0.412	-0.058	0.488	0.018	0.468	-0.002	0.571	0.101
Chl b	0.235	-0.022	0.249	-0.008	0.255	-0.002	0.374	0.117
Carotenoides	0.088	-0.023	0.118	0.007	0.114	0.003	0.123	0.012
Total pigments	0.698	-0.129	0.897	0.070	0.799	-0.028	1.089	0.262
Transpiration rate	3.65	-0.80	4.80	0.36	4.61	0.16	3.77	-0.67
Photosynthetic rate	21.59	0.55	23.67	2.63	19.64	-1.41	17.50	-3.54
CO ₂ substomatal	357	15	338	-3	335	-7	368	26
Stomatal conductance	13.21	0.04	12.38	-0.79	13.69	0.52	12.80	-0.37
Stomatal resistant	86.14	-4.20	90.97	0.63	90.70	0.36	96.93	6.59
WUE	10.61	-0.39	9.00	-2.00	12.97	1.97	6.41	-4.59
Biology yield	0.685	0.211	0.489	0.014	0.416	-0.058	0.237	-0.238
Seed yield	0.186	0.064	0.128	0.006	0.100	-0.021	0.068	-0.054

نتیجه‌گیری

MCC95، MCC92، MCC77، MCC65 توانسته‌اند همان‌طور که در شرایط بدون تنش عملکرد خوبی داشته باشند در شرایط تنش شوری در بیشتر صفات برتری داشته و حتی در برخی صفات توانسته‌اند برخلاف روند کاهشی سایر ژنوتیپ‌ها عمل کنند به نظر می‌رسد این ژنوتیپ‌ها می‌توانند تا شرایط هشت دسی‌زیمنس بر متر عملکرد مناسبی داشته باشند.

سپاسگزاری

هزینه اجرای این مطالعه از محل طرح مصوب با کد ۴۷۰۲۱ در معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

به‌طور کلی نتایج بیانگر وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های مختلف نخود کابلی تحت شرایط آبیاری با آب شور بود. مطالعه برخی از ویژگی‌های فتوسنتزی در ۱۷ ژنوتیپ نخود کابلی در شرایط آبیاری با آب شور نشان داد که این گیاه دارای تنوع فراوانی از نظر پاسخ فرایندهای فیزیولوژیک به تنش شوری می‌باشد که این تنوع می‌تواند راه را برای اصلاح و گزینش رقم‌های متحمل به شوری هموار کند. به‌طوری کلی در میان تمام ژنوتیپ‌های مورد بررسی کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئیدها، مجموع رنگ‌دانه‌ها، تعرق، فتوسنتز، میزان دی‌اکسید کربن زیر روزنه، هدایت و مقاومت روزنه‌ای دارای اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از سطح نیم دسی‌زیمنس بر متر به هشت دسی‌زیمنس بر متر بود. در نهایت بر اساس نتایج این آزمایش ژنوتیپ‌های

References

- Abdelaziz, H., Halima El., O., Sven-Erik, J., Nicola, L., Atef, H., Ragab, R., Ahmed, J., & Redouane, Ch. (2014). Chickpea (*Cicer arietinum* L.) physiological, chemical and growth responses to irrigation with saline water. *Australian Journal of Crop Science*, 8(5), 646-654.
- Asha Dhingra, H. R. (2007). Salinity mediated changes in yield and nutritive value of chickpea (*Cicer arietinum* L.) seeds. *Indian Journal Plant Physiology*, 12, 271-275.
- Ashraf, M. Y., Akhtar, K., Hussain, F., & Iqbal, J. (2006). Screening of different accession of three potential grass species from Cholistan desert for salt tolerance. *Pakistan Journal of Botany*, 38, 1589-1597.

4. Beltagi, M. S. (2008). Exogenous ascorbic acid vitamin C induced anabolic changes for salt tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants. *African Journal of Plant Science*, 2, 118-123.
5. Dere, S., Gines, T., & Sivaci, R. (1998). Spectrophotometric determination of chlorophyll a, b and total carotenoid contents of some algae species using different solvents. *Turkish Journal of Botany*, 22, 13-17.
6. Dharamvi, Kumar, A., Kumar, N., & Kumar, M. (2018). Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes to salinity stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(11), 2380-2388. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.711.269>
7. FAOSTAT. (2016). Agriculture production. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>.
8. Flexas, J., Diaz-Espejo, A., Galmés, J., Kaldenhoff, R., Medrano, H., & Ribas-Carbo, M. (2007). Rapid variations of mesophyll concentration conductance in response to changes in CO₂ around leaves. *Plant Cell and Environment*, 30, 1284-1298. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01700.x>
9. Flowers, T. J., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., Krishnamurthy, L., Samineni, S., Siddique, K. H. M., Turner, N. C., Vadez, V., Varshney, R. K., & Colmer, T. D. (2010). Salt sensitivity in chickpea. *Plant Cell and Environment*, 33, 490-509. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.02051.x>
10. Gandour, G. (2002). *Effect of Salinity on Development and Production of Chickpea Genotypes*. PhD. thesis. Faculty of Agriculture, Aleppo University, Aleppo, Syria.
11. Grewal, H. S. (2010). Water uptake, water use efficiency, plant growth and ionic balance of wheat, barley, canola and chickpea plants on a sodic vertosol with variable subsoil NaCl salinity. *Agricultural Water Management*, 97, 148-156. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.09.002>
12. Haghighi, M., & Pessarakli, M. (2013). Influence of silicon and nano-silicon on salinity tolerance of cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) at early growth stage. *Scientia Horticulture*, 161, 111-117. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.06.034>
13. Hameed, A., Saddiqa A., Nadeem, S. A., Iqbal, N., Atta, B. M., & Shah, T. M. (2012). Genotypic variability and mutant identification in *Cicer arietinum* L. by seed storage protein profiling. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 1303-1310.
14. Hetherington, A. M., & Woodward, F. I. (2003). The role of stomata in sensing and driving environmental change. *Nature*, 424, 901-908. <https://doi.org/10.1038/nature01843>
15. Hirich, A., Ragab, R., Choukr-Allah, R., & Rami, A. (2014). The effect of deficit irrigation with treated wastewater on sweet corn: experimental and modelling study using SALTMED model. *Irrigation Science*, 32, 205-219. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4734.3529>
16. Kafi, M., Bagheri, A., Nabati, J., Zare Mehrjerdi, M., & Masomi, A. (2011). Effect of salinity on some physiological variables of 11 chickpea genotypes under hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1, 55-70. (in Persian with English abstract).
17. Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., & Mastrorilli, M. (2000). Salt tolerance classification of crops according to soil salinity and to water stress day index. *Agricultural Water Management*, 43, 99-109. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(99\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(99)00048-7)
18. Katerji, N., Van Hoorn, J. W., Hamdy, A., Mastrorilli, M., & Oweis, T. (2005). Salt tolerance analysis of chickpea, faba bean and durum wheat varieties: I. Chickpea and faba bean. *Agricultural Water Management*, 72, 177-194. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2004.09.015>
19. Krishnamurthy, L., Serraj, R., Hash, A. J., & Reddy, B. V. (2007). Screening sorghum genotypes for salinity tolerant biomass production. *Euphytica*, 156, 15-24. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9343-9>
20. Lawson, T., Oxborough, K., Morison, J. I. L., & Baker, N. R. (2003). The responses of guard and mesophyll cell photosynthesis to CO₂, O₂, light and water stress in a range of species are similar. *Journal Experimental Botany*, 54, 1743-1752. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg186>
21. Medici, L. O., Azevedo, R. A., Canellas, L. P., Machado, A. T., & Pimentel, C. (2007). Stomatal conductance of maize under water and nitrogen deficits. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 599-601. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400020>
22. Meloni, D. A., Olivia, M. A., Martinez, C. A., & Cambraia, J. (2003). Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress. *Environment Experimental Botany*, 49, 69-76. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(02\)00058-8](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(02)00058-8)
23. Mudgal, V., Madaan, N., Mudgal, A., & Mishra, S. (2009). Changes in growth and metabolic profile of chickpea under salt stress. *Journal of Applied Biosciences*, 23, 1436-1446.
24. Mundree, S. G., Baker, B., Mowla, S., Peters, S., Marais, S., Willigen, C. V., Govender, K., Maredza, A., Muyanga, S., Farrant, J. M., & Thomson, J. A. (2002). Physiological and molecular insights into drought tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 1, 28-38. <https://doi.org/10.5897/AJB2002.000-006>
25. Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanism of salinity tolerance. *Annual Reviews of Plant Biology*, 59, 651-681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
26. Murumkar, C., & Chavan, V. P. D. (1986). Influence of salt stress on biochemical processes in chickpea. *Cicer*

- arietinum* L. *Plant and Soil*, 96, 439-43.
27. Nabati, J., Kafi, M., Khaninejad, S., Masomi, A., Zare Mehrjerdi, M., & Keshmiri, E. (2015). Evaluation salinity stress on some photosynthetic characteristics in five Kochia (*Kochia scoparia* L.) Schra. ecotypes. *Journal of Crop Production*, 8(2), 49-77. (in Persian with English abstract).
 28. Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effect on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60, 324-349. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2004.06.010>
 29. Qureshi, A. S., Qadir, M., Heydari, N., Tural, H., & Javadi, A. (2007). *A review of management strategies for salt-proneland and water resources in Iran*. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. 30p. (IWMI Working Paper 125).
 30. Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T. O., & Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologia Plantarum*, 35, 1039-1050. <https://doi.org/10.1007/s1738-012-1142-4>
 31. Roy, F., Boye, J. I., & Simpson, B. K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea and lentil. *Food Research International*, 43(2), 432-442. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.002>
 32. Samineni, S., Siddique, K. H. M., Gaur, P. M., & Colmer, T. D. (2011). Salt sensitivity of the vegetative and reproductive stages in chickpea (*Cicer arietinum* L.): Podding is a particularly sensitive stage. *Environmental and Experimental Botany*, 71, 260-268. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.014>
 33. Saxena, A. K., & Rewari, R. B. (1992). Differential responses of chickpea (*Cicer arietinum* L.) rhizobium combinations to saline soil-conditions. *Biology and Fertility of Soils*, 13, 31-34.
 34. Shimada, T., Sugano, S. S., & Hara-Nishimura, I. (2011). Positive and negative peptide signals control stomatal density. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 68, 2081-2088. <https://doi.org/10.1007/s00018-011-0685-7>
 35. Singla, R., & Garg, N. (2005). Influence of salinity on growth and yield attributes in chickpea cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 29, 231-235.
 36. Sudhir, P., & Murthy, S. D. S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42, 481-486. <https://doi.org/10.1007/S11099-005-0001-6>
 37. Sultan, N., Ikeda, T., & Itoh, R. (1999). Effect NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Experimental Botany*, 42, 211-220. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(00\)00049-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(00)00049-6)
 38. Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* 5th Ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 464.
 39. Varshney, R. K., Hiremath, P. J., Lekha, P., Kashiwagi, J., Balaji, J., Deokar, A. A., Vadez, V., Xiao, Y., Srinivasan, R., & Gaur, P. M. (2009). A comprehensive resource of drought-and salinity-responsive ESTs for gene discovery and marker development in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *BMC Genomics*, 10, 523-540. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-10-523>
 40. White, P. J., & Broadley, M. R. (2001). Chloride in soils and its uptake and movement within the plant: A review. *Annals of Botany*, 88, 967-988. <https://doi.org/10.1006/anbo.2001.1540>
 41. Zaccardelli, M., Sonnante, G., Lupo, F., Piergiovanni, A. R., Leghetti, G., Sparvoli, F., & Lioi, L. (2013). Characterization of Italian chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm by multidisciplinary approach. *Genetics Resources and Crop Evolution*, 60, 865-877. <https://doi.org/10.1007/s10722-012-9884-9>
 42. Zhang, G., & Deng, C. (2012). Gas exchange and chlorophyll fluorescence of salinity-alkalinity stressed *Phragmites australis* seedlings. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10, 880-884.



Evaluation of the Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions

M. Nouri¹, M. Jahan^{2*}, H. R. Khazaei², M. Nassiri-Mahallati², K. Shojaei³

Received: 31-10-2021
Revised: 16-11-2021
Accepted: 29-11-2021

How to cite this article:

Nouri, M., Jahan, M., Khazaei, H. R., Nassiri-Mahallati, M., & Shojaei, K. (2023). Evaluation of The Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 143-157. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.73363.1107>

Introduction

Nitrogen (N) is one of the main limiting factors in agroecosystems all around the world. However, high application rates of N fertilizers would lead to negative environmental consequences. Reduction of N fertilizers consumption decreases production costs and environmental pollution. Therefore, N efficiency to be enhanced due to the high N fertilizer cost and required measures to prevent the waste of N. Cultivation of diverse crop cultivars with higher resources absorption and utilization efficiency is one of the major approaches in sustainable agriculture that would result in the effective use of natural and chemical inputs and reduce significantly the environmental risks. Quchan City is one of the potato production poles in Khorasan Razavi province. In this region, large amounts of N fertilizers annually are consumed in the potato agroecosystem. Therefore, the potato of the present study was evaluating N uptake and utilization efficiency, and finally, N uses efficiency in the potato agroecosystem of Quchan.

Materials and Methods

This experiment was performed in the cropping year of 2020-21 in Quchan located in Khorasan Razavi province. A split plots arrangement based on a randomized complete block design with three replications was conducted. Different nitrogen application rates (0, 50, 100, and 150 kg of pure nitrogen per hectare) were assigned to the main plot and the sub-plot factor consisted of two potato cultivars, Agria and Arinda. To calculate the efficiency of nitrogen application, the amount of nitrogen in the soil was also considered. Equations (1 to 3) were used to calculate nitrogen efficiencies:

$$NUpE = \frac{AN (kg.ha^{-1})}{TN (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 1}$$

$$NUtE = \frac{TY (kg.ha^{-1})}{AN (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 2}$$

$$NUE = \frac{TY (kg.ha^{-1})}{TN (kg.ha^{-1})} \quad \text{Eq. 3}$$

Results and Discussion

The results of the analysis of variance showed that the effect of nitrogen fertilizer and cultivar on yield was significant. At the same levels of nitrogen, the Arinda cultivar had a higher yield and with increasing nitrogen application, an increase in yield was observed in both Agria and Arinda cultivars. The effect of nitrogen application and cultivar on nitrogen uptake, utilization, and use efficiency was significant ($p \leq 0.01$). Comparing

1- Ph.D. Student, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

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

3- Assistant Professor, Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources of Khorasan Razavi Province, Mashhad, Iran

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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.73363.1107>

the interaction of nitrogen and cultivar on nitrogen utilization efficiency, showed that the Arinda cultivar had higher efficiency than the Agria cultivar.

Conclusion

By increasing the amount of nitrogen fertilizer application, improvement was achieved in most of the evaluated characteristics of potato cultivars, including yield. Arinda cultivar had better conditions in terms of tuber yield and nitrogen uptake, utilization, and use efficiency compared to Agria.

Keywords: Environmental health, Fertilization management, Harvest index, Nitrogen efficiency, Tuber nitrogen percentage

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۵۷-۱۴۳

اثر مقدار کاربرد نیتروژن و بهره‌وری آن بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم سیب‌زمینی در شرایط قوچان

محسن نوری^۱، محسن جهان^{۲*}، حمیدرضا خزاعی^۳، مهدی نصیری محلاتی^۴، کوروش شجاعی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۸

چکیده

آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ در شهرستان قوچان به صورت کرت‌های خردشده بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل کرت اصلی میزان مصرف نیتروژن در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و عامل کرت فرعی دو رقم سیب‌زمینی شامل ارقام آگریا و آریندا بودند. اثر میزان مصرف نیتروژن و رقم بر تمام صفات مورد مطالعه به جز تعداد کل غده در بوته معنی‌دار بود، ولی اثر برهمکنش آن‌ها فقط بر تعداد غده متوسط و تعداد کل غده در بوته معنی‌دار شد. بیشترین تعداد غده‌های ریز به رقم آگریا با میانگین ۳/۳ غده در بوته تعلق داشت. بیشترین عملکرد مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص رقم آریندا با میانگین تولید ۳۶۱۱۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین عملکرد مربوط به تیمار بدون نیتروژن رقم آگریا با میانگین تولید ۲۱۹۶۵ کیلوگرم در هکتار بود. کارایی مصرف، کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن در رقم آریندا بیشتر از رقم آگریا بود. رقم آریندا با میانگین ۲۵۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار از کارایی تبدیل نیتروژن بالاتری نسبت به رقم آگریا با ۱۹۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب‌شده در هکتار برخوردار بود. بیشترین اختلاف دو رقم در کارایی تبدیل نیتروژن مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن و کمترین اختلاف مربوط به سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود. به‌طور کلی، نتایج نشان داد که رقم مناسب جهت کشت در منطقه قوچان، رقم آریندا با سطح مصرف ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار است که نه تنها از نظر بهره‌وری نیتروژن نسبت به آگریا برتری دارد، بلکه از عملکرد بالاتری نیز برخوردار بود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری نیتروژن، درصد نیتروژن غده، سلامت محیط‌زیست، شاخص برداشت، مدیریت کوددهی

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) بعد از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و ذرت (*Zea mays* L.) بیشترین سهم را در تولید محصولات غذایی دارد و نقش مهمی در تغذیه و سبد غذایی مردم جهان بازی می‌کند (FAO, 2017). کم کردن فاصله بین عملکرد واقعی که در حال حاضر در

مزارع به‌دست می‌آید و عملکردی که می‌تواند به‌وسیله‌ی استفاده از بهترین ارقام سازگار با محیط و بهترین روش‌های مدیریت آب، خاک و گیاه به‌دست آید، راهکاری کلیدی جهت غلبه بر چالش تغذیه‌ای جمعیت در حال رشد جهان است. در بین گیاهان زراعی که به‌عنوان غذای انسانی مصرف می‌شوند، سیب‌زمینی از نظر میزان مصرف در سطح جهان بعد از برنج و گندم در جایگاه سوم و پس از آن ذرت قرار دارد. بر این اساس سازمان خوار بار جهانی این محصول زراعی را با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تبعات ناشی از آن نظیر افزایش تعداد گرسنگان و نیاز به غذا، به‌عنوان یک گیاه امنیت غذایی معرفی و توصیه نموده است (Devaux, Kromann, & Ortiz, 2014). سیب‌زمینی در راهبردهای امنیت غذایی نقشی دوگانه بازی می‌کند، بدین ترتیب که هم به‌عنوان غذا توسط کشاورزان فقیر و کم‌درآمد مصرف می‌شود و هم در مواردی که بیش از نیاز تولید شود به‌عنوان یک ماده غذایی به فروش می‌رسد (Devaux et al., 2014).

۱- دانشجوی دکتری اگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

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

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی مشهد، مشهد، ایران

(*)- نویسنده مسئول: (Email: jahan@ferdowsi.um.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.73363.1107>

ایران سالیانه حدود ۱۴۳۰۰۰ هکتار از زمین‌های کشاورزی با متوسط عملکردی معادل ۳۶/۶۴ تن در هکتار به کشت سیب‌زمینی اختصاص می‌یابد که از نظر سطح زیرکشت و تولید در رتبه سوم محصولات در کشور قرار دارد (Agricultural Statistics, 2018). در استان خراسان رضوی در حال حاضر بیش از ۱۶۳ هزار تن سیب‌زمینی از سطحی برابر با ۵۰۰۰ هکتار زمین زراعی با میانگین عملکرد ۳۲/۷۷ تن برداشت می‌شود (Agricultural Statistics, 2018).

کاربرد کودهای شیمیایی اثرات مهمی بر عملکرد کمی و کیفی سیب‌زمینی دارند (Leytem & Westermann, 2005). مصرف کود نیتروژن گاه‌ها بیش از حد نیاز گیاه بوده، از این‌رو بهبود کارایی مصرف زراعی نیتروژن یک راهبرد کلیدی در جهت پیشبرد سیاست‌های کشاورزی پایدار محسوب می‌شود که این امر می‌تواند منجر به رسیدن به حداکثر عملکرد در ازای مصرف حداقل نهاده‌ها و کاهش هدررفت نیتروژن گردد (Fageria & Baligar, 2005).

مصرف کودهای شیمیایی در ایران طی ۴۰ سال گذشته به بیش از ۹ برابر رسیده است. این افزایش سریع نگرانی‌هایی از نظر آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد کرده است (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2017). کودهای نیتروژنی بیش از ۶۱ درصد از مصرف کودهای شیمیایی را در کشور به خود اختصاص داده و کود اوره با سهم ۹۰ درصد، دارای رتبه اول مصرف کودهای نیتروژنی است. در سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ از مجموع ۱/۲ میلیون تن مصرف کودهای شیمیایی در کشور، حدود ۹۵٪ مربوط به کودهای نیتروژنی بوده است (Tavakkoli Kakhki, 2016). در مقیاس جهانی ۵۰ تا ۷۰ درصد از نیتروژن خاک، از دسترس گیاه خارج شده و جذب نمی‌شود که حاصل آن علاوه بر آلودگی محیط، کاهش کارایی مصرف آن است. برای مثال کارایی مصرف نیتروژن برای ذرت در آمریکا ۵۸، در اروگوئه ۴۵۰ و در نیجریه ۲۴۲ کیلوگرم دانه به ازای هر کیلوگرم نیتروژن است، در حالی که در آمریکا مصرف کود نیتروژن در هر هکتار مزرعه ذرت، ۱۵۰ کیلوگرم، در اروگوئه ۱۰ و در نیجریه ۶ کیلوگرم است (Doberman & Cassman, 2002).

از اواسط دهه ۱۹۸۰ در نتیجه فشارهای اقتصادی و افزایش حساسیت نسبت به سلامت محیط‌زیست، توجه به کشاورزی پایدار و یا کشاورزی با مصرف بهینه نهاده‌ها رو به گسترش نهاد (Amiri, Jahanm & Rezvani Moghaddam, 2022). در واقع سیاست‌گذاران، برنامه‌ریزان و پژوهشگران، زمینه‌هایی را فراهم آوردند که سمت و سوی توسعه کشاورزی به سوی پایداری باشد تا هر یک از دو مفهوم توسعه و پایداری به نفع دیگری قربانی نگردد. به دلیل آثار زیان‌بار وجود نیترات اضافی در اندام‌های مصرفی گیاهان برای انسان و دام، لازم است مقدار آن در محصولات مختلف به ویژه سیب‌زمینی، پیاز و سبزی‌ها که مصرف روزمره دارند، در حداقل مقدار ممکن نگاه‌داشته شود. رابطه بسیار نزدیکی بین مقدار کودهای

نیتروژنه مصرفی و تجمع نیترات در محصولاتی که غده، پیاز، ساقه و برگ آن‌ها به‌طور مستقیم مصرف می‌شود وجود دارد. پورتر و همکاران (Porter, Jaeger, & Garlson, 1999) در سال ۱۹۹۹ بیان داشتند که در اثر مصرف مواد آلاینده از جمله سموم شیمیایی و نیترات نسل آینده، با مشکلات متعدد (به‌ویژه در رابطه با تولیدمثل) مواجه خواهند شد. نیترات در سیستم گوارشی تبدیل به نیتريت شده و نیتريت نیز در خون هموگلوبین را به متهموگلوبین تبدیل و فرد را به کمی اکسیژن (مت-هموگلوبینمیا) مبتلا می‌سازد. علاوه بر آن نیتريت از طریق ترکیب با یک نوع اسیدآمینه در سیستم گوارشی، تولید نیتروآمین می‌کند که به باور متخصصان ماده‌ای سرطان‌زا است.

کارایی مصرف نیتروژن (بهره‌وری) (Nitrogen Use Efficiency or Nitrogen Productivity) به‌صورت عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن قابل‌دسترس تعریف می‌شود. کارایی مصرف حاصلضرب دو شاخص فیزیولوژیکی؛ یعنی کارایی بازیافت یا جذب نیتروژن (Nitrogen Uptake Efficiency) و کارایی تبدیل نیتروژن (Nitrogen Utilization Efficiency) است (Moll, Kamprath, & Jackson, 1982; Dordas, 2011). کارایی جذب میزان نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه به ازای واحد نیتروژن قابل‌دسترس و کارایی تبدیل، میزان عملکرد دانه تولید شده به ازای واحد نیتروژن جذب‌شده توسط گیاه است (Moll et al., 1982). تفاوت در کارایی مصرف نیتروژن در سطوح مختلف مصرف نیتروژن می‌تواند به دلیل تفاوت در یکی از این اجزا یا هر دوی آن‌ها باشد. سهم هر یک از این دو جزء بسته به ژنوتیپ، فصل رشد و میزان مصرف نیتروژن متفاوت است (Dordas, 2011). سهم نسبی هر کدام از دو جزء کارایی جذب و کارایی تبدیل نیتروژن، به میزان مصرف نیتروژن بستگی دارد. بدون در نظر گرفتن میزان مصرف نیتروژن، برای افزایش عملکرد در غلات، کارایی تبدیل نیتروژن سهم بیشتری نسبت به کارایی جذب نیتروژن دارد. چنانچه کارایی مصرف نیتروژن در غلات در مقیاس جهانی تنها ۱/۸ تا ۰/۴ درصد در سال افزایش یابد، غله مورد نیاز برای سال ۲۰۲۵ میلادی تامین خواهد شد (Doberman & Cassman, 2002).

نحوه جذب، کارایی مصرف و نحوه تخصیص نیتروژن در گیاهان می‌تواند تحت تأثیر عواملی همچون رطوبت، حاصلخیزی خاک و رقابت قرار گیرد. همچنین افزایش کارایی جذب و استفاده از نیتروژن در تولید دانه نیازمند انجام مؤثر فرایندهای مربوط به جذب، انتقال، آسیمیلایون و توزیع مجدد نیتروژن است. به نظر می‌رسد که یکی از دلایل کاهش کارایی مصرف نیتروژن در مقادیر بالای کود نیتروژن، فزونی سرعت از دست رفتن این عنصر از طریق آب‌شویی و تصعید یا عدم استفاده مؤثر از آن توسط گیاه باشد. حداکثر کارایی نیتروژن در شرایط حداقل کاربرد ممکن، در مراحل از نمو گیاه که جذب سریع‌تر انجام می‌شود، به‌دست می‌آید. در این صورت از رشد رویشی

ترکمستان و از جنوب به نیشابور و از شرق به چناران و از غرب به فاروج و شیروان منتهی می‌گردد. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۵۰ متر و با قرار گرفتن در بین ارتفاعات هزار مسجد و آلاداغ دارای آب و هوای معتدل و سرد با میانگین بارش سالانه ۲۹۶ میلی‌متر است (ASMER, 2021).

آزمایش به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. عامل کرت اصلی میزان مصرف نیتروژن در چهار سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و عامل کرت فرعی دو رقم سیب‌زمینی اگریا و آریندا بودند. رقم اگریا از جمله ارقام رایج منطقه با عملکرد کیفی و کمی بالا است که قابلیت سازگاری بالایی با شرایط آب و هوایی منطقه دارد و اغلب کشاورزان از این رقم استفاده می‌نمایند. رقم آریندا به تازگی در این منطقه کشت می‌شود. جهت تعیین بافت و سایر ویژگی‌های خاک قبل از اجرای آزمایش اقدام به نمونه‌برداری از خاک مزرعه شد. برای این منظور در چند نقطه از مزرعه در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام شد. نمونه‌ها با هم ترکیب و نمونه‌ای مرکب به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج آزمون خاک در جدول ۱ آورده شده است.

غیرضروری که ممکن است خوابیدگی گیاه و کاهش عملکرد را در پی داشته باشد، جلوگیری می‌شود. از آنجایی که در این حالت یک سیستم ریشه‌ای فعال برای جذب نیتروژن مصرف شده وجود دارد، هدرروی نیتروژن از طریق آبشویی، دنیتریفیکاسیون، تبخیر و روان‌آب کاهش می‌یابد (Muurinen, Kleemola, & Peltonen-Sainio, 2007).

با توجه به اهمیت کشت سیب‌زمینی در شهرستان قوچان (با سطح زیرکشت ۵۹۰ هکتار و میانگین عملکرد ۳۰ تن در هکتار) و همچنین تأثیر میزان نیتروژن مصرفی بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی، این تحقیق با هدف بررسی واکنش ارقام رایج سیب‌زمینی در منطقه شامل اگریا و آریندا به میزان نیتروژن مصرفی و توصیه میزان مناسب مصرف نیتروژن جهت رسیدن به حداکثر تولید و بررسی میزان کارایی مصرف نیتروژن در ارقام سیب‌زمینی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ در شهرستان قوچان در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۸ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی اجرا شده است. محدوده آن از شمال به درگز و کشور

جدول ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Some soil physico-chemical properties of experimen site

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m ⁻¹)	درصد اشباع Saturation percentage (%)	اسیدیته pH	کربن Carbon (%)	نیتروژن قابل جذب Available N (mg.kg ⁻¹)	فسفر قابل جذب Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available K (mg.kg ⁻¹)
لوم رسی Clay loam	1.2	36	7.62	1.3	27	19	147

در یک مرحله انجام شد. مبارزه با قارچ‌های بیماری‌زا به جهت پیشگیری از بیماری‌های قارچی در دو نوبت توسط قارچ‌کش متالاکسیل-مانکوزب و استروبی انجام شد. حشره‌کش دیمتوات جهت مبارزه با آفات مکنده از جمله تریپس به‌کار گرفته شد. نیتروژن مورد نیاز در تیمارهای کودی از طریق مصرف کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن) تامین شد. آبیاری مزارع هر ۸ روز یک مرتبه به‌صورت جویچه‌ای (توسط سیفون) انجام شد. کود اوره به میزان مشخص شده در سه نوبت و تا قبل از گلدهی سیب‌زمینی در مزرعه مصرف شد که نوبت اول و دوم کود اوره در جوی‌ها و نوبت آخر به‌صورت محلول در آب آبیاری به‌کار گرفته شد. مزرعه قبل از گلدهی، یک بار توسط دستگاه فاروئر خاک‌دهی شد تا علاوه بر مبارزه مکانیکی با علف‌های هرز و سله‌شکنی، خاک مورد نیاز جهت غده‌بندی سیب‌زمینی تأمین گردد.

به‌منظور آماده‌سازی بستر کاشت، ابتدا زمین شخم عمیق زده شد و سپس توسط دیسک کلوخه‌ها خرد و به‌وسیله لولر زمین کاملاً تسطیح شد. سپس کرت‌های آزمایش به ابعاد ۱۲×۴ متر آماده شد. قبل از کشت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپر فسفات تریپل به‌طور یکنواخت در زمین پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری با خاک مخلوط شد. در تاریخ ۱۰ خردادماه و همزمان با تاریخ کشت اغلب کشاورزان منطقه اقدام به کشت غده شد. در هر کرت چهار ردیف سیب‌زمینی به طول چهار متر کشت شد که فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر، فاصله روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و عمق کشت ۱۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

کلیه مراحل داشت از قبیل آبیاری، مبارزه با آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز طبق روال و عرف منطقه به موقع انجام شد. کنترل علف‌های هرز توسط علف‌کش سنکور (متری بوزین) و وجین دستی

محاسبه کارایی نیتروژن استفاده شد (Xie et al., 2015; Timsina, Singh, Badaruddin, Meisner, & Amin, 2001)

$$NUPE = \frac{AN (kg.ha^{-1})}{TN (kg.ha^{-1})} \quad (1)$$

$$NUE = \frac{TY (kg.ha^{-1})}{AN (kg.ha^{-1})} \quad (2)$$

$$NUE = \frac{TY (kg.ha^{-1})}{TN (kg.ha^{-1})} \quad (3)$$

در این معادلات، $NUPE$ ، $NutE$ و NUE به ترتیب، کارایی جذب، کارایی تبدیل و کارایی مصرف یا بهره‌وری نیتروژن، AN کل نیتروژن جذب شده توسط گیاه، TN کل نیتروژن فراهم در خاک و کود مصرفی و TY عملکرد ماده خشک غده سیب‌زمینی تولید شده است. تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد. مقایسه کلیه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

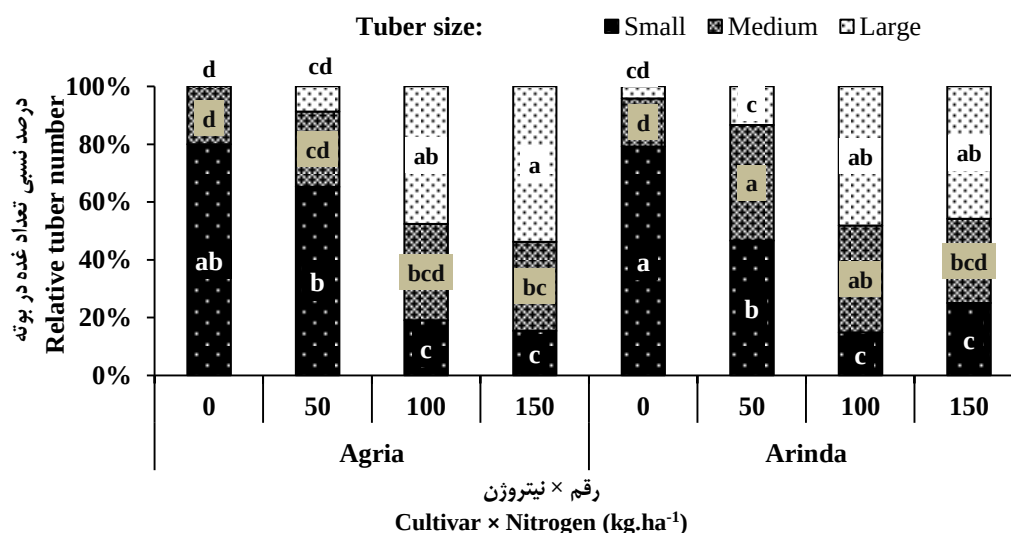
نتایج و بحث

تعداد غده در بوته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تعداد غده‌های ریز، متوسط و درشت در بوته تحت تأثیر میزان مصرف نیتروژن قرار گرفت، ولی اثر نیتروژن بر تعداد کل غده در بوته معنی‌دار نبود (جدول ۲). اثر رقم و همچنین اثر برهمکنش نیتروژن و رقم بر تعداد غده‌های متوسط و تعداد کل غده در بوته معنی‌دار شد (جدول ۲).

در هر کرت دو خط کناری از چهار خط به‌عنوان اثر حاشیه‌ای حذف و از دو خط میانی نمونه‌برداری انجام شد. سطح دو مترمربع از هر کرت در نظر گرفته شد و صفات مورد نظر شامل: ارتفاع بوته، تعداد غده در بوته به تفکیک سایز ریز، متوسط و درشت، وزن خشک اندام هوایی، عملکرد غده به‌صورت تر و خشک و همچنین میزان نیتروژن موجود در غده و اندام‌های هوایی گیاه در مرحله برداشت سیب‌زمینی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نیتروژن از دستگاه کجلدال و روش برنر و مولوانی استفاده شد (Bremner & Mulvaney, 1982). با استفاده از کولیس قطر غده‌ها در اندازه‌های مختلف اندازه‌گیری شد و غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های ریز (کوچک)، غده‌های با قطر ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های متوسط و غده‌های با قطر بیشتر از ۵۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های درشت شناسایی شدند (Esehaghbeygi, 2010). با توجه به تعداد غده‌های کوچک، متوسط و بزرگ و در نهایت تناسب با کل تعداد غده در هر بوته، درصد هر یک از آن‌ها تعیین شد و در محاسبات به‌کار گرفته شد.

برای محاسبه کارایی مصرف نیتروژن، علاوه بر کود مصرفی، میزان نیتروژن موجود در خاک نیز در نظر گرفته شد. برای این منظور عمق خاک زراعی برای سیب‌زمینی ۳۰ سانتی‌متر و همچنین وزن مخصوص ظاهری خاک و نیتروژن قابل جذب به شکل یون نترات با توجه به نتایج آزمایش خاک مزرعه به‌ترتیب، ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و ۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک در نظر گرفته شد و سپس با توجه به اطلاعات مذکور میزان نیتروژن قابل جذب ۱۰۹ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد (جدول ۱). سپس از رابطه‌های (۱) تا (۳) برای



شکل ۱- درصد نسبی تعداد غده در بوته براساس اندازه در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

Figure 1- Relative percentage of tuber number per plant based on size under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال ۵ درصد با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر مصرف نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد در ارقام سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of different nitrogen application rates and cultivars on yield and yield component of potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درجه آزادی d.f.	ارتفاع بوته Plant Height	میانگین مربعات (Mean of squares)				عملکرد غده Tuber yield	عملکرد اندام هوایی Shoot yield	شاخص برداشت HI
			تعداد غده کوچک در بوته Small tubers (number per plant)	تعداد غده متوسط در بوته Medium tubers (number per plant)	تعداد غده بزرگ در بوته Large tubers (number per plant)	تعداد کل غده در بوته Total tubers (number per plant)			
بلوک Block	2	2.91 ^{ns}	0.167 ^{ns}	0.167 ^{ns}	0.042 ^{ns}	0.125 ^{ns}	1156 ^{ns}	73428 ^{ns}	1.68 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	3	350.36 ^{**}	30.500 ^{**}	3.389 ^{**}	24.153 ^{**}	2.375 ^{ns}	239263541 ^{**}	4243959 ^{**}	7.67 ^{ns}
خطای اصلی Error a	6	22.27	1.500	0.222	0.319	2.458	8673321	122907	7.63
رقم Cultivar	1	279.48 ^{**}	0.667 ^{ns}	2.667 [*]	0.375 ^{ns}	9.375 ^{**}	486936451 ^{**}	5063691 ^{**}	11.90 ^{ns}
نیتروژن × رقم Nitrogen × Cultivar	3	4.99 ^{ns}	0.556 ^{ns}	1.667 ^{**}	1.153 ^{ns}	2.708 [*]	1742986 ^{ns}	103395 ^{ns}	4.73 ^{ns}
خطای فرعی Error b	8	10.73	0.333	0.292	0.333	0.625	3243665	61853	6.87
ضریب تغییرات C.V.		7.1	16.9	22.3	25.2	9.7	6.0	7.5	3.8

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی‌دار

*, **, ns indicate significant at the 5 and 1% probability levels, and is non-significant, respectively

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش مصرف کود نیتروژن تعداد غده‌های ریز کاهش و به تعداد غده‌های متوسط و درشت افزوده شد (جدول ۲). درصد نسبی تعداد غده در بوته بر اساس اندازه در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در شکل ۱ نشان داده شده است که به‌وضوح نشان می‌دهد که برای هر دو رقم با افزایش سطوح کود نیتروژن درصد نسبی غده‌های ریز کاهش یافته و به درصد نسبی غده‌های درشت افزوده شد (شکل ۱).

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات اصلی نیتروژن و رقم بر عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی

Table 3- Comparison of the mean of the main effects of nitrogen and cultivar on yield and yield components of potato

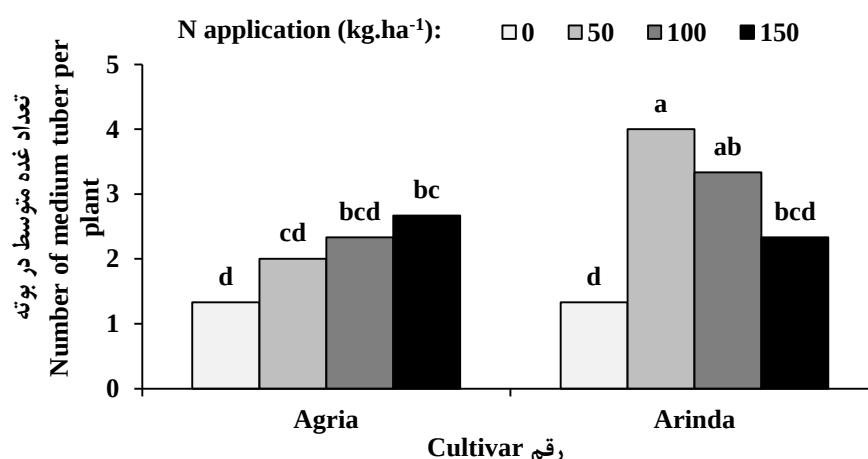
عامل آزمایشی Experimental factor	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد غده کوچک در بوته Small tubers (number per plant)	تعداد غده بزرگ در بوته Large tubers (number per plant)	عملکرد غده Tuber yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد اندام هوایی Shoot yield (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت HI (%)
نیتروژن Nitrogen (kg.ha ⁻¹)						
0	36.5 c	5.8 a	0.2 c	21965 c	2233 c	70.2 a
50	45.1 b	4.8 a	1.0 b	28443 b	3023 b	68.8 a
100	49.2 ab	1.3 b	3.8 a	33906 a	3862 a	67.6 a
150	54.6 a	1.7 b	4.2 a	36119 a	4069 a	68.0 a
رقم Cultivar						
Agria	43.0 b	3.3 a	2.2 a	25604 b	2837 b	69.4 a
Arinda	49.8 a	3.6 a	2.4 a	34613 a	3756 a	68.0 a

*: برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک با یکدیگر اختلاف معنی‌دار ندارند (p≤0.05).

For each factor and in each column, means followed by the same letter(s) are not significantly different (p≤0.05).

غده با سایز متوسط (۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) در بوته نشان داد که رقم آریندا در تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۴ غده در بوته دارای بیشترین تعداد غده متوسط در بوته بود و کمترین تعداد غده متوسط در بوته نیز در تیمار عدم مصرف نیتروژن در هر دو رقم با میانگین ۱/۳۳ غده در بوته مشاهده شد (شکل ۲).

مصرف نیتروژن بیشتر در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص منجر به تولید بیشترین درصد غده های درشت شد که با تیمار مصرف نیتروژن صفر، اختلاف معنی‌داری داشت. همچنین کمترین میزان غده‌های درشت مربوط به تیمار بدون نیتروژن بود. مقایسه میانگین اثر برهمکنش رقم در کود نیتروژن برای تعداد



شکل ۲- تعداد غده با سایز متوسط در بوته در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

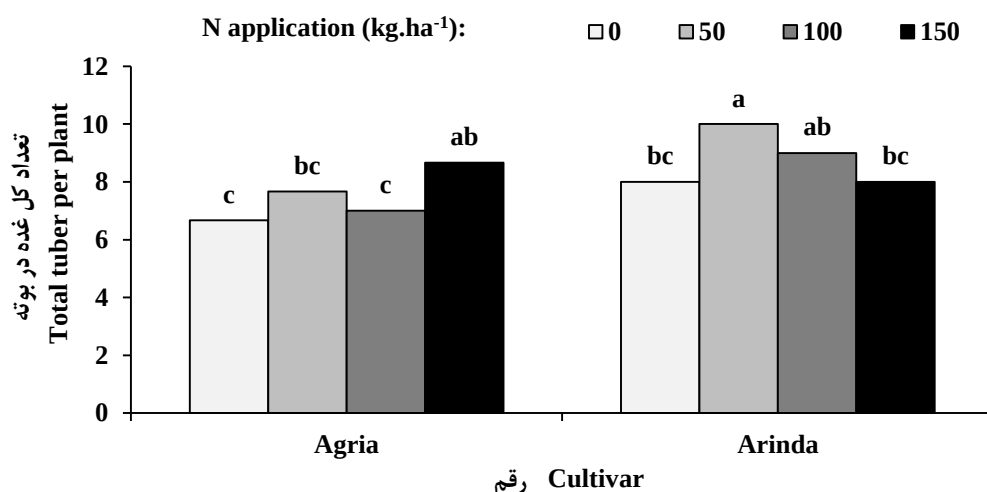
Figure 2- The number of medium-sized tubers per plant under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$)

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

تعداد غده در بوته را دارا بودند که البته بین تیمارهای صفر، ۵۰ و ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در رقم آگریا اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۳).

از نظر تعداد کل غده در بوته نیز رقم آریندا در تیمار ۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار با میانگین ۱۰ غده در بوته بیشترین و رقم آگریا در تیمار عدم مصرف کود نیتروژن با میانگین ۶/۶۷ غده در بوته، کمترین



شکل ۳- تعداد کل غده در بوته در تیمارهای مختلف نیتروژن و رقم سیب‌زمینی

Figure 3- The total number of tubers per plant under different levels of nitrogen and potato cultivar

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند ($p \leq 0.05$)

Means followed by the same letter(s) are not significantly different ($p \leq 0.05$).

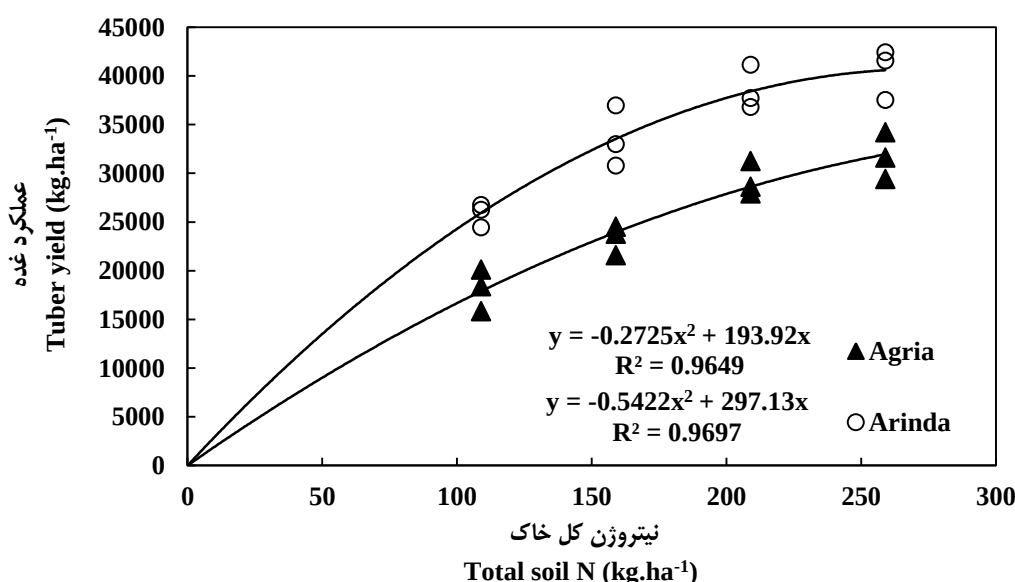
آریندا مشاهده شد (شکل ۴). این افزایش عملکرد غده در اثر افزایش میزان نیتروژن خاک از یک رابطه درجه ۲ پیروی می‌کند که ضریب تبیین آن برای ارقام آگریا و آریندا به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۹ بود (شکل ۴). شیب خط مماس در این منحنی‌ها نشانگر کیلوگرم غده تولیدی به ازای هر کیلوگرم نیتروژن در خاک است و در رقم آریندا (۲۹۷) بزرگتر از رقم آگریا (۱۹۴) است. همچنین با مشتق‌گیری و برابر صفر قرار دادن آن، نقطه عطف منحنی‌ها به دست آمد که برای ارقام آریندا و آگریا به ترتیب ۲۷۴ و ۳۵۶ بود. بنابراین برای این که حداکثر عملکرد غده به دست آید نیاز به ۲۷۴ و ۳۵۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار به ترتیب برای ارقام آریندا و آگریا خواهد بود.

افزایش متوسط وزن غده‌های ریز در پاسخ به مصرف کود نیتروژن می‌تواند با رشد بیشتر گیاه، شاخ و برگ و سطح برگ بیشتر و همچنین تشدید فتوسنتز مرتبط باشد که خود منجر به افزایش وزن غده‌های ریز می‌شود (Negero, 2017).

تشکیل غده سیب‌زمینی حاصل ذخیره شدن کربوهیدرات به ویژه نشاسته در آخرین گره استولون است. افزایش فتوسنتز سبب انتقال کربوهیدرات از برگ‌ها به سمت ریشه و تشکیل غده‌ها می‌شوند (Kholdbarin & Eslamzadeh, 2001). تعداد غده یکی از اجزای موثر بر میزان عملکرد سیب‌زمینی به شمار می‌رود و افزایش آن می‌تواند به افزایش عملکرد منجر شود. با این حال، تعداد غده در بوته بسته به ویژگی‌های ژنتیکی رقم، تعداد ساقه، شرایط آب و هوایی و عناصر غذایی می‌تواند متغیر باشد (Khajehpoor, 2004).

عملکرد غده

تجزیه واریانس نشان داد که اثر کود نیتروژن و رقم بر عملکرد معنی‌دار ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲). در سطوح مساوی نیتروژن، رقم آریندا از عملکرد بیشتری برخوردار بود و با افزایش میزان مصرف نیتروژن افزایش عملکرد در هر دو رقم آگریا و



شکل ۴- رابطه بین نیتروژن خاک و عملکرد غده سیب‌زمینی تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان
Figure 4- The relationship between soil nitrogen content and potato tuber yield under different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

روشن و همکاران (Mohammadian Roshan, Amiri, Sadeghi, Moradi, & Azarpour, 2011) در پژوهش خود تحت عنوان بررسی اثرات مقدار و زمان تقسیط کود از ته بر عملکرد و ویژگی‌های زراعی برنج (رقم هاشمی) دریافتند که اثر سطوح مختلف تقسیط کود نیتروژن بر کلیه صفات به جز شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. در مطالعه بخشنده و همکاران (Bakhshandeh, Soltani, Zeinali, & Ghadiryan, 2012) نیز متوسط شاخص

شاخص برداشت

شاخص برداشت سیب‌زمینی از تقسیم وزن خشک غده بر وزن ماده خشک کل (اندام هوایی + غده) محاسبه شد. نتایج نشان داد که اثر نیتروژن و رقم و اثر برهمکنش آن‌ها بر شاخص برداشت معنی‌دار نبود (جدول ۱). از آنجایی که عامل‌های آزمایشی به یک نسبت باعث تغییرات عملکرد خشک غده و وزن خشک اندام هوایی شده است، اثرات این عوامل بر شاخص برداشت معنی‌دار نشده است. محمدیان

به عنوان یک عامل ژنتیکی و اولین آنزیم مؤثر در متابولیسم و احیاء یون نیتрат اهمیت زیادی دارد. یون نیترات در حضور این آنزیم به یون آمونیوم تبدیل شده و در نتیجه از تجمع نیترات در بافت گیاهی کاسته می شود (Tabande & Shiraze, 2018).

شاخص برداشت نیتروژن

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تأثیر رقم بر شاخص برداشت نیتروژن در سطح یک درصد معنی دار بود ولی اثر مصرف مقادیر مختلف نیتروژن معنی دار نبود (جدول ۴). با افزایش میزان نیتروژن، شاخص برداشت نیتروژن کاهش یافت. شاخص برداشت نیتروژن رقم اگر با ۶۳/۶ و با شاخص برداشت نیتروژن رقم آریندا ۶۱/۶ اختلاف معنی دار داشت. همچنین در مقایسه میانگین ها در سطوح مختلف مصرف نیتروژن، بیشترین شاخص برداشت نیتروژن مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن با ۶۴/۶ و کمترین شاخص برداشت نیتروژن مربوط به سطح ۱۰۰ کیلوگرم نیتروژن خالص با عدد ۶۱/۲ است.

برداشت در گندم ۴۴/۱ درصد محاسبه شد که تحت تأثیر رقم قرار نگرفت. مجدم و همکاران (Mojaddam, Dashti, & Derogar, 2016) در بررسی اثر کود نیتروژن و اسیدهیومیک بر عملکرد ذرت بهاره مشاهده کردند که شاخص برداشت با کاربرد هر دو نوع کود افزایش نشان داد.

درصد نیتروژن غده و اندام هوایی

تأثیر نیتروژن و رقم بر درصد نیتروژن غده و اندام هوایی در سطح یک درصد معنی دار بود ولی اثر برهمکنش آن ها معنی دار نبود (جدول ۴). بدیهی است که مصرف کودهای شیمیایی حاوی نیتروژن باعث افزایش نیتروژن انباشت شده در غده و اندام هوایی گیاه خواهد شد. عوامل متعددی تجمع نیترات را در گیاهان تحت تأثیر قرار می دهند که به صورت کلی در دو گروه عوامل محیطی و عوامل ژنتیکی قابل بررسی هستند. از عوامل ژنتیکی مؤثر بر تجمع نیترات در گیاهان، نوع و گونه گیاهان است که می توان آن را به توانایی گیاهان مختلف در تولید آنزیم نیترات ردوکتاز نسبت داد. فعالیت آنزیم نیترات ردوکتاز

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن و رقم بر درصد نیتروژن غده، درصد نیتروژن اندام هوایی، کارایی جذب، تبدیل، مصرف و شاخص برداشت نیتروژن در سیب زمینی

Table 4- Analysis of variance (mean of squares) of the effect of different levels of nitrogen consumption and cultivar on tuber nitrogen percentage, shoot nitrogen percentage, uptake efficiency, utilization, consumption, and nitrogen harvest index in potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درجه آزادی d.f.	درصد نیتروژن غده N tuber	درصد نیتروژن اندام هوایی N Shoot	(Mean of squares) میانگین مربعات				
				شاخص برداشت نیتروژن N HI	مقدار کل نیتروژن جذب شده N Total	کارایی جذب نیتروژن NUpE	کارایی تبدیل نیتروژن NUtE	کارایی مصرف نیتروژن NUE
بلوک Block	2	0.0037 ^{ns}	0.0240 ^{ns}	2.28 ^{ns}	186.8 ^{ns}	0.0058 ^{ns}	898 ^{ns}	29 ^{ns}
نیتروژن Nitrogen	3	0.1553 ^{**}	0.2960 ^{**}	12.95 ^{ns}	14617.9 ^{**}	0.0039 ^{ns}	8565 ^{**}	4081 ^{**}
خطای اصلی Error a	6	0.0081	0.0102	15.16 ^{ns}	139.4	0.0029	352	282
رقم Cultivar	1	0.1998 ^{**}	0.2752 ^{**}	24.00 ^{**}	1176.0 ^{**}	0.0280 ^{**}	16267 ^{**}	17067 ^{**}
نیتروژن * رقم Nitrogen * Cultivar	3	0.0033 ^{ns}	0.0057 ^{ns}	10.01 ^{ns}	100.7 ^{ns}	0.0009 ^{ns}	1148 [*]	445 ^{ns}
خطای فرعی Error b	8	0.0045	0.0162	11.14	50.0	0.0018	226	119
ضریب تغییرات C.V.		5.6	8.1	5.3	5.1	5.6	6.7	6.4

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد؛ ns: غیر معنی دار

*, **, ns indicate significant at the 5 and 1% probability levels, and is non-significant, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات اصلی سطوح نیتروژن و رقم بر کارایی جذب، تبدیل و مصرف (بهره‌وری) نیتروژن در سیب‌زمینی
 Table 5- Mean comparisons of the main effects of nitrogen levels and cultivar on potato nitrogen uptake, utilization, and use efficiency in potato

عامل آزمایشی Experimental factor	درصد نیتروژن غده N_tuber %	درصد نیتروژن اندام هوایی N_Biomass %	شاخص برداشت نیتروژن N_HI %	مقدار کل نیتروژن جذب شده N_Total uptake kg	کارایی جذب نیتروژن NUpE kg N _{uptake} /kg N _{soil+applied}	کارایی تبدیل نیتروژن NUE kg grain/kg N _{uptake}	بهره‌وری نیتروژن NUE Kg grain/kg N _{soil+applied}
نیتروژن Nitrogen (kg.ha ⁻¹)							
0	1.01 ^c	1.30 ^c	64.6 ^a	80 ^d	0.74 ^a	273 ^a	201 ^a
50	1.14 ^b	1.50 ^b	62.7 ^a	120 ^c	0.76 ^a	236 ^b	179 ^{ab}
100	1.27 ^a	1.68 ^a	61.2 ^a	166 ^b	0.79 ^a	204 ^c	162 ^{bc}
150	1.38 ^a	1.81 ^a	61.9 ^a	192 ^a	0.74 ^a	188 ^c	140 ^c
رقم Cultivar							
Agria	1.29 ^a	1.68 ^a	63.6 ^a	133 ^b	0.72 ^b	199 ^b	144 ^b
Arinda	1.11 ^b	1.47 ^b	61.6 ^b	146 ^a	0.79 ^a	251 ^a	197 ^a

* برای هر عامل و در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشترک 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 ($p \leq 0.05$).

برای محاسبه بهره‌وری نیتروژن سطوح نیتروژن مصرف شده به‌علاوه نیتروژن موجود در خاک (۱۰۹ کیلوگرم در هکتار) در نظر گرفته شده است.

To calculate nitrogen productivity, the nitrogen levels plus soil nitrogen content were considered (109 kg ha⁻¹).

مقدار کل نیتروژن جذب‌شده

اثر نیتروژن و رقم بر مقدار کل نیتروژن جذب‌شده در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴)، به‌طوری که بیشترین نیتروژن جذب‌شده مربوط به تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار و کمترین میزان نیتروژن جذب‌شده مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن بود که حاکی از آن است که مصرف اوره به‌صورت کود شیمیایی موجب فراهمی نیتروژن در اطراف ریشه شده و مقدار کل نیتروژن جذب‌شده در این حالت بیشتر خواهد شد، در حالی که در تیمار بدون مصرف کود، گیاه ناچار به جذب نیتروژن موجود در خاک بوده و با توجه به کمبود نیتروژن در خاک، میزان جذب آن کاهش خواهد یافت.

بین رقم آگریا و آریندا نیز در میزان جذب نیتروژن اختلاف معنی‌دار وجود داشت و رقم آریندا مقدار کل نیتروژن جذب‌شده بالاتری نسبت به رقم آگریا داشت.

بهره‌وری (کارایی مصرف) نیتروژن

تأثیر میزان مصرف نیتروژن و رقم بر کارایی مصرف نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین کارایی مصرف مربوط به سطح بدون نیتروژن به میزان ۲۰۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف‌شده + میزان نیتروژن خاک و کمترین کارایی مصرف نیتروژن به تیمار سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص مربوط بود (جدول ۵). این بدین معنی است که در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم

کارایی جذب نیتروژن

اثر سطوح نیتروژن بر کارایی جذب نیتروژن معنی‌دار نبود ولی

رقم بر کارایی جذب نیتروژن در سطح یک درصد تأثیر معنی‌دار داشت (جدول ۴). به نظر می‌رسد که در شرایط افزایش مصرف نیتروژن در خاک، تجمع بیش از حد نیتروژن در محیط ریزوسفر ریشه گیاه باعث بهم خوردن رابطه میان عرضه و تقاضای این عنصر شده و در نتیجه

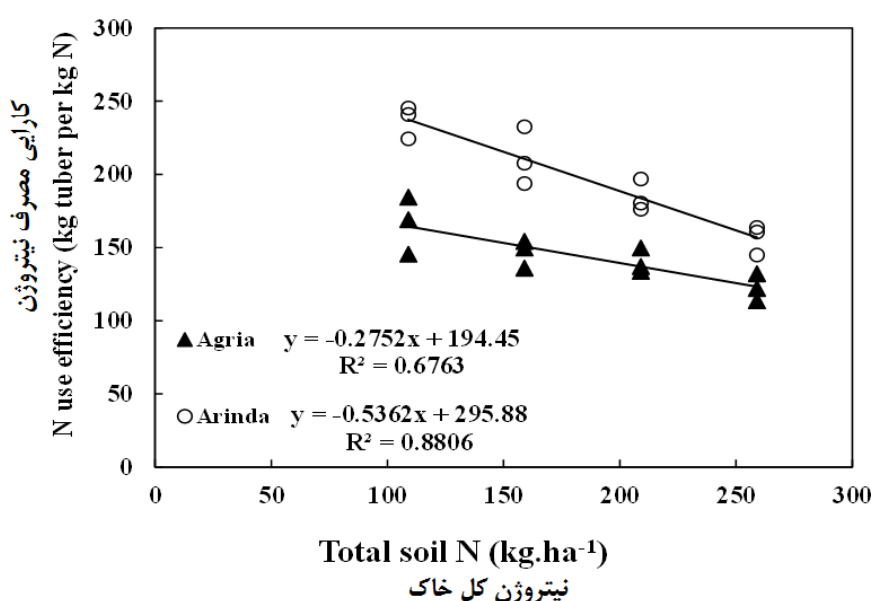
نیتروژن خالص در هکتار، گیاه نتوانسته متناسب با افزایش کود نیتروژن، غده تولید کند. به عبارت دیگر، میزان عملکرد غده نسبت به نیتروژن مصرفی با یک شیب ثابت افزایش پیدا نکرده است. بیش‌ترین کارایی مصرف نیتروژن به‌طور معمول با مصرف اولین واحد کودی حاصل می‌شود (طبق قانون بازده نزولی) (Gardner, Pearce, & Mitchell, 1985). رقم و نیتروژن بر کارایی مصرف نیتروژن تأثیر معنی‌دار داشتند ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی‌دار نبود.

دارابی و همکاران (Darabi, Rafi, Omidvari, Javadzadeh, & Yaghoubi, 2020) در آزمایشی دریافتند که تأمین ۷۵٪ نیتروژن مورد نیاز گیاه از منبع کود شیمیایی اوره و ۲۵ درصد از منبع ورمی‌کمپوست در مقایسه با تأمین ۱۰۰ درصد نیتروژن مورد نیاز گیاه، سبب افزایش کارایی زراعی نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن در هر دو رقم مورد مطالعه شد. خان و همکاران (Khan et al., 2017) طی بررسی روی گندم دریافتند که با افزایش کاربرد کود نیتروژن، کارایی مصرف آن کاهش یافت.

جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده + نیتروژن قابل جذب خاک کمترین کارایی مصرف نیتروژن را دارد (شکل ۵).

سینگ (Singh, 2012) گزارش کرد که کارایی جذب نیتروژن با افزایش سطح کاربرد کود کاهش یافت. در کشت مخلوط ذرت و پنبه، در هر دو گیاه با افزایش سطوح نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، کارایی جذب نیتروژن به طور معنی داری کاهش یافت و در کلیه سطوح آزمایشی، کارایی جذب نیتروژن در ذرت بالاتر از پنبه بود و با توجه به این که ذرت نسبت به پنبه دارای سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر است، بنابراین بالا بودن کارایی جذب آن طبیعی به نظر می‌رسد (Koocheki, Nassiri Mahallati, Moradi, & Alizadeh, 2015).

منجر به تشدید آب‌شویی و تصعید آن شد. احمدی و همکاران (Ahmadi, Mondani, Khoramivafa, Mohammadi, & Shirkhani, 2018) نیز گزارش کرد با افزایش نیتروژن کارایی جذب نیتروژن ارقام ذرت تحت شرایط اقلیمی کرمانشاه کاهش یافت. خان و همکاران (Khan et al., 2017) دریافتند که افزایش مصرف کود نیتروژن منجر به کاهش کارایی جذب نیتروژن در گندم شد. در مقایسه میانگین اثرات اصلی نیتروژن و رقم بر کارایی جذب نیتروژن سیب‌زمینی، اختلاف معنی داری بین ارقام وجود داشت، به طوری که رقم آریندا با میانگین کارایی جذب نیتروژن ۰/۷۹ کیلوگرم نیتروژن جذب شده بر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده + نیتروژن قابل جذب خاک بیشترین کارایی و رقم آگریا با ۰/۷۲ کیلوگرم نیتروژن

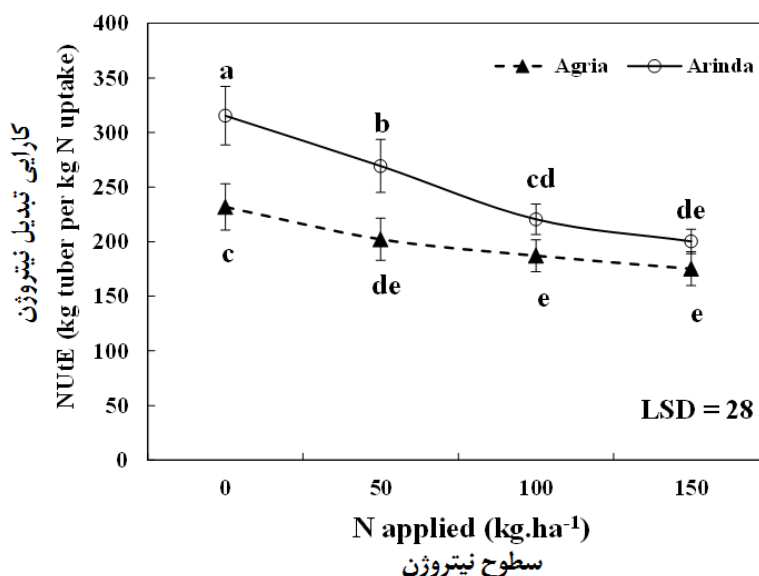


شکل ۵- رابطه بین فراهمی نیتروژن خاک و کارایی مصرف نیتروژن تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان
Figure 5- The relationship between soil nitrogen availability and nitrogen use efficiency under the influence of different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

آریندا در کارایی تبدیل نیتروژن معنی دار وجود داشت و رقم آریندا با میانگین ۲۵۱ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار از کارایی تبدیل نیتروژن بالاتری نسبت به رقم آگریا با ۱۹۹ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار برخوردار بود. بیشترین کارایی معمولاً با جذب اولین واحد عنصر غذایی (سطح کودی) به دست می‌آید و واحدهای بعدی مصرف عنصر غذایی، تأثیر افزایشی کمتر بر عملکرد دارد (منحنی سپس ثابت می‌شود و به صورت خط مجانب در می‌آید) که این موضوع تحت عنوان قانون بازده نزولی میچرلیخ بیان می‌شود (Cerrato & Blackmer, 1990; Asadi, Momen, Nurzadeh Namaghi, & Khorramdel, 2014).

کارایی تبدیل نیتروژن

اثر سطوح مختلف مصرف نیتروژن بر کارایی تبدیل نیتروژن معنی دار بود ($p \leq 0.01$) (جدول ۴). با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از صفر به ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار، کارایی تبدیل نیتروژن کاهش یافت، به طوری که بیشترین میزان کارایی تبدیل نیتروژن در شرایط بدون مصرف نیتروژن به میزان ۲۷۳ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده و کمترین آن در تیمار ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار به میزان ۱۷۸ کیلوگرم غده بر کیلوگرم نیتروژن جذب شده در هکتار مشاهده شد (جدول ۵). نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن تأثیر معنی دار داشتند ولی اثر برهمکنش آن‌ها معنی دار نبود. در مقایسه میانگین‌ها بین رقم آگریا و



شکل ۶- رابطه بین فراهمی نیتروژن خاک و برهمکنش نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن تحت تأثیر سطوح مختلف کود نیتروژن و رقم سیب‌زمینی در منطقه قوچان

Figure 6- The relationship between soil nitrogen availability and nitrogen and cultivar interaction on nitrogen utilization efficiency under the influence of different levels of nitrogen fertilizer and potato cultivar in the Quchan region

میل‌های عمودی نشان‌دهنده اشتباه استاندارد میانگین هستند.
Vertical bars indicate the standard error of means

باعث افزایش مخاطرات زیست‌محیطی نیز می‌شود. با توجه به برآیند نتایج این پژوهش، رقم آریندا در مقایسه با آگریا از نظر عملکرد غده و کارایی نیتروژن دارای شرایط بهتری بود. بنابراین، اگرچه به‌نژادی ارقامی با کارایی تبدیل نیتروژن بالاتر می‌تواند گام مؤثری در افزایش کارایی مصرف نیتروژن ایفا کند، ولی به نظر می‌رسد تمرکز بیشتر بر روش‌های مدیریت کاربرد نیتروژن به‌ویژه استفاده به اندازه و به‌موقع آن می‌تواند اثر بیشتری بر کارایی مصرف نیتروژن داشته باشد. با توجه به نتایج پیشنهاد می‌شود به جهت جلوگیری از اثرات مضر نیتروژن بر محیط‌زیست و منابع زیرزمینی از مصرف بیش از ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در مزارع اجتناب شود، زیرا مصرف بی‌رویه نیتروژن نه تنها باعث افزایش عملکرد نخواهد شد بلکه با آبهوشی و انتقال به اعماق خاک باعث آلودگی منابع آبی و افزایش تجمع نیترات در محصول خواهد شد که در نهایت سلامت محصول و جامعه را به خطر خواهد انداخت.

سپاسگزاری

هزینه انجام این پژوهش در قالب طرح شماره ۳ به شماره ۳/۵۲۶۹۲ مصوب ۱۳۹۹/۰۷/۲۳ توسط معاونت محترم پژوهش و

در مقایسه برهمکنش نیتروژن و رقم بر کارایی تبدیل نیتروژن مشاهده شد که رقم آریندا از کارایی بالاتری نسبت به رقم آگریا برخوردار بود، اگرچه که در سطوح یکسان مصرف نیتروژن، با افزایش میزان نیتروژن مصرفی با شیب نسبتاً تندتری نسبت به رقم آگریا کاهش یافت (شکل ۶). بیشترین اختلاف دو رقم در کارایی تبدیل نیتروژن مربوط به سطح بدون مصرف نیتروژن و کمترین اختلاف مربوط به سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بود (شکل ۶).

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش مقدار کاربرد کود نیتروژن، در بیشتر ویژگی‌های مورد ارزیابی ارقام سیب‌زمینی از جمله عملکرد بهبود حاصل شد، ولی ارزیابی کارایی‌های نیتروژن نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود، کارایی مصرف (بهره‌وری) نیتروژن کاهش یافت. بنابراین، اگر کود نیتروژن در مزارع سیب‌زمینی صرفاً از نگاه تولید و جنبه‌های اقتصادی به کار برده شود، با افزایش مصرف این عنصر تا حد زیادی عملکرد غده بهبود می‌یابد، اما اگر از دیدگاه اکولوژیک و اقتصاد اکولوژیک به مسئله نگاه شود، می‌توان نتیجه گرفت که مصرف بیش از حد کود نیتروژن نه تنها منجر به بهبود بهره‌وری تولید در سیستم‌های زراعی نخواهد شد، بلکه

فناوری دانشگاه فردوسی مشهد تأمین شده است، که به این وسیله
قدردانی می‌شود.

References

1. Agricultural Statistics, Crop Products (2018) Ministry of Jihad Agriculture - Estimation of level, production and yield per hectare of potato crop by province in 2018-19 crop year. 1: 40.
2. Ahmadi, M., Mondani, F., Khoramivafa, M., Mohammadi, G. R., & Shirkhani, A. (2018). Evaluation of Nitrogen Uptake and Productivity of Maize Cultivars (*Zea mays* L.) under Kermanshah Climate Conditions. *Journal of Agroecology*, 10(1), 234-247.
3. Amiri, M. B., Jahanm M., & Rezvani Moghaddam, P. (2022). An exploratory method to determine the plant characteristics affecting the final yield of *Echium amoenum* Fisch. & C.A. Mey. under fertilizers application and plant densities. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05724-8>
4. Asadi, G. A., Momen, A., Nurzadeh Namaghi, M., & Khorramdel, S. (2014). Effects of organic and chemical fertilizer rates on nitrogen efficiency indices of isabgol (*Plantago ovata* Forsk.). *Journal of Agroecology*, 5, 373-382. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V5I4.32992>
5. Atmospheric Science and Meteorological Research Center (ASMERC). (2021). <http://www.asmerc.ac.ir>
6. Bakhshandeh, S., Soltani, A., Zeinali, E., & Ghadirvan, R. (2012). Study of dry matter and nitrogen accumulation, remobilization and harvest index in bread and durum wheat cultivars. *Journal of Crop Production*, 6(1), 39-59. <https://doi.org/20.1001.1.2008739.1392.6.1.3.9>
7. Bremner, J. M., & Mulvaney, C. S. (1982) Nitrogen-Total. In: Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties, Page, A.L., Miller, R.H. and Keeney, D.R. Eds., American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624. <https://doi.org/10.12691/wjar-3-5-3>
8. Cerrato, M. E., & Blackmer, A. M. (1990). Relationship between grain nitrogen concentration and the nitrogen status of corn. *Agronomy Journal*, 82, 744-749. <https://doi.org/10.2134/agronj1990.00021962008200040019x>
9. Darabi, A., Rafi, M., Omidvari, S., Javadzadeh, M., & Yaghoubi, V., (2016). Investigation of the effects of vermicompost and urea on yield, yield components and quality traits of potato cultivars in Khuzestan. *Journal of Potato Applied Sciences*, 3(2), 1-8. <https://sid.ir/paper/389368/en>
10. Devaux, A., Kromann, P., & Ortiz, O. (2014). Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research*, 57, 185-199.
11. Doberman, A., & Cassman, K. G. (2002). Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive gain production systems for the United States and Asia. *Plant Soil*, 247, 247-278.
12. Dordas, C. A. (2011). Nitrogen nutrition index and its relationship to N use efficiency in linseed. *European Journal of Agronomy*, 34, 124-132.
13. Esehaghbeygi, A. (2010). The Effect of Cultivation Depth and Variety on the Yield and Properties of Potato tuber. *Journal of Plant Production*, 33(1): 67-74. <https://doi.org/10.22055/ppd.2023.37678.1984>
14. Fageria, N. K., & Baligar, V. C. (2005). Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*, 88, 97-185.
15. FAO. (2017). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Available in: <http://faostat.fao.org/countryprofiles>.
16. Gardner, F. P., Pearce, R. B., & Mitchell, R. L. (1985). *Physiology of crop plants*. Publication of Iowa State University. p. 327.
17. Khajehpoor, M. R. (2004). *Industrial plants*. University of Esfahan Press, 564. (in Persian).
18. Khan, A., Khan, A., Li, J., Ahmad, M. I., Sher, A., Rashid, A., & Ali, W. (2017). Evaluation of wheat varietal performance under different nitrogen sources. *American Journal of Plant Sciences*, 8, 561-573. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.83039>
19. Kholdbarin, B., & Eslamzade, T. (2001). *Mineral nutrition of higher plants*. Shiraz University Press, Shiraz, Iran. 495 pp.
20. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Moradi, R., & Alizadeh, Y. (2015). Evaluation of yield and nitrogen use efficiency of maize and cotton intercropping under different nitrogen levels. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(1), 1-13. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V13I1.48310>
21. Leytem, A. B., & Westermann, D. T. (2005). Phosphorus availability to barley from manures and fertilizers on a calcareous soil. *Soil Science*, 170, 401-412.
22. Mohammadian Roshan, N., Amiri, A., Sadeghi, S. M., Moradi, M., & Azarpour, A. (2011). Investigation of the effects of amount and timing of nitrogen fertilizer application on rice yield and agronomic characteristics (Hashemi cultivar) Lahijan Branch. *Journal of Biological Sciences*, 5(4), 133-141. <https://sid.ir/paper/164265/fa>
23. Mojaddam, M., Dashti, M., & Derogar, N. (2016). Effect of humic acid and nitrogen fertilizer application on quantitative and qualitative characteristics and nitrogen use efficiency of spring corn. *Journal of Crop Production and Research*, 8, 43-51. (in Persian). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2018.13051.2012>
24. 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, 562-564.
25. Muurinen, S., Kleemola, J., & Peltonen-Sainio, P. (2007). Accumulation and translocation of nitrogen in spring cereal cultivars differing in nitrogen use efficiency. *Agronomy Journal*, 99, 441-449.
26. Nassiri Mahallati, 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. (in Persian with English abstract).
27. Negero, F. W. (2017). Yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by planting density and rate of nitrogen application at Holeta, West Oromia region of Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 12(26), 2242-2254. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11840>
28. Porter, W. P., Jaeger, J. A., & Garlson, I. H. (1999). Endocrine, immune, and behaviorl effects of aldicarb (carbamate), atrazine (tviazine), and nitrate (fertilizer) mixtures at ground water concentrations. *Toxicology and Industrial Health*, 15(1-2). <https://doi.org/10.1177/074823379901500111>
29. Singh, M. (2012). Influence of organic mulching and nitrogen application on essential oil yield and nitrogen use efficiency of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 59, 273-279. <https://doi.org/10.1080/03650340.2011.608157>
30. Tabande, L., & Shiraze, S. S. (2018). Evaluation of nitrate accumulation and factors affecting it in some leafy vegetables in Zanzan Province. *Iranian Journal of Soil Research*, 32(2), 189-202. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/IJSR.2018.117043>
31. Tavakkoli Kakhki, H. R. (2016). *Zoning and evaluation of nitrogen use efficiency and nitrogen balance for wheat and corn cropping systems of Iran by using simulation model and GIS*. Ph.D. Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad.
32. Timsina, J., Singh, U., Badaruddin, M., Meisner, C., & Amin, M. R. (2001). Cultivar, nitrogen, and water effects on productivity, and nitrogen-use efficiency and balance for rice–wheat sequences of Bangladesh. *Field Crops Research*, 72, 143-161.
33. Xie, K., Li, X., He, F., Zhang, Y., Wan, L., David, B. H., Wang, D., Qin, Y., & Gamal, M. A. F. (2015). Effect of nitrogen fertilization on yield, N content, and nitrogen fixation of alfalfa and smooth brome grass grown alone or in mixture in greenhouse pots. *Journal of Integrative Agriculture*, 14(9), 1864-1876.



Evaluating the Sustainability of Canola Agroecosystems Using Energy Analysis, Carbon Footprint, and Greenhouse Gases

H. R. Shahhoseini¹, S. Lotfi², H. Kazemi^{3*}, B. Kamkar⁴

Received: 29-04-2022

Revised: 10-10-2022

Accepted: 19-11-2022

How to cite this article:

Shahhoseini, H. R., Lotfi, S., Kazemi, H., & Kamkar, B. (2023). Evaluating the Sustainability of Canola Agroecosystems Using Energy Analysis, Carbon Footprint, and Greenhouse Gases. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 159-171. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76465.1168>

Introduction

In recent decades, the need for increased food production has resulted in the expansion of intensified agriculture practices characterized by high consumption of inputs, thereby reducing agricultural sustainability. The agricultural sector's contribution to the world's energy consumption, ecological footprint, and greenhouse gas emissions has grown substantially. Emissions of greenhouse gases have negative ecological effects, including climate change, global warming, and diminished sustainable development. In this sector, energy analysis and greenhouse gas emissions in ecosystems are the most common methods for assessing sustainability. This study was conducted to evaluate the sustainability of canola agroecosystems by analyzing energy consumption, carbon footprint, and greenhouse gas emissions.

Methods and Materials

The study was conducted using a questionnaire in Kalaleh County, in Golestan province, and gathering information from Golestan Agricultural Jihad Organization, during 2018-2019. The number of samples was determined by the Cochran formula. Accordingly, 50 farms were selected for canola cultivation. The questionnaire's reliability was determined to be 0.81. To calculate the energy indices, carbon footprint, and greenhouse gas emissions, after determining the most important inputs and output, first, their amounts were determined in each of the 50 farms and then their average was calculated. The energy equivalent of each input and output was calculated by multiplying its raw value by the corresponding energy conversion factor. The carbon footprint of the canola system was calculated as the amount of land required to absorb the environmental pollution caused by input and resource consumption. Carbon uptake in canola agroecosystems served as the basis for evaluating the carbon footprint and consequently the sustainability of this study. Also, the amount of greenhouse gases produced was determined by multiplying the raw values of the consumed inputs by their emission coefficient.

Results and Discussion

In canola agroecosystems, the total energy input was calculated to be 13,200 MJ ha⁻¹, the total energy output was 63,400 MJ ha⁻¹, the energy use efficiency was 4.8, and the energy productivity was 0.17 kg MJ⁻¹. In addition, the ecological footprint and global warming potential were 0.99 gha and 779.03 CO₂e ha⁻¹, respectively. In canola production, fossil fuel and nitrogen fertilizer inputs contributed the most to ecological footprint and global warming potential respectively. Reducing the number of machines entering the farm through the application of conservation tillage methods and the modernization of machines can be effective in reducing the

1- PhD graduated of Agroecology, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran

2- M.Sc. Graduated of Agrotechnology, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Associated Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- Professor, Department of Agroecology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(*- Corresponding Author Email: hkazemi@gau.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76465.1168>

consumption of this input. Due to the non-renewability of this input, reducing its consumption is effective in reducing both economic costs and environmental pollution. Consuming as much livestock manure (cattle) as possible and implementing crop rotations with legumes such as soybeans that can grow well in this area is effective in supplying soil nitrogen and reducing the need for chemical fertilizers.

Conclusion

Analysis of energy indices, such as energy efficiency and net energy, revealed that energy loss in the canola farming ecosystem is low and that the system's sustainability is adequate. Evaluation of carbon footprint revealed that the value of this index for canola production in the county of Kalaleh was less than the ecological capacity of each hectare of land used for canola production, indicating the environmental sustainability of canola production in the county of Kalaleh. In general, canola agroecosystems in the county of Kalaleh were sustainable based on terms of all three indices: net energy, carbon footprint, and global warming potential. Due to the large proportion of two inputs, fossil fuel, and nitrogen fertilizer, in these indices and their significant impact on production sustainability, consumption management of these inputs and training and justification of farmers are recommended to increase production sustainability.

Keywords: Carbon efficiency, Ecological capacity, Fossil fuel, Global warming potential, Nitrogen fertilizer

ارزیابی پایداری کشت بوم‌های کلزا (*Brassica napus* L.) بر پایه تحلیل انرژی، ردپای کربن و گازهای گلخانه‌ای

حمیدرضا شاه حسینی^۱، سمانه لطفی^۲، حسین کاظمی^{۳*}، بهنام کامکار^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۸

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی پایداری کشت بوم‌های کلزا بر اساس تحلیل انرژی، ردپای کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای در شهرستان کلاله، در استان گلستان، در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ به وسیله پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره با کلزاکاران و جمع‌آوری اطلاعات از سازمان جهاد کشاورزی استان گلستان انجام شد. تعداد مزارع مورد مطالعه، توسط رابطه کوکران تعیین گردید. بر این اساس، ۵۰ مزرعه کلزا انتخاب شدند. قابلیت اعتماد پرسشنامه ۰/۸۱ محاسبه شد. پس از تعیین مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی مزارع، ردپای کربن، انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های مربوط به انرژی در این کشت بوم‌ها محاسبه و ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که انرژی ورودی کل ۱۳۲۰۰ مگاژول در هکتار، انرژی خروجی کل ۶۳۴۰۰ مگاژول در هکتار، کارایی مصرف انرژی ۴/۸، بهره‌وری انرژی ۰/۱۷ کیلوگرم در مگاژول، ردپای بوم‌شناختی تولید کلزا ۰/۹۹ هکتار جهانی و پتانسیل گرمایش جهانی ۷۷۹/۰۳ کیلوگرم معادل دی‌اکسید کربن در هکتار بود. همچنین، ورودی‌های سوخت فسیلی با ۴۶/۴۶ و ۵۴/۸۳ و کود نیتروژن با ۳۹/۲۴ و ۳۴/۷۳ درصد، به ترتیب بیشترین سهم از هر دو شاخص ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی در تولید کلزا را داشتند. به‌طور کلی تولید کلزا در شهرستان کلاله از لحاظ هر سه شاخص انرژی خالص، ردپای کربن و پتانسیل گرمایش جهانی، پایدار بود. با این وجود، به دلیل سهم زیاد دو ورودی سوخت فسیلی و کود نیتروژن از این شاخص‌ها و در نتیجه تاثیر زیاد آن‌ها روی پایداری تولید، مدیریت مصرف این ورودی‌ها و آموزش و توجیه کشاورزان در این زمینه، به‌منظور افزایش پایداری تولید محصول، توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل گرمایش جهانی، سوخت فسیلی، ظرفیت بوم‌شناختی، کارایی کربن، کود نیتروژن

مقدمه

افزایش نیاز به تولید غذا طی دهه‌های اخیر، موجب گسترش رویکرد کشاورزی صنعتی و با مصرف زیاد نهاده‌ها شده است که پیامد این امر، کاهش پایداری در کشاورزی بوده است (Lombardi et al., 2021). بنابراین، کشاورزی به‌عنوان یک سامانه تولید غذا، موجب

افزایش سرعت تخریب محیط، تخلیه منابع و انتشار آلودگی‌ها در هر دو سطح محلی و جهانی شده است (Montoya, Gaba, de Mazancourt, Bretagnolle, & Loreau, 2020). سیاست‌های تولید غذا باید در جهت حل مسائل کمبود منابع طبیعی و آلودگی‌ها و پایداری سامانه‌های تولید-مصرف غذا باشد. به‌منظور اطمینان از قابلیت زیستی سامانه‌های تولید محصول پایدار، باید سودمندی کشاورزی، در کنار حفاظت از منابع و تولید سالم، در نظر گرفته شود (Lombardi et al., 2021). سهم کشاورزی در مصرف انرژی، ردپای بوم‌شناختی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان، در سال‌های اخیر افزایش قابل توجهی داشته است. میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش کشاورزی تا ۱۹/۹ گیگاتن معادل دی‌اکسید کربن در سال برآورد می‌شود (Prakash Meena et al., 2021). تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن، اکسیدهای نیتروس و

۱- دانش‌آموخته دکتری اگروکولوژی، گروه زراعت، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد اگروتکنولوژی، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۴- استاد گروه اگروتکنولوژی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(*)- نویسنده مسئول:
(Email: hkazemi@gau.ac.ir)
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76465.1168>

مصارف مختلف خوراکی و صنعتی می‌باشد (Jankowski, Budzynski, & Kijewski, 2015). تولید کلزا و زنجیره تامین آن به شدت به ورودی‌هایی مانند کود، ماشین‌آلات و سوخت فسیلی وابسته بوده و توسعه آن در ایران مشکلاتی در زمینه مصرف پایدار منابع انرژی و اثرات محیطی ایجاد کرده است. بنابراین ارزیابی پایداری تولید این محصول زراعی، بیش از پیش اهمیت دارد (Mousavi-Avval et al., 2011).

تحلیل انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در بوم‌نظام‌های زراعی، رویکرد کاربردی رایج در ارزیابی پایداری در این بخش است؛ از جمله می‌توان به مطالعات انجام شده روی گندم (*Triticum aestivum*) (Soltani, Rajabi, Zeinali, & Soltani, 2013)، یونجه (*Medicago sativa*) (Asgharipour, Mousavinik, & Fartout, 2016)، کلزا (*Brassica napus*) (Kazemi et al., 2016)، سویا (*Glycine max*) (Alimaghani, Soltani, Zeinali, 2016)، و غلات (Hoffman et al., 2018) اشاره کرد. اما تلفیقی از ارزیابی‌های انرژی، ردپای بوم‌شناختی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، راهکار جامع‌تری در زمینه مصرف کارآمد نهاده‌ها، کاهش اثرات نامطلوب محیطی و دستیابی به پایداری خواهد بود (Prakash Meena et al., 2021). با این وجود، مطالعات بسیار کمی در زمینه ارزیابی پایداری تولید محصولات زراعی بر اساس تلفیق تحلیل انرژی، ردپای بوم‌شناختی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در ایران و حتی جهان انجام شده است.

ارزیابی پایداری نظام‌های مختلف تولید گندم آبی در استان همدان به‌وسیله تحلیل ردپای بوم‌شناختی نشان داد، میزان این شاخص در نظام کشت مرسوم ۲/۹۶ و در نظام کشت حفاظتی ۲/۸۴ معادل هکتار جهانی بود و بر این اساس ۷۰ و ۳۰ درصد از مزارع به‌ترتیب در سطح با ناپایداری زیاد و ناپایداری کم قرار داشتند (Naderi Mahdei, Bahrami, Aazami, & Sheklabadi, 2015). ارزیابی انرژی و ردپای بوم‌شناختی نظام کشت نخودفرنگی-گندم بدون خاک‌ورزی در نظام‌های کشت خالص یا توأم بر پایه مالچ بقایا و کوددهی، در مناطق نیمه‌خشک هندوستان نشان داد که شاخص‌های خروجی انرژی، انرژی ویژه و ردپای بوم‌شناختی در نظام کشت توأم بیشتر از نظام کشت خالص بود اما در مورد شاخص‌های کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی، این مورد عکس بود (Kumar et al., 2021). مقدار تولید کلزا در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ حدود ۱۰۹۱۷۵ تن در استان گلستان گزارش شده است که ۳۱/۱ درصد از تولید کل کلزا در کشور را به خود اختصاص داده و رتبه نخست را از نظر تولید داراست. شهرستان کلاله در استان گلستان، یکی از قطب‌های تولید کلزا در کشور است. سطح زیر کشت این محصول در شهرستان کلاله در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۱۷۹۵۲ هکتار بود (Jihad-e-Agricultural Organization of Golestan

متان، اثرات نامطلوب بوم‌شناختی از جمله تغییر اقلیم، گرمایش جهانی و کاهش توسعه پایدار را به دنبال دارد (Jamali, Soufizadeh, Yeganeh, & Emem, 2021). شواهد موجود نشان می‌دهد که تغییر جهانی اقلیم، متغیرهای اقلیمی کشاورزی ایران در چند دهه آینده را تحت تاثیر قرار خواهد داد (Koocheki & Nassiri, 2016; Rezaei, Naderi Mahdei, Karimi, & Shanazi, 2019). همچنین، تغییرات در الگوی مصرف انرژی در این بخش، موجب افزایش ردپای بوم‌شناختی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این بخش شده است. بنابراین، نوآوری در مدیریت کشاورزی به‌منظور کاهش مصرف انرژی، ردپای بوم‌شناختی و انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری است (Jamali et al., 2021).

بین کشاورزی و انرژی ارتباط تنگاتنگی وجود دارد؛ کشاورزی، از یک طرف، مصرف‌کننده انرژی و از طرف دیگر، تامین‌کننده انرژی به شکل زیستی می‌باشد (Elsoragaby, Yahya, Mahadi, Mat Nawi, & Mairghany, 2019). در وضعیت کنونی کشاورزی، سودمندی و بهره‌وری محصولات، به مصرف کارآمد انرژی در این بخش بستگی دارد (Kaur, Kumar Vashist, & Brar, 2021; Kumar et al., 2021). مصرف انرژی در بخش کشاورزی به دلیل افزایش مکانیزاسیون و کاربرد انرژی‌های تجاری، سریع‌تر از بخش‌های دیگر اقتصادی در جهان افزایش یافته است؛ با این وجود، افزایش مصرف ورودی‌ها به‌منظور کسب حداکثر عملکرد، ممکن است موجب کاهش پایداری شود؛ زیرا منابع محیطی در حال کاهش و آلودگی‌های محیطی در حال افزایش است. بنابراین، بهبود کارایی مصرف انرژی به دلیل کاهش اثرات نامطلوب محیطی، از جمله کاهش پایداری، ضروری است. مصرف کارآمد انرژی در کشاورزی، راهکار قابل دستیابی برای کاهش مصرف ورودی‌ها، کاهش ردپای بوم‌شناختی، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای، کاهش تخریب منابع محیطی و در نتیجه دستیابی به کشاورزی پایدار است (Mousavi-Avval, Rafiee, Jafari, & Mohammadi, 2011). ردپای بوم‌شناختی کشاورزی، شاخصی مناسب برای تعیین میزان مصرف منابع است که توسط تبدیل منابع و ورودی‌های مصرفی در مزرعه و ارائه آن‌ها بر حسب واحد هکتار جهانی، برآورد می‌گردد. بنابراین، معیار مناسبی برای تحلیل انرژی مصرفی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشاورزی است. آنچه در ردپای بوم‌شناختی کشاورزی بیش از بقیه اهمیت دارد، انرژی مصرفی و تولیدی در آن است که موجب انتشار کربن و در نهایت تاثیر کشاورزی بر محیط می‌شود و به این طریق پایداری نظام‌های کشاورزی را ارزیابی می‌کند (Cerutti, Beccaro, Bagliani, Donno, & Bounous, 2013; Rezaei et al., 2019). کلزا با داشتن ترکیب مطلوبی از اسیدهای چرب (۵۶ تا ۶۸ درصد اسید اولئیک، ۱۸ تا ۲۲ درصد اسید لینولئیک و ۱۰ تا ۱۳ درصد اسید لینولنیک)، یکی از مناسب‌ترین محصولات برای تولید روغن با

در این رابطه، n حجم نمونه، N حجم جامعه آماری، z خطای معیار ضریب اطمینان قابل قبول (۱/۹۶)، p نسبتی از جمعیت دارای صفتی معین (۰/۵)، q نسبتی از جمعیت فاقد صفتی معین (۰/۵) و d دقت احتمالی قابل قبول بود. بر این اساس تعداد پرسشنامه برای کلزاکاران ۵۰ در نظر گرفته شد. انتخاب کشاورزان با روش نمونه‌برداری تصادفی انجام شد.

تحلیل انرژی

برای محاسبه معادل انرژی ورودی‌ها و خروجی در کشت بوم‌های کلزا، ابتدا مهم‌ترین ورودی‌ها و خروجی در هر کدام از مزارع تعیین و سپس میانگین آن محاسبه شد. درخصوص ورودی کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، مقدار موثر آن‌ها تعیین شد. معادل انرژی هر ورودی و نیز خروجی، با ضرب مقدار در ضریب تبدیل انرژی مربوطه (جدول ۱) محاسبه شد (Asgharipour et al., 2016). منابع کودی مورد استفاده در مزارع کلزا اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات آمونیوم بود.

(Province, 2019) هدف از این پژوهش، ارزیابی پایداری تولید کلزا در شهرستان کلاله، در استان گلستان و ارایه راهکارهایی برای مدیریت بهتر تولید به منظور کاهش مصرف انرژی، ردپای کربن، انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش پایداری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری داده‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ در شهرستان کلاله، واقع در استان گلستان، انجام شد. داده‌ها توسط پرسشنامه و مصاحبه چهره به چهره با کلزاکاران جمع‌آوری شد. تعداد مزارع مورد مطالعه توسط رابطه (۱) تعیین شد (Cochran, 2003).

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} (\frac{z^2 pq}{d^2} - 1)} \quad (1)$$

جدول ۱- میانگین و معادل‌های انرژی ورودی‌ها و خروجی در بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله

Table 1- Average values and energy equivalents of inputs and output in canola farming ecosystem in Kalaleh county

متغیر	واحد	میانگین	معادل انرژی	منابع
Item	Unit	Average	Energy equivalents (MJ unit ⁻¹)	References
نیروی کارگری	ساعت	15.00	1.96	Ozkan, Fert, & Karadeniz, 2007
Human labor	h			
ماشین‌آلات	کیلوگرم	2.92	142.70	Kaltsas, Mamolos, Tsatsarelis, Nanos, & Kalburtji, 2007
Machinery	kg			
سوخت فسیلی	لیتر	110.00	56.31	Ozkan et al., 2007
Fossil fuel	L			
کود نیتروژن	کیلوگرم	84.87	60.6	Unakitan, Hurma, & Yilmaz, 2010
Nitrogen fertilizer	kg			
کود فسفر	کیلوگرم	42.07	11.1	Alcaoz, Ozcatalbas, & Kizilay, 2009
Phosphorus fertilizer	kg			
کود گوگرد	کیلوگرم	24.42	1.12	Esengun, Erdal, Gunduz, & Erdal, 2007
Sulfur fertilizer	kg			
علف‌کش	لیتر	1.30	287	Rathke & Diepenbrock, 2006
Herbicide	L			
حشره‌کش	لیتر	1.00	237	Rathke & Diepenbrock, 2006
Insecticide	L			
قارچ‌کش	لیتر	1.25	99	Strapatsa, Nanos, & Tsatsarelis, 2006
Fungicide	L			
بذر	کیلوگرم	6.80	29.2	Rowell, Jobler, Earl, Coyle, & Hawkins, 2007
Seed	kg			
عملکرد دانه	کیلوگرم	2238.6	28.3	Rathke & Diepenbrock, 2006
Canola yield	kg			

خروجی انرژی برای نظام زراعی کلزا، با میانگین‌گیری از کل ۵۰ مزرعه کلزا محاسبه شد. در این پژوهش، مهم‌ترین شاخص‌های

ورودی انرژی کل نیز برای هر مزرعه با جمع مقادیر معادل انرژی تمام ورودی‌ها در آن مزرعه محاسبه شد. همچنین، ورودی انرژی و

استفاده شد (روابط (۶) تا (۸)) (Kissinger & Gottlieb, 2012; Guzman et al., 2013).

$$EFt = \sum_{i=1}^n EFi = \left(\frac{Ei \times T}{C_0} \right) \quad (6)$$

$$Ei = Fi \times EQF \times 1000 \quad (7)$$

$$T = \left(\frac{Pc}{Ec \times Oc \times K} \right) \quad (8)$$

در این مدل، EFi ، شاخص ردپای بوم‌شناختی بر حسب هکتار جهانی، EC ، توانایی تولید انرژی توسط هر گرم زغال سنگ (۲۰ کیلوژول)، Ei ، انرژی عامل i بر حسب کیلوژول، C_0 ، توانایی یک هکتار زمین برای جذب کربن بر حسب تن (۱/۸ تن)، Fi ، انرژی عامل i ام، EQF عامل معادل ساز عامل i ام برای تبدیل زمین مولد به هکتار جهانی، P_c ، درصد کربن موجود در زغال سنگ (۰/۸۵ درصد) بر حسب گرم، O_c ، درصد زغال سنگ بازدهی شده به وسیله گیاهان معادل (۰/۳۱۴ درصد) بر حسب گرم و K ، ضریب ثابت برای تبدیل گرم به تن (۱۰۰۰۰۰۰) است (Rezaei et al., 2019).

ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

مقدار گازهای گلخانه‌ای تولیدشده از طریق ضرب مقادیر خام ورودی‌های مصرف شده در ضریب انتشار مربوط به آن‌ها محاسبه شد (Asgharipour et al., 2016) (جدول ۲).

انرژی شامل کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه، انرژی خالص، انرژی ورودی کل و انرژی خروجی کل برای ارزیابی کارایی نظام زراعی (رابطه‌های (۲) تا (۵)) (Asgharipour et al., 2016; Alimagham et al., 2017) در نظام زراعی کلزا، محاسبه شدند.

$$\text{Energy use efficiency} = \frac{\text{energy output (MJ ha}^{-1}\text{)}}{\text{energy input (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (2)$$

$$\text{Energy productivity} = \frac{\text{yield output (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{energy input (MJ ha}^{-1}\text{)}} \quad (3)$$

$$\text{Specific energy} = \frac{\text{energy input (MJ ha}^{-1}\text{)}}{\text{yield output (kg ha}^{-1}\text{)}} \quad (4)$$

$$\text{Net energy} = \text{energy output (MJ ha}^{-1}\text{)} - \text{energy input (MJ ha}^{-1}\text{)} \quad (5)$$

ارزیابی ردپای کربن

ردپای بوم‌شناختی به عنوان مقدار زمین مورد نیاز برای جذب آلودگی‌های زیست‌محیطی ایجاد شده توسط مصرف نهاده‌ها و منابع بر حسب هکتار جهانی در یک سال زراعی در نظام زراعی کلزا تعیین می‌شود. مبنای ارزیابی ردپای کربن و در نتیجه پایداری در این تحقیق، جذب کربن در نظام زراعی کلزا بود. معیار جذب کربن در نظام‌های زراعی معیار دقیق‌تری در ارزیابی ردپای کربن و پایداری است (Guzman, Marrero, & Arellano, 2013). هر هکتار زمین توانایی جذب ۱/۸ تن کربن را داشته و در شرایطی که ردپای کربن در یک نظام زراعی بیش از این مقدار باشد، از لحاظ محیطی ناپایدار خواهد بود (Naderi Mahdei et al., 2015). برای ارزیابی ردپای کربن بر حسب کربن و در نتیجه پایداری محیطی در این پژوهش، از مدل ردپای کربن بر مبنای مصرف انرژی و با رویکرد مکان محور

جدول ۲- ضریب انتشار گازهای گلخانه‌ای (گرم) برای ورودی‌های شیمیایی و پتانسیل گرمایش جهانی آن‌ها

Table 2- Emission coefficient of greenhouse gases (g) for chemical inputs and their global warming potential

ورودی Input	دی اکسید کربن CO ₂	اکسید نیتروس N ₂ O	متان CH ₄	منبع Reference
سوخت فسیلی Fossil fuel	3560	0.70	5.20	Kramer, Moll, & Nonhebel, 1999
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	3100	0.03	3.70	Snyder, Bruulsema, Jensen, & Fixen, 2009
کود فسفر Phosphorus fertilizer	1000	0.02	1.80	Snyder et al., 2009
کود گوگرد Sulphur fertilizer	700	0.01	1	Bhatarai, Abagandura, Nleya, & Kumar, 2021
علف‌کش Herbicide	5100	0.02	0.01	Asgharipour et al., 2016
حشره‌کش Insecticide	5100	0.02	0.01	Asgharipour et al., 2016
قارچ‌کش Fungicide	5100	0.02	0.01	Asgharipour et al., 2016
عامل معادل دی اکسید کربن پتانسیل گرمایش جهانی GWP CO ₂ e factor	1	310	21	Asgharipour et al., 2016

در این رابطه، Co و Ci به ترتیب معادل کربن خروجی و معادل کربن ورودی‌های شیمیایی بر حسب معادل کربن در هکتار است. برای تعیین محتوای کربن ورودی‌های شیمیایی نیز باید محتوای دی‌اکسید کربن آن‌ها را در نسبت وزن مولکولی کربن به دی‌اکسید کربن ضرب کرد (Yousefi et al., 2014b). تمام محاسبات مربوط به تعیین میزان انرژی، ردپای بوم‌شناختی و انتشار گازهای گلخانه‌ای و شاخص‌های آن‌ها، توسط نرم‌افزار EXCEL 2007 انجام شد. همچنین قابلیت اعتماد پرسشنامه محاسبه شد که ۰/۸۱ بود.

نتایج و بحث

ارزیابی انرژی

مقدار انرژی‌های ورودی و ردپای آن در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله در جدول ۳ نشان داده شده است. انرژی ورودی کل یا همان انرژی حمایت‌کننده نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۱۳۲۰۰ مگاژول در هکتار بود (جدول ۴) که کمتر از مقدار ۱۷۷۸۶/۳۶ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۱۴۵۵۳/۱۹ مگاژول در هکتار (Kazemi et al., 2016) برای تولید کلزا در استان گلستان بود که نشان‌دهنده مصرف کمتر انرژی برای تولید کلزا در شهرستان کلاله در مقایسه با این دو مورد است. عملکرد دانه کلزا در شهرستان کلاله، ۲۲۳۸/۶ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. بر این اساس، انرژی خروجی کل که نشان‌دهنده انرژی معادل برای عملکرد دانه کلزا می‌باشد، ۶۳۴۰۰ مگاژول در هکتار بود (جدول ۴). این مقدار، بیشتر از مقدار ۵۳۷۹۸/۴۶ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۵۰۰۹۱/۰۰ مگاژول در هکتار (Kazemi et al., 2016) برای نظام‌های زراعی کلزا در استان گلستان بود که نشان‌دهنده عملکرد بیشتر کلزا در شهرستان کلاله در مقایسه با مطالعات ذکر شده است. کارایی مصرف انرژی در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۴/۸ بود (جدول ۴). مقدار این شاخص برای نظام‌های زراعی کلزا در استان گلستان در دو مطالعه مجزا به ترتیب ۳/۰۲ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۳/۴۴ (Kazemi et al., 2016) بود. بنابراین کارآمدی نظام زراعی کلزا در تبدیل انرژی‌های ورودی به انرژی موجود در عملکرد دانه در شهرستان کلاله بیشتر از این دو نظام زراعی است. مقدار شاخص بهره‌وری انرژی، ۰/۱۷ کیلوگرم در مگاژول بود (جدول ۴). به عبارت دیگر، به ازای هر واحد انرژی ورودی، ۰/۱۷ کیلوگرم دانه، به عنوان خروجی نظام زراعی، تولید شده است. شاخص معکوس برای بهره‌وری انرژی، شاخص انرژی ویژه است که مقدار آن ۵/۹۰ مگاژول در کیلوگرم به دست آمد (جدول ۴).

مقدار گازهای گلخانه‌ای منتشر شده را می‌توان بر حسب هر واحد زمین مورد استفاده در تولید محصول، هر واحد وزن محصول و هر واحد از ورودی یا خروجی انرژی محاسبه کرد (Soltani et al., 2013). در این تحقیق میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان بر حسب کیلوگرم در هکتار در رابطه با ورودی‌های سوخت فسیلی، کودهای نیتروژن، فسفر و گوگرد و سموم شیمیایی بر حسب کیلوگرم در هکتار برای تولید کلزا کمی شد و سپس پتانسیل گرمایش جهانی هر گاز گلخانه‌ای برای این نظام زراعی به روش زیلوواکیس (Tzivilakis, Warner, May, Lewis, Jaggard, 2005) محاسبه شد. پتانسیل گرمایش جهانی، تعیین‌کننده سهم نسبی یک گاز از اثر گلخانه‌ای و به عنوان اثرات نیروی تابشی تجمعی بین زمان حاضر و زمان انتخابی در آینده است که از طریق یک جرم واحد گاز منتشر شده در زمان حال ایجاد شده است. انتشارها بر اساس معادل دی‌اکسید کربن، به عنوان گاز مرجع، اندازه‌گیری می‌شوند (Yousefi, Mahdavi Damghani, & Khoramivafa, 2014b). پتانسیل گرمایش جهانی متان و اکسید نیتروس در دوره زمانی بیش از صد سال نیز به ترتیب حدود ۲۱ و ۳۱۰ در نظر گرفته شد (Asgharipour et al., 2016). در انتها، میزان اثر گلخانه‌ای توسط رابطه (۹) تعیین گردید (Kramer et al., 1999).

$$\text{Greenhouse effect} = \sum \text{GWPI} \times \text{Mi (kg)} \quad (9)$$

در این رابطه، GWP پتانسیل گرمایش جهانی و Mi جرم گاز انتشار یافته است.

کارایی مصرف کربن نیز توسط رابطه (۱۰) محاسبه شد (Yousefi, Khoramivafa, & Mondani, 2014a).

$$\text{Carbon efficiency ratio} = \frac{\text{yield output (kgC ha}^{-1})}{\text{GWP (kgC ha}^{-1})} \quad (10)$$

در این رابطه، عملکرد محصول باید بر اساس معادل کربن بیان شود. محتوای کربن را معمولاً ۴۵ درصد از عملکرد کل در نظر می‌گیرند (Bolinder, Janzen, Gregorich, Angers, & Vanden Bygaart, 2007). همچنین به این دلیل که پتانسیل گرمایش جهانی بر اساس معادل دی‌اکسید کربن است، برای تعیین محتوای کربن باید این مقدار را در نسبت وزن مولکولی کربن به دی‌اکسید کربن ضرب کرد که معمولاً ۱۲/۴۴ یا حدود ۰/۲۷ می‌باشد (Yousefi et al., 2014a). در نهایت، شاخص پایداری برای ارزیابی جریان انرژی، ذخیره کربن و انتشار گازهای گلخانه‌ای (Yousefi et al., 2014b) در نظام زراعی کلزا توسط رابطه (۱۱) محاسبه شد (Lal, 2004).

$$\text{Is} = \frac{[\text{Co (CO}_2\text{eq ha}^{-1}) - \text{Ci (CO}_2\text{eq ha}^{-1})]}{\text{Ci (CO}_2\text{eq ha}^{-1})} \quad (11)$$

جدول ۳- مقادیر انرژی (مگاژول در هکتار) و ردپای کربن (هکتار جهانی) ورودی‌ها در بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله
 Table 3- Energy values (MJ ha⁻¹) of inputs and their carbon footprint (gha) in canola farming ecosystem in Kalaleh county

ورودی Input	مقدار انرژی Energy value	ردپا Foot print	درصد از ردپای کل Contribution of total foot print (%)
نیروی کارگری Human labor	29.4	0.002	0.2
ماشین‌آلات Machinery	416	0.03	3
سوخت فسیلی Fossil fuel	6190	0.46	46.46
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	5140	0.39	39.24
کود فسفر Phosphorus fertilizer	467	0.04	4
کود گوگرد Sulphur fertilizer	27.4	0.002	0.2
علف‌کش Herbicide	373	0.03	3
حشره‌کش Insecticide	237	0.02	2
قارچ‌کش Fungicide	123	0.009	0.9
بذر Seed	198	0.01	1
کل Total	13200	0.99	100.00

جدول ۴- شاخص‌های انرژی در بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله
 Table 4- Energy indices in canola farming ecosystem in Kalaleh county

شاخص Index	واحد Unit	مقدار Value
کارایی مصرف انرژی Energy use efficiency	-	4.8
بهره‌وری انرژی Energy productivity	کیلوگرم در مگاژول kg MJ ⁻¹	0.17
انرژی ویژه Specific energy	مگاژول در کیلوگرم MJ kg ⁻¹	5.90
انرژی خالص Net energy	مگاژول در هکتار MJ ha ⁻¹	50200
انرژی ورودی کل Total energy input	مگاژول در هکتار MJ ha ⁻¹	13200
انرژی خروجی کل Total energy output	مگاژول در هکتار MJ ha ⁻¹	63400

خالص برای نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۵۰۲۰۰ مگاژول در هکتار محاسبه شد (جدول ۴). این مقدار بیشتر از مقدار ۳۶۰۱۲/۰۹ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۳۵۵۳۷/۸۱ مگاژول در هکتار (Kazemi et al., 2016) برای تولید کلزا در استان گلستان بود که نشان‌دهنده اتلاف کمتر انرژی و پایداری بیشتر تولید کلزا در شهرستان کلاله در مقایسه با موارد مذکور است.

یعنی مصرف انرژی به ازای هر واحد دانه کلزای تولیدی، ۵/۹۰ مگاژول است. مقدار شاخص‌های بهره‌وری انرژی به‌ترتیب ۰/۱۲ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۰/۱۲ کیلوگرم در مگاژول (Kazemi et al., 2016) و انرژی ویژه به‌ترتیب ۸/۲۷ (Mousavi-Avval et al., 2011) و ۸/۲۶ مگاژول در کیلوگرم (Kazemi et al., 2016) برای تولید کلزا در استان گلستان بود. شاخص انرژی

ارزیابی ردپای کربن

ردپای کربن تولید کلزا در شهرستان کلاله، با توجه به میزان کل انرژی مصرفی محاسبه شده، معادل ۰/۹۹ هکتار جهانی به‌دست آمد (جدول ۳). این مقدار بسیار کمتر از ظرفیت بوم‌شناختی هر هکتار زمین مورد استفاده برای تولید کلزا است؛ زیرا توانایی هر هکتار زمین، برای جذب کربن، ۱/۸ تن می‌باشد (Rezaei et al., 2019). بنابراین تولید کلزا در شهرستان کلاله، از نظر زیست‌محیطی، پایدار می‌باشد. در پژوهشی میزان ردپای بوم‌شناختی تولید سیب‌زمینی و خیار در شهرستان بهار به ترتیب ۴/۰۳ و ۳/۲۳ هکتار جهانی محاسبه شده است (Rezaei et al., 2019). ورودی سوخت فسیلی، بیشترین تاثیر بر ردپای بوم‌شناختی تولید کلزا در شهرستان کلاله را داشت (۴۶/۴۶ درصد) (جدول ۳) که علت اصلی آن، دفعات بالای خاک‌ورزی و فرسوده بودن ماشین‌آلات در اغلب مزارع مورد بررسی بود. کاهش دفعات ورود ماشین‌آلات به مزرعه، از طریق کاربرد روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی، از یک طرف و نوسازی ماشین‌آلات از طرف دیگر، در کاهش مصرف این ورودی موثر است. با توجه به تجدیدنپذیر بودن این ورودی، کاهش مصرف آن علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی، در کاهش آلودگی محیط نیز موثر است. کود

نیتروژن، دومین سهم از ردپای کل در نظام زراعی کلزا را داشت (۳۹/۲۴ درصد). این مقدار، بسیار بیشتر از سهم کودهای فسفر (۴ درصد) و گوگرد (۰/۲ درصد) از ردپای کل در این نظام زراعی بود. مصرف کود دامی (گاوی) تا حد امکان و اجرای تناوب‌های زراعی مناسب با لگوم‌هایی مانند سویا که قابلیت رشد مناسب در این منطقه را دارند، در تامین نیتروژن خاک و در نتیجه کاهش نیاز به مصرف کودهای شیمیایی موثر است. بر این اساس، دو ورودی سوخت فسیلی و کود نیتروژن، ۸۵/۷۰ درصد از ردپای کربن تولید کلزا را موجب شدند. بنابراین، مدیریت و کاهش مصرف این دو ورودی، در کاهش ردپای کربن تولید کلزا و افزایش پایداری محیطی تولید این محصول در شهرستان کلاله موثر خواهد بود.

انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی

مقدار انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان برای ورودی‌های سوخت فسیلی، کود نیتروژن، کود فسفر، کود گوگرد و سموم شیمیایی و پتانسیل گرمایش جهانی آن‌ها در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵- انتشار گازهای گلخانه‌ای (کیلوگرم در هکتار) از ورودی‌های شیمیایی و پتانسیل گرمایش جهانی آن‌ها در بوم‌نظام زراعی کلزا

Table 5- Emission of greenhouse gases (kg ha⁻¹) from chemical inputs and their global warming potential in canola farming ecosystem

ورودی Input	دی‌اکسید کربن CO ₂	اکسید نیتروس N ₂ O	متان CH ₄	پتانسیل گرمایش جهانی GWP	درصد از کل پتانسیل گرمایش جهانی Contribution of GWP (%)
سوخت فسیلی Fossil fuel	391.6	0.08	0.57	428.37	54.83
کود نیتروژن Nitrogen fertilizer	263.1	0.003	0.31	270.54	34.73
کود فسفر Phosphorus fertilizer	42.07	0.0008	0.16	45.68	5.86
کود گوگرد Sulphur fertilizer	17.09	0.0002	0.02	17.57	2.26
علف‌کش Herbicide	6.63	0.00003	0.00001	6.64	0.85
حشره‌کش Insecticide	5.10	0.00002	0.00001	5.10	0.65
قارچ‌کش Fungicide	6.38	0.00002	0.00001	6.39	0.82
انتشار کل Total emission	731.97	0.08	1.06	-	-
عامل معادل دی‌اکسید کربن پتانسیل گرمایش جهانی GWP CO ₂ e factor	731.97	24.8	22.26	-	-

مقدار انتشار دی اکسید کربن، اکسید نیتروس و متان از نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله به ترتیب ۷۳۱/۹۷، ۰/۰۸ و ۱/۰۶ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۵) که به ترتیب کمتر از مقادیر ۲۶۶۸/۳۵، ۲۲/۹۲ و ۳/۴۹ کیلوگرم در هکتار در نظام تولید چغندر قند در استان کرمانشاه (Yousefi et al., 2014a) بود. همچنین، پتانسیل گرمایش جهانی برای نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۷۷۹/۰۳ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن در هکتار به دست آمد. به عبارت دیگر، هر کیلوگرم تولید کلزا در شهرستان کلاله موجب تولید ۰/۳۵ کیلوگرم معادل دی اکسید کربن، گرمایش می شود. مقدار پتانسیل گرمایش جهانی به دست آمده در این تحقیق، بسیار کمتر از مقادیر ۱۱۱۰۰/۴۳، ۷۹۳۴/۱۸ و ۸۷۸۷/۲۸، به ترتیب برای تولید گندم به روش آبیاری جوی و پشته، بارانی و قطره ای در شهرستان مرودشت، ۱۰۶۶۳/۷۴، ۸۱۶۵/۱۴ و ۹۱۰۴/۱۲، به ترتیب برای تولید گندم به روش آبیاری جوی و پشته، بارانی و قطره ای در استان لرستان (Jamali et al., 2021) و ۳۹۱۳/۹۴ و ۱۸۵۷/۱۵ به ترتیب برای تولید پاییزه و بهار سبب زمینی در استان گلستان (Shahhoseini, Ramroudi, & Kazemi, 2021) بود که نشان دهنده اثر گلخانه ای و گرمایش جهانی بسیار کمتر تولید کلزا در شهرستان کلاله در مقایسه با مطالعات ذکر شده است. بر این اساس، تولید کلزا در شهرستان کلاله از پایداری محیطی قابل قبولی برخوردار است.

در این تحقیق سوخت فسیلی، سهم بسیار بیشتری از پتانسیل گرمایش جهانی، نسبت به سایر ورودی های شیمیایی به نظام زراعی کلزا را داشت (۵۴/۸۳ درصد) (جدول ۵) که به دلیل دفعات زیاد کاربرد ماشین آلات و فرسوده بودن آنها در اغلب مزارع مورد بررسی بود. کاربرد ماشین آلات مرکب (کمبینات) در کاهش دفعات ورود ماشین آلات به مزرعه و کاهش مصرف این ورودی شیمیایی موثر است. همچنین، حذف یارانه سوخت، با هدف ترغیب کشاورزان به مصرف کارآمدتر آن و جایگزینی انرژی های تجدیدپذیر توصیه می شود. برای دستیابی به مصرف صحیح منابع انرژی، از جمله سوخت فسیلی و کاهش آسیب های محیطی، باید هر دو عامل سیاست گذاری و اجرای کشاورزی، الگوهای مدیریتی کارآمد برای رسیدن به پایداری محیطی را تدوین و اجرا کنند (Yousefi et al., 2014b). کود شیمیایی نیتروژن، دومین سهم از پتانسیل گرمایش جهانی در نظام زراعی کلزا را داشت (۳۴/۷۳ درصد) که بسیار بیشتر از سایر کودهای مصرفی بود. این امر به دلیل مصرف فشرده کود نیتروژن در این نظام زراعی بود. ارزیابی انتشار گازهای گلخانه ای در نظام زراعی کلزا در استان گلستان نشان داد، بیشترین سهم از پتانسیل گرمایش جهانی، مربوط به کود نیتروژن (۴۴/۱۵ درصد) بود (Kazemi et al., 2016). مصرف کود در مناسب ترین زمان و توزیع

آن با روش مناسب در کنار اصلاح ساختمان خاک (مدیریت خاکورزی) در کاهش مصرف کود نیتروژن و در نتیجه کاهش آلودگی های محیطی در کنار منفعت اقتصادی، موثر است؛ زیرا کاهش ورودی های شیمیایی علاوه بر کاهش انتشار گازهای گلخانه ای و ایجاد پایداری، در افزایش کارایی اقتصادی نیز نقش دارد (Yousefi et al., 2014b). در این خصوص، آموزش و توجیه کشاورزان اهمیت زیادی دارد؛ زیرا نظام های تولید با ورودی های پایین انرژی، به خوبی توسط کشاورزان که علاقه بیشتری به منفعت اقتصادی، نسبت به بهره وری دارند، پذیرفته نشده است. سهم سموم شیمیایی از پتانسیل گرمایش جهانی در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۲/۳۲ درصد بود که کمتر از مقدار ۳/۶۵ برای تولید این محصول در کل استان گلستان (Kazemi et al., 2016) و بسیار بیشتر از مقادیر ۰/۱ برای تولید یونجه در منطقه سیستان (Asgharipour et al., 2016) و ۰/۲۸ و ۰/۱۲ درصد، به ترتیب برای تولید سبب زمینی پاییزه و بهار در استان گلستان (Shahhoseini et al., 2021) بود. مدیریت دقیق مزرعه، به منظور کاهش ورود بذور علف های هرز، در کنار روش های کنترل غیر شیمیایی مانند کنترل مکانیکی و زیستی در کاهش مصرف این ورودی شیمیایی، با اثرات مخرب زیاد محیطی، موثر است. محتوای کربن دانه برداشت شده و ورودی های شیمیایی محاسبه شده در پتانسیل گرمایش جهانی در نظام تولید کلزا در شهرستان کلاله به ترتیب ۱۰۰۷/۳۷ و ۲۱۰/۳۴ کیلوگرم کربن در هکتار بود (جدول ۶). بر این اساس مقدار کربن خالص یا پتانسیل ترسیب کربن در نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله ۷۹۷/۰۳ کیلوگرم کربن در هکتار بود. با توجه به سهم بسیار زیاد دی اکسید کربن از کل گازهای گلخانه ای و پتانسیل گرمایش جهانی، ترسیب کربن راهکار مفیدی برای کاهش دی اکسید کربن اتمسفری است (Khorrarnadel, Koocheki, Nassiri Mahallati, Khorasani, & Ghorbani, 2013). مقدار این شاخص برای تولید ذرت در استان کرمانشاه ۷۱۸۷/۷۵ کیلوگرم کربن در هکتار بود (Yousefi et al., 2014b). کارایی مصرف کربن و شاخص پایداری برای نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله به ترتیب ۴/۷۹ و ۳/۷۹ بود که نشان دهنده پایداری محیطی مناسب نظام زراعی کلزا در این شهرستان است. مقدار کارایی کربن برای نظام های تولید زعفران در استان خراسان جنوبی ۰/۱۸ محاسبه شده است (Khorrarnadel, Nassiri Mahallati, Soltan Ahmadi, Hooshmand, & Mostafavi, 2021). ارزیابی اثر گلخانه ای تولید سبب زمینی پاییزه و بهار در استان گلستان نشان داد، به ترتیب مقدار کارایی مصرف کربن ۱۳/۴۶ و ۱۷/۳۲ و شاخص پایداری ۱۲/۴۶ و ۱۶/۳۲ بود (Shahhoseini et al., 2021).

جدول ۶- شاخص‌های اثر گلخانه‌ای (ردپای کربن) بوم‌نظام زراعی کلزا در شهرستان کلاله
Table 6- Indices of greenhouse effect of canola farming ecosystem in Kalaleh county

شاخص Index	واحد Unit	مقدار Value
کربن خروجی Carbon output	کیلوگرم کربن در هکتار kg C ha ⁻¹	1007.37
کربن ورودی Carbon input	کیلوگرم کربن در هکتار kg C ha ⁻¹	210.34
کربن خالص Net carbon	کیلوگرم کربن در هکتار kg C ha ⁻¹	797.03
کارایی کربن Carbon efficiency	-	4.79
شاخص پایداری Sustainability index	-	3.79

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، شاخص‌های انرژی، ردپای کربن، اثر گلخانه‌ای، پتانسیل گرمایش جهانی و در نتیجه پایداری تولید کلزا در شهرستان کلاله برای نخستین بار ارزیابی شد. تحلیل شاخص‌های انرژی از جمله کارایی مصرف انرژی و انرژی خالص نشان داد، اتلاف انرژی در نظام زراعی کلزا کم و این نظام از پایداری قابل قبولی برخوردار است. ارزیابی ردپای کربن نشان داد، مقدار این شاخص برای تولید کلزا در شهرستان کلاله کمتر از ظرفیت بوم‌شناختی هر هکتار زمین مورد استفاده برای تولید کلزا بود که نشان‌دهنده پایداری محیطی تولید این محصول در شهرستان کلاله است. با این وجود، سهم سوخت فسیلی و کود نیتروژن از ردپای کربن تولید کلزا بسیار بیشتر از سایر ورودی‌ها به این نظام زراعی بود. با توجه به دفعات زیاد خاک‌ورزی و عمر بالا و فرسوده‌بودن ماشین‌آلات در اغلب مزارع مورد مطالعه، اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و نوسازی ماشین‌آلات در کاهش مصرف سوخت موثر خواهد بود. همچنین مصرف کود نیتروژن به مقدار مناسب و در بهترین زمان و کاربرد کود دامی به جای آن (تا حد

امکان)، در کاهش مصرف نیتروژن و بهبود الگوی مصرف انرژی در این نظام زراعی موثر است. ارزیابی انتشار گازهای گلخانه‌ای و پتانسیل گرمایش جهانی تولید کلزا نشان داد، بیشترین سهم از پتانسیل گرمایش جهانی نیز به‌ترتیب مربوط به ورودی سوخت فسیلی و کود نیتروژن بود. اجرای راهکارهای توصیه شده برای کاهش مصرف این ورودی‌ها از جمله مدیریت دقیق، در کاهش مصرف آن‌ها و در نتیجه کاهش پتانسیل گرمایش جهانی در این نظام زراعی موثر است. با این وجود، بر اساس ارزیابی شاخص‌های مربوط به اثر گلخانه‌ای، تولید کلزا در شهرستان کلاله از لحاظ محیطی، پایدار است. به‌عنوان نتیجه نهایی، تولید کلزا در شهرستان کلاله از لحاظ هر سه جنبه تحلیل انرژی، ردپای کربن و اثر گلخانه‌ای، پایدار است. همچنین، اجرای راهکارهای مدیریتی توصیه‌شده، مانند اجرای روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مصرف کود دامی، در کاهش مصرف ورودی‌های سوخت فسیلی و کود نیتروژن، به‌عنوان ورودی‌های با بیشترین تاثیر بر تولید کلزا در این شهرستان، در بهبود شاخص‌های مورد ارزیابی و افزایش پایداری موثر است.

References

- Alcaoz, H., Ozcatalbas, O., & Kizilay, H. (2009). Analysis of energy use for pomegranate production in Turkey. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 7, 475-80.
- Alimagham, S. M., Soltani, A., Zeinali, E., & Kazemi, H. (2017). Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*, 149, 621-628. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.118>
- Asgharipour, M. R., Mousavinik, S. M., & Fartout Enayat, F. (2016). Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports* 2: 135-140. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2016.05.007>
- Bhatarai, D., Abagandura, G. O., Nleya, T., & Kumar, S. (2021). Responses of soil surface greenhouse gas emissions to nitrogen and sulfur fertilizer rates to *Brassica carinata* grown as a bio-jet fuel. *GCB-Bioenergy*, 13(4), 627-639. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12784>
- Bolinder, M. A., Janzen, H. H., Gregorich, E. G., Angers, D. A., & Vanden Bygaart, A. J. (2007). An approach for estimating net primary productivity and annual carbon inputs to soil for common agricultural crops in Canada.

- Agriculture, Ecosystems and Environment*, 118, 29-42. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.05.013>
6. Cerutti, A., Beccaro, G. L., Bagliani, M., Donno, D., & Bounous, G. (2013). Multifunctional Ecological Footprint Analysis for Assessing Eco-efficiency: A Case Study of Fruit Production Systems in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production*, 40, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.09.028>
 7. Cochran, J. (2003). *Patterns of sustainable agriculture adoption/non-adoption in Panama a thesis submitted to McGill University*. McGill University, Montreal, Canada: 1-114.
 8. Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M. R., Mat Nawi, N., & Mairghany, M. (2019). Energy utilization in major crop cultivation. *Energy*, 173, 1285-1303. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.142>
 9. Esengun, K., Erdal, G., Gunduz, O., & Erdal, H. (2007). An economic analysis and energy use in stake-tomato production in Tokat province of Turkey. *Renewable Energy*, 32, 1873-1881. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.07.005>
 10. Guzman, J., Marrero, M., & Arellano, A. (2013). Methodology for Determining the Ecological Footprint of the Construction of Residential Buildings in Andalusia (Spain). *Ecological Indicators*, 25, 239-249. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.10.008>
 11. Hoffman, E., Cavigelli, M. A., Camargo, G., Ryan, M., Ackroyd, V. J., Richard, T. L., & Mirsky, S. (2018). Energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional grain crop production: Accounting for nutrient inflows. *Agricultural Systems*, 162, 89-96. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.01.021>
 12. Jamali, M., Soufizadeh, S., Yeganeh, B., & Emem, Y. (2021). A Comparative study of irrigation techniques for energy flow and greenhouse gas (GHG) emissions in wheat agroecosystems under contrasting environments in south of Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 139, 110704. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110704>
 13. Jankowski, K. J., Budzynski, W. S., & Kijewski, L. (2015). An analysis of energy efficiency in the production of oilseed crops of the family Brassicaceae in Poland. *Energy*, 81, 674-681. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.01.012>
 14. Jihad-e-Agricultural Organization of Golestan Province. (2019). *Deputy for Plant Production Improvement. Management of agricultural affairs*. Vegetable and summer office.
 15. Kaltsas, A. M., Mamolos, A. P., Tsatsarelis, C. A., Nanos, G. D., & Kalburtji, K. L. (2007). Energy budget in organic and conventional olive groves. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 122, 243-251. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.01.017>
 16. Kaur, N., Kumar Vashist, K., & Brar, A. S. (2021). Energy and productivity analysis of maize based crop sequences compared to rice-wheat system under different moisture regimes. *Energy*, 216, 119286. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119286>
 17. Kazemi, H., Hassanpour Bourkheili, S., Kamkar, B., Soltani, A., Gharanjic, K., & Nazari, N. M. (2016). Estimation of greenhouse gas (GHG) emission and energy use efficiency (EUE) analysis in rainfed canola production (case study: Golestan province, Iran). *Energy*, 116, 694-700. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.010>
 18. Khorramdel, S., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Khorasani, R., & Ghorbani, R. (2013). Evaluation of carbon sequestration potential in corn fields with different management systems. *Soil and Tillage Research*, 133, 25-31. <https://doi.org/10.1016/j.still.2013.04.008>
 19. Khorramdel, S., Nassiri Mahallati, M., Soltan Ahmadi, A., Hooshmand, M., & Mostafavi, M. J. (2021). Evaluation of Carbon Footprint and N₂O Emission Indicators for Saffron Production Systems in Khorasan Provinces. *Saffron Agronomy & Technology*, 9(3), 249-267. <https://doi.org/10.22048/jsat.2021.255436.1413>
 20. Kissinger, M., & Gottlieb, D. (2012). From Global to place Oriented Hectares: The Case of Israel's Wheat Ecological Footprint and Its Implication for Sustainable Resource Supply. *Ecological Indicators*, 16, 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.012>
 21. Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2016). Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(1), 1-20. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v14i1.51157>
 22. Kramer, K. J., Moll, H. C., & Nonhebel, S. (1999). Total greenhouse gas emissions related to the Dutch crop production system. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 72, 9-16. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00158-3](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00158-3)
 23. Kumar, A., Rana, K. S., Choudhary, A. K., Bana, R. S., Sharma, V. K., Prasad, S., Gupta, G., Choudhary, M., Pradhan, A., Rajpoot, S. K., Kumar, A., Kumar, A., & Tyagi, V. (2021). Energy budgeting and carbon footprints of zero-tilled pigeonpea-wheat cropping system under sole or dual crop basis residue mulching and Zn-fertilization in a semi-arid agro-ecology. *Energy*, 231, 120862. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120862>
 24. Lal, R. (2004). Carbon emission from farm operations. *Environment International*, 30, 981-90. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2004.03.005>
 25. Lombardi, G. V., Parrini, S., Atzori, R., Stefani, G., Romano, D., Gastaldi, M., & Liu, G. (2021). Sustainable agriculture, food security and diet diversity. The case study of Tuscany, Italy. *Ecological Modelling*, 458, 109702.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109702>
26. Montoya, D., Gaba, S., de Mazancourt, C., Bretnagolle, V., & Loreau, M. (2020). Reconciling biodiversity conservation, food production and farmers' demand in agricultural landscapes. *Ecological Modelling*, 416, 108889. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108889>
27. Mousavi-Avval, S. H., Rafiee, S., Jafari, A., & Mohammadi, A. (2011). Energy flow modeling and sensitivity analysis of inputs for canola production in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 19, 1464-1470. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.013>
28. Naderi Mahdei, K., Bahrami, A., Aazami, M., & Sheklabadi, M. (2015). Assessment of Agricultural Farming Systems Sustainability in Hamedan Province Using Ecological Footprint Analysis (Case Study: Irrigated Wheat). *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17, 1409-1420.
29. Ozkan, B., Fert, C., & Karadeniz, C. F. (2007). Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production. *Energy*, 32, 1500-1504. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.010>
30. Prakash Meena, B., Biswas, A. K., Singh, M., Das, H., Chaudhary, R. S., Singh, A. B., Shirale, A. O., & Patra, A. K. (2021). Energy budgeting and carbon footprint in long-term integrated nutrient management modules in a cereal- legume (*Zea mays- Cicer arietinum*) cropping system. *Journal of Cleaner Production*, 314, 127900. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127900>
31. Rathke, G. W., & Diepenbrock, W. (2006). Energy balance of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) cropping as related to nitrogen supply and preceding crop. *European Journal of Agronomy*, 24, 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.04.003>
32. Rezaei, P., Naderi Mahdei, K., Karimi, S., & Shanazi, K. (2019). Environmental Sustainability Assessment of Farming System Using Ecological Footprint Analysis (Case Study: Potato and Cucumber Cultivation in Sofalgaran district of Bahar County). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 29(2), 53-66. (in Persian with English abstract).
33. Rowsell, J., Jobler, J., Earl, H., Coyle, I., & Hawkins, B. (2007). Whole canola as a fuel source. Ontario alternative renewable fuels research and development fund final report (OMAFRA).
34. Shahhoseini, H. R., Ramroudi, M., & Kazemi, H. (2021). Economic Analysis and Evaluating the Sustainability of Potato Production Based on Greenhouse Gas Emissions (Case Study: Golestan Province). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(3), 295-311. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.39789.2488>
35. Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L., & Fixen, P. E. (2009). Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 133, 247-266. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2009.04.021>
36. Soltani, A., Rajabi, M. H., Zeinali, E., & Soltani, E. (2013). Energy inputs and greenhouse gases emissions in wheat production in Gorgan, Iran. *Energy*, 50, 54-61. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.12.022>
37. Strapatsa, A. V., Nanos, G. D., & Tsatsarelis, C. A. (2006). Energy flow for integrated apple production in Greece. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 116, 176-80. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.02.003>
38. Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K. A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emission in sugar beet (*Beta vulgaris* L.) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85, 101-119. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015>
39. Unakitan, G., Hurma, H., & Yilmaz, F. (2010). An analysis of energy use efficiency of canola production in Turkey. *Energy*, 35, 3623-7. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.05.005>
40. Yousefi, M., Khoramivafa, M., & Mondani, F. (2014a). Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris* L.) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, 92, 501-505. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.04.050>
41. Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., & Khoramivafa, M. (2014b). Energy consumption, greenhouse gas emissions and assessment of sustainability index in corn agroecosystems of Iran. *Science of the Total Environment*, 493, 330-335. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.004>



Evaluation of Heterosis and Heritability of Quantitative Traits and Grouping of New Cultivars and Genotypes of Fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill)

A. Akbari¹, A. Izadi-Darbandi^{2*}, H. Ramshini², M. Ebrahimi²

Received: 17-05-2022

Revised: 09-12-2022

Accepted: 13-12-2022

How to cite this article:

Akbari, A., Izadi-Darbandi, A., Ramshini, H., & Ebrahimi, M. (2023). Evaluation of heterosis and heritability of quantitative traits and grouping of new cultivars and genotypes of fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 173-188. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.76727.1175>

Introduction

Fennel is a cross-pollinating plant and one of the most important medicinal plants of the *Apiaceae* family, whose essential oil is widely used in various pharmaceutical, food, and cosmetic industries. Fennel originated from the Mediterranean region and is a biennial or perennial species. Fennel essential oil has been demonstrated to have antioxidant, anti-cancer, antibacterial, antifungal, and analgesic effects. Improving yield is one of the important goals of breeding, and the use of heterosis as one of the powerful tools to improve yield has always been of interest to breeders. This study was conducted to evaluate seed yield and yield components of three synthetic cultivars of fennel and compare with eight parental populations.

Materials and Methods

To investigate the yield, yield components, and the degree of heterosis of important traits of breeding fennel cultivars, three synthetic cultivars along with eight superior parents were investigated in the form of a randomized complete block design. The experiment was conducted in the spring of 2019 in the research field of the College of Aburaihan, University of Tehran, located in Pakdasht. During the growing period and after harvest the traits such as no. umbel, number of nodes, no. umbellets per umbel, no. seed per umbel, harvest index, seed yield per plant, plant biomass, 1000 seed weight, essential oil content, essential oil yield, and seed yield were measured in the 50% flowering stage. Analysis of variances was done and a comparison of means was performed by Duncan's multiple range at a five percent probability level. Heterosis, Heritability of traits, and some genetic parameters of the traits in fennel genotypes were calculated. To determine the genetic distance and grouping of genotypes, principal component analysis, and cluster analysis were performed. All analyses were carried out using the SAS and Statgraphics software.

Results and Discussion

Based on the results of the analysis of variance, the differences between the studied genotypes were significant for all traits. Medium and late synthetic cultivars had significantly higher seed yield and essential oil yield than other genotypes and their yield heterosis rate was positive compared to the average of parents and was 39% and 38%, respectively. Evaluation of heterosis rate showed that cultivars Synthetics were superior to parents in most traits. General heritability for different traits was estimated to be between 34% and 93%. In this study, the phenotypic variation coefficients of all traits were higher than the genetic variation coefficients, which indicated the existence of environmental factors for these traits. The results showed that principal components that the first four components account for more than 90% of the total variance changes. Based on the cluster, genotypes were divided into four groups. It could be expected that these synthetic cultivars can be introduced and expanded in the market of medicinal plants after being registered as commercial cultivars.

1- PhD Student, Plant Breeding, Abureihan College, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: aizady@ut.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.76727.1175>

Conclusion

In general, the results of this study indicated that the mean squares of the parents against synthetic cultivars were significant for most of the traits, indicating the occurrence of heterosis in these traits. The results showed that the heterosis of most traits of synthetic cultivars was additive and positive. The highest percentage of heterosis compared to parents was for seed yield, essential oil yield, and the number of umbrellas per plant. It also seems that the traits related to yield components have higher heritability than other traits. The results showed that the synthetic cultivars were superior to their parent genotypes in terms of seed yield and essential oil yield. As a result, it should be said that the breeding method of creating synthetic cultivars in the fennel plant is successful. It can be expected that these synthetic cultivars could be introduced and expanded in the market of medicinal plants after being registered as commercial cultivars.

Keywords: Heritability, Heterosis, Synthetic cultivars

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۸۸-۱۷۳

ارزیابی میزان هتروزیس و وراثت پذیری صفات کمی و گروه بندی ارقام جدید و ژنوتیپ های رازیانه (*Foeniculum vulgare*. Mill)

اعظم اکبری^۱، علی ایزدی دربندی^{۲*}، حسین رامشینی^۲، محسن ابراهیمی^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۲

چکیده

رازیانه گیاهی دگرگرده افشان و یکی از مهم ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان است، که اسانس آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی کاربرد فراوان دارد. بهبود عملکرد یکی از اهداف مهم به نژادی محسوب می شود و بهره گیری از هتروزیس به عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند جهت ارتقای عملکرد همیشه مورد توجه به نژادگران بوده است. به منظور بررسی میزان عملکرد، اجزای عملکرد و میزان هتروزیس صفات مهم ارقام اصلاح شده رازیانه، سه رقم اصلاح شده سینتتیک به همراه هشت والد برتر در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی مورد بررسی قرار گرفتند. براساس نتایج تجزیه واریانس اختلاف ژنوتیپ های مورد مطالعه برای همه صفات معنی دار شد. در ارقام سینتتیک میانرس و دیررس میزان عملکرد دانه و عملکرد اسانس به طور معنی داری بالاتر از سایر ژنوتیپ ها بود و میزان هتروزیس عملکرد آن ها نسبت به میانگین والدین مثبت و به ترتیب ۳۹٪ و ۳۸٪ بود است، ارزیابی میزان هتروزیس نشان داد که ارقام سینتتیک در اکثر صفات نسبت به والدین برتری داشت. وراثت پذیری عمومی برای صفات مختلف بین ۳۴٪ تا ۹۳٪ برآورد گردید در این بررسی ضرایب تنوع فنوتیپی کلیه صفات بیشتر از ضرایب تنوع ژنتیکی بود که نشان دهنده وجود اثرات عوامل محیطی بر این صفات بود. تجزیه به مؤلفه های اصلی نشان داد که ۴ مؤلفه اول بیش از ۹۰ درصد تغییرات کل واریانس را توجیه می نمایند. بر اساس تجزیه خوشه ای به روش وارد ژنوتیپ ها در چهار گروه قرار گرفتند. می توان انتظار داشت که این ارقام سینتتیک بتوانند پس از ثبت به عنوان رقم تجاری، در بازار گیاهان دارویی معرفی و گسترش یابند.

واژه های کلیدی: ارقام سینتتیک، وراثت پذیری، هتروزیس

مقدمه

قدیمی ترین گیاهان دارویی خانواده چتریان (Apiaceae) است. مهم ترین ترکیب اسانس رازیانه را آنتول^۳ تشکیل می دهد که اهمیت فراوانی در صنایع داروسازی و عطرسازی دارد. ترکیبات مهم دیگر شامل فنکون^۴، لیمون^۵، استراگول^۶ و آلفا پنین^۷ می باشند. تمامی پیکر رویشی گیاه حاوی اسانس است که در صنایع داروسازی از مواد مؤثره آن به عنوان ضد سرفه، ضد نفخ و شیرافزا استفاده می شود (Lozano, 1998; Veigas, 2007). اسانس رازیانه به دلیل داشتن ویژگی های ضد میکروبی و ضد اکسایشی که به علت حضور

براساس برآوردهای سازمان بهداشت جهانی، بیش از ۸۰ درصد از جمعیت جهان در کشورهای در حال توسعه سلامتی خود را به طور مستقیم یا غیرمستقیم، مدیون گیاهان دارویی هستند و در کشورهای پیشرفته نیز استفاده از ترکیبات شیمیایی گیاهان دارویی رو به افزایش است (Canter, Thomas, & Ernst, 2005). رازیانه با نام علمی (*Foeniculum vulgare* Mill.) گیاهی علفی، معطر و چندساله از

۱- دانشجوی دکتری، اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه

تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(Email: aizady@ut.ac.ir)

(*) نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.76727.1175>

3- Trans-anethole

4- Fenchone

5- Limonene

6- Estragole

7- α -pinene

فلاونوئیدها، ترپنوئیدها، کاروتنوئیدها و کومارین‌هاست، در انواع مواد غذایی و نوشیدنی‌ها به‌عنوان طعم‌دهنده نیز استفاده می‌شود (Singh, Maurya, Lampasona, & Catalan, 2006).

قسمت تجاری گیاه رازیانه دانه آن است که مستقیماً و یا برای اسانس استخراج‌شده از آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. میزان تولید جهانی دانه رازیانه در حدود ۱ میلیون تن در سال است که ایران با تولید حدود ۵٪ این مقدار سومین تولیدکننده بزرگ آن است (FAO, 2012). با توجه به رشد روزافزون تقاضا در بازارهای جهانی برای دانه رازیانه، اصلاح‌گران باید بیش از پیش به این گیاه توجه کنند (Dashora, Sastry, Singh, & Nagda, 2003). بهره‌برداری از هتروزیس به‌عنوان راهکاری برای افزایش عملکرد و تأمین نیاز جمعیت رو به رشد جهان می‌باشد. هتروزیس پدیده‌ای طبیعی است که وابسته به تنوع ژنتیکی بوده و به افزایش بنیه هیبرید نسبت به والدین آن‌ها اطلاق می‌شود (Longin et al., 2012). میزان هتروزیس در گیاهان متداول به‌ویژه در گیاهان دگرگشن بسیار بالا است و بسته به نوع گیاه زراعی افزایش عملکرد در دامنه‌ای بین ۱۰-۵۰ درصد را موجب می‌شود (Adhikari, Ibrahim, Rudd, Baenziger, & Sarazin, 2020). این پدیده در صفات مختلف موفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی اعم از اندازه جثه، سرعت رشد، زیست‌توده گیاه مقاومت به تنش‌ها، باروری، محصول‌دهی و شایستگی جمعیت بروز می‌کند و در بسیاری از محصولات زراعی و دامی مورد توجه قرار گرفته است (Zhang, Wu, Yu, Li, & Pei, 2016). درجه هتروزیس برحسب گونه، فاصله ژنتیکی والدین، مرحله زایشی گیاه، نوع صفت و محیط رشد گیاه متفاوت است. دامنه تغییرات محیطی، شرایط تنش و غیر تنش، تیپ خاک، موقعیت، اقلیم، انرژی خورشیدی، دما و آب قابل‌دسترس روی میزان بروز هتروزیس در گیاهان هیبرید تأثیر می‌گذارد (Fu et al., 2014; Blum, 2013; Munaro, Eyherabide, D'Andrea, Cirilo, & Otegui, 2011). استفاده از ارقام اصلاح‌شده گیاهان دارویی در الگوی کشت می‌تواند نقش موثری در دستیابی به مطلوب‌ترین عملکرد و کیفیت ماده موثره داشته باشد، گزارش‌هایی مبنی بر ارزیابی ویژگی‌های کمی و کیفی ماده موثره ارقام اصلاح‌شده گیاهان دارویی و مقایسه آن‌ها با توده‌های محلی از لحاظ میزان تحمل تنش‌های غیر زیستی، عملکرد و ویژگی‌های کمی و کیفی ماده موثره وجود دارد که بیانگر توجه روزافزون تولیدکنندگان گیاهان دارویی به ارقام اصلاح‌شده و بررسی امکان جایگزینی توده‌های محلی با این ارقام در الگوی کشت می‌باشد (Rahmati, Azizi, Ebadi, & Hasanzadeh Khayyat, 2010; Farzaneh, Ebadi, Nemati, & Arouiee, 2011; Nobahar, Mostafavi Rad, & Ghazi Pirkouhi, 2014; Akbari, Izadi Darbandi, Bahmani, & Ramshini, 2015; Bahmani, Izadi Darbandi, & Akbari, 2016). رازیانه حالت پروتاندری دارد و دارای گرده‌افشانی آزاد است بنابراین، ماهیت ژنتیکی آن به‌صورت

هتروزیگوس-هتروژن است و تکامل این گونه گیاهان به نحوی است که خودگشتی در آن اثر منفی می‌گذارد. روش‌های اصلاحی این گونه گیاهان باید به نحوی باشد که خودگشتی و خلوص در آن‌ها به حداقل برسد و در این راستا می‌توان اقدام به تولید ارقام هیبرید یا سنتتیک کرد (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). رقم سنتتیک نسل پیشرفته‌ای از مخلوطی از بذره‌های نژادها، کلون‌ها، اینبردها یا هیبریدهای بین آن‌هاست که در طی تعداد محدودی نسل آزاد گرده‌افشانی تکثیر یافته باشد (Arzani, 2008). استفاده از رقم سنتتیک نسبت به روش هیبرید دارای چندین مزیت است مانند عدم نیاز به کنترل دقیق گرده‌افشانی، عملکرد بهتر ارقام سنتتیک در شرایط محیطی متغیر، هزینه پایین تولید بذر سنتتیک و این‌که ارقام سنتتیک به‌عنوان مخزن غنی ژنتیکی هستند (Singh, 1990). اولین مرحله اساسی در تولید ارقام سنتتیک، انتخاب والدین مناسب از بین جمعیت‌های اولیه است. این ارزیابی می‌تواند از طریق ارزیابی خود والدین، نتاج حاصل از خودباروری آن‌ها و یا برآورد قابلیت ترکیب‌پذیری عمومی حاصل از آزمون پلی‌کراس یا تاپ‌کراس صورت گیرد که متداول‌ترین آن‌ها روش پلی-کراس است (Aastveit & Aastveit, 1990). پس از انتخاب والدین، کلیه تلاقی‌های ممکن بین لاین‌های انتخابی در یک محیط ایزوله صورت می‌گیرد (لاین‌های والدینی تشکیل Syn0 را می‌دهند) مقادیر مساوی از بذور هر تلاقی را با هم مخلوط کرده و تشکیل یک رقم سنتتیک را می‌دهند، جامعه‌ای که از این بذور مخلوط به‌دست می‌آیند را Syn1 می‌نامند و نتاج حاصل از آزاد گرده‌افشانی Syn1 را اصطلاحاً Syn2 نامند، همچنین از Syn2 نسل Syn3 به‌دست می‌آید باید توجه داشت که عملکرد Syn2 از Syn1 کمتر و نیز عملکرد Syn3 از Syn2 کمتر خواهد بود (Nemat Zadeh & Kiani, 2005). نسل اول رقم به‌دست‌آمده (Syn1) دارای بیشترین هتروزیس است و نسل‌های بعدی به علت پسروی ناشی از خویش‌آمیزی، هتروزیس کمتری دارند، البته شدت این پسروی به اندازه ارقام هیبرید نیست و از سویی دیگر تولید مجدد ارقام سنتتیک هزینه‌بر نیست. روش تولید رقم سنتتیک در گیاهان مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بیشتر ارقام معرفی‌شده یونجه در ۳۰ سال گذشته سنتتیک بوده به طوری که می‌توانند به‌عنوان جمعیتی هتروژن از افراد هتروزیگوت در نظر گرفته شوند این ناهمگنی موجب بهبود عملکرد و پایداری این جمعیت‌ها می‌شود (Hanson, 1988). ارقام آپکس و واشو یونجه ارقامی هستند که به روش پلی‌کراس تولید شده‌اند (Petkova. & Mirchev, 1994).

آماتو و همکاران (Amato, Stringia, & Glamal, 1997) از روش پلی‌کراس برای ایجاد ارقام سنتتیک در ماش (*Hedysarum coronarium* L.) استفاده کردند.

۲۵۴، ۱۴۶ و ۱۹۰ گرم در متر مربع است (Bahmani et al., 2015).

این تحقیق بخشی از یک برنامه اصلاحی گیاه دارویی رازیانه است که با در نظر گرفتن مطالعات مقایسه‌ای، درخصوص عملکرد، اجزای عملکرد و میزان هتروزیس در ارقام اصلاح شده رازیانه شامل سه رقم سینتیک زودرس، سینتیک میان‌رس، سینتیک دیررس و والدین برتر سعی شد ارزیابی کلی از ارقام اصلاح شده و ژنوتیپ‌ها با استفاده از میانگین صفات، آنالیز واریانس و میزان وراثت‌پذیری صفات صورت گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت استان تهران اجرا شد. شرایط اقلیمی مکان آزمایش در جدول ۱ آمده است.

مواد گیاهی: مواد گیاهی استفاده شده در این تحقیق سه رقم اصلاح شده سینتیک و هشت اکوتیپ والدی شامل رقم سنتیک زودرس و دو اکوتیپ والدی آن (فسا و هشتگرد)، رقم سنتیک میان‌رس و چهار اکوتیپ والدی آن (مشکین شهر، مغان، خاش و فزوه) و رقم سنتیک دیررس و دو اکوتیپ والدی آن (حاجی آباد و چاهستان) بودند (جدول ۲).

طرح اجرایی: طرح مورد استفاده در این مطالعه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. کاشت ژنوتیپ‌ها (شامل ارقام سنتیک و ژنوتیپ‌های برتر والدینی) در هر تکرار در یک کرت ۱/۵ در ۲ متری صورت گرفت، که فاصله ردیف‌ها از هم ۳۰ سانتی‌متر منظور شد و بذور با عمق کاشت ۳-۲ سانتی‌متر در اسفند ماه سال ۱۳۹۷ کشت شدند. تراکم بوته‌ها از طریق تنک کردن به‌صورتی که تراکم نهایی ۱۰ بوته در یک متر مربع باشد رسید (Khorshidi, Fazel, Mirahmadi, & Fakhr Tabatabaei, 2010).

موفقیت در انتخاب بستگی به اثر ژن و وراثت‌پذیری صفات دارد و دانستن میزان توارث‌پذیری یک صفت به محقق در اصلاح یک رقم کمک شایانی خواهد نمود. وراثت‌پذیری نه تنها خصوصیت یک صفت، بلکه خصوصیت یک اجتماع، خصوصیت شرایط محیطی که افراد در معرض آن قرار دارند و خصوصیت روشی که توسط آن فنوتیپ محاسبه می‌گردد، محسوب می‌شود. وراثت‌پذیری‌ها در ارتباط با نوع صفت تفاوت زیادی با هم دارند. به‌طور کلی صفات با کمترین وراثت‌پذیری آن‌هایی هستند که نزدیکی‌ترین ارتباط را با شایستگی تولید مثلی دارند. در حالی که صفات با بالاترین وراثت‌پذیری آن‌هایی هستند که ممکن است براساس زمینه‌های بیولوژیکی در تعیین شایستگی طبیعی کم‌اهمیت‌ترین به حساب آیند (Farshadfar, 2005). صفات با وراثت‌پذیری بالا بیشتر تحت کنترل اثرات ژنتیکی افزایشی ژن‌ها می‌باشد و از طرف دیگر مقدار کم وراثت‌پذیری در برخی صفات بیانگر نقش کم تنوع ژنتیکی افزایشی و یا انعطاف‌پذیری فنوتیپی آن صفت می‌باشد (Farsi & Bagheri, 2006).

مقصودی کلاردشتی و همکاران (Maghsudi Kelardashti, Rahimmalek, Sabzalian, & Talebi, 2014) در بررسی تنوع ژنتیکی و روابط بین صفات زراعی در ۱۵ توده رازیانه، تنوع ژنتیکی بالایی را گزارش کردند. آنان همچنین وراثت‌پذیری متوسط تا بالایی ۹۰٪ را برای تمام صفات بررسی شده به استثنای تعداد روز تا ۵۰٪ سبز شدن گزارش کردند. رازیانه‌های ایرانی از لحاظ صفات اگرومورفولوژی (Bahmani, Izadi Darbandi, Ramshini, Moradi, & Akbari, 2015) ژنتیکی (Bahmani, Izadi Darbandi, Jafari, Sadat Noori, & Farajpour, 2012; Bahmani, Izadi-Darbandi, Sadat Noori, & Jaari, 2013) سیتوژنتیکی (Sheidai, Kalhor Home, & Poorneydanei, 2007) و فیتوشیمیایی (Bahmani, Izadi Darbandi, & Sadat Noori, 2014) تنوع قابل‌ملاحظه‌ای دارند و در این میان ژنوتیپ‌های با ارزشی جهت استفاده در برنامه‌های اصلاحی شناسایی شده است. متوسط عملکرد دانه اکوتیپ‌های زودرس، میان‌رس و دیررس رازیانه‌های ایرانی در شرایط آبیاری معمول به‌ترتیب برابر با

جدول ۱- شرایط اقلیمی مکان آزمایش

Table 1- The climatic conditions of experimental site

پاکدشت Pakdasht	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Fall
میانگین بارندگی Average precipitation (mm)	35.6	4.5	61.8
میانگین دما Average temperature (°C)	19.5	30.3	10.6

جدول ۲- ژنوتیپ‌های رازیانه مورد استفاده در آزمایش
Table 2- Fennel genotypes used in the experiment

طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع Altitude (m)	ژنوتیپ Genotype	والدین ارقام سینتیک Parents of synthetic cultivars	ارقام سینتیک Synthetic cultivars
53 41 E	28 58 N	1288	فسا Fasa	والدین رقم سینتیک زودرس	رقم سینتیک زودرس
50 43 E	35 65 N	1426	هشتگرد Hashtgerd	والدین رقم سینتیک زودرس	Early maturity synthetic
47 55 E	39 39 N	31	مغان Moghan	والدین رقم سینتیک زودرس	Early maturity synthetic
47 40 E	38 23 N	1568	Meshkinsahr	والدین رقم سینتیک میان‌رس	رقم سینتیک میان‌رس
51 26 E	32 36 N	1612	مشکین شهر	والدین رقم سینتیک میان‌رس	Medium maturity synthetic
61 12 E	28 13 N	1394	فزه Fozveh	والدین رقم سینتیک میان‌رس	Medium maturity synthetic
55 55 E	28 19 N	931	حاجی‌آباد Hajiabad	والدین رقم سینتیک دیررس	رقم سینتیک دیررس
56 22 E	27 13 N	27	چاهستان Chahestan	والدین رقم سینتیک دیررس	Late maturity synthetic

$$CVP = \sqrt{\sigma^2_p / x} \quad (5)$$

$$H2 = \sigma^2_g / \sigma^2_p \quad (6)$$

در روابط بالا σ^2_g واریانس اشتباه آزمایشی، σ^2_p واریانس ژنوتیپی (۲)، σ^2_p واریانس فنوتیپی (۳)، h^2 وراثت‌پذیری عمومی، MS_g مجموع مربعات اشتباه آزمایشی، MS_g مجموع مربعات ژنوتیپ‌ها، r تعداد تکرار در آزمایش، CVG ضریب تغییرات ژنتیکی و CVP ضریب تغییرات فنوتیپی می‌باشد که براساس امید ریاضی منابع تغییرات محاسبه شد. به‌منظور گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها از نظر کلیه صفات، تجزیه خوشه‌ای انجام شد. این تجزیه به روش Ward به علت به‌کارگیری واریانس داده‌ها و با استفاده از ضریب فاصله اقلیدوسی انجام گردید. به منظور کاهش حجم داده‌ها و تعبیر و تفسیر بهتر آن‌ها تجزیه به مؤلفه‌های اصلی مورد استفاده قرار گرفت. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای Excel، SAS ver.9. 4 و Statgraphics ver.19 استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس برای تمامی صفات اندازه‌گیری شده نشان داد که ژنوتیپ‌ها با هم اختلاف معنی‌داری داشتند (جدول ۳). همچنین میانگین مربعات والدین در برابر ارقام سینتیک برای اغلب صفات معنی‌دار بود، که نشان از بروز هتروزیس معنی‌دار در صفات مورد مطالعه داشت (جدول ۳). مین و همکاران (Meena, Kakani, Anwer, & Panwar, 2010) با مطالعه تنوع ژنتیکی در رازیانه برای عملکرد و اجزای عملکرد، تنوع قابل‌ملاحظه‌ای را بین اکوتیپ‌های مورد بررسی گزارش کردند. نتایج صفاتی و همکاران

صفات مختلف مورفولوژیکی شامل تعداد گره، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر، تعداد چترک در چتر، وزن هزار دانه، وزن خشک بوته، وزن دانه در بوته و شاخص برداشت اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عملکرد دانه، در زمان رسیدگی کامل با رعایت اثر حاشیه عملکرد کل بوته‌های هر کرت برداشت و برحسب گرم در متر مربع گزارش شد. بعد از برداشت به‌منظور استخراج اسانس از دستگاه کلونجر به روش تقطیر آبی بذور آسیاب‌شده استفاده شد، مرحله اسانس‌گیری برای هر نمونه (۲۰ گرم) به مدت ۲ ساعت طول کشید (Akbari, Izadi Darbandi, Bahmani, & Ramshin, 2016). سپس اسانس‌های جمع‌آوری‌شده در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد در ظرف‌های مخصوص نگهداری شدند. پس از تعیین محتوی اسانس، عملکرد اسانس از حاصل ضرب عملکرد دانه و محتوی اسانس محاسبه شد.

آنالیزهای آماری: برآورد هتروزیس (۱) در ارقام سینتیک مورد مطالعه از طریق هتروزیس براساس میانگین والدین (MPH) مطابق رابطه (۱) محاسبه شد.

$$MPH = (\text{Syn-MP}) / \text{MP} * 100 \quad (1)$$

Syn: عملکرد رقم سینتیک، MP: میانگین عملکرد والدین می‌باشد.

پس از انجام تجزیه واریانس برآورد ضریب تغییرات فنوتیپی (۵)، ضریب تغییرات ژنتیکی (۴) و وراثت‌پذیری عمومی (۶) با استفاده از روابط (۲) تا (۶) برآورد شد (Farshadfar, 2005).

$$\sigma^2_g = \text{MSG} - \text{MSE} / r \quad (2)$$

$$\sigma^2_p = \sigma^2_g - \text{MSE} / r \quad (3)$$

$$CVG = \sqrt{\sigma^2_g / \bar{x}} \quad (4)$$

بوته (۱۲۶/۷۹ - ۱۸۲/۶۵ سانتی‌متر)، تعداد شاخه در بوته (۵/۳۵ - ۱۱/۲۸)، تعداد چتر در بوته (۴۱/۷۸ - ۱۱۲/۹۰)، تعداد چترک در هر چتر (۱۹/۶۹ - ۳۶/۸۰)، روز تا رسیدگی (۲۱۹/۹۴ - ۲۳۳/۷۹ روز)، وزن ۱۰۰۰ دانه (۲۹/۵۳ - ۵۸/۸۰ گرم) متغیر می‌باشند.

میزان هتروزیس برآوردشده در بین ارقام سنتتیک براساس میانگین والدین (جدول ۵) نشان داد که برای صفت عملکرد، هتروزیس از محدوده ۳۱/۲۵ تا ۳۹/۱۵ درصد متغیر بودند. کمترین بیشترین مقدار هتروزیس در رقم سینتتیک زودرس و رقم سینتتیک میان‌رس مشاهده گردید. عملکرد اسانس برای ارقام سینتتیک مختلف مقادیر متفاوت هتروزیس را نشان داد (جدول ۵) صفت عملکرد اسانس در ارقام سینتتیک مورد مطالعه به میزان ۳۳/۱۲ درصد نسبت به مقدار این صفت در میانگین والدین افزایش داشت. رقم سینتتیک دیررس با ۴۱/۳۲ درصد بیشترین افزایش در عملکرد اسانس را نسبت به میانگین والدین از خود نشان داد. برای صفت تعداد چتر در بوته هتروزیس نسبت به میانگین والدین برای کل ارقام سینتتیک ۲۲/۱۷ درصد مشاهده شد (جدول ۵). رقم سینتتیک دیررس بیشترین تعداد چتر در بوته را نسبت به میانگین والدین با مقدار ۴۴/۲۸ درصد دارا بود. برای صفت درصد اسانس مقادیر متفاوت هتروزیس در ارقام سینتتیک مشاهده شد (جدول ۵). متوسط هتروزیس برای این صفت نسبت به میانگین والدین ۰/۴۴ درصد بود رقم سینتتیک زودرس با ۳/۷۷ درصد افزایش بیشترین میزان هتروزیس را دارا بود و رقم سینتتیک میان‌رس با ۳/۹ درصد کاهش نسبت به میانگین والدین کمترین میزان هتروزیس را دارا بود. در صفت تعداد دانه در چتر این صفت در ارقام سینتتیک به میزان ۲۸/۰۶ در ارقام سینتتیک مورد مطالعه نسبت به میانگین والدین افزایش داشت. بیشترین میزان هتروزیس را رقم سینتتیک دیررس با ۴۷/۷۴ درصد نشان داد.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

به‌منظور گروه‌بندی صفات، تعیین میزان اهمیت و ارتباط هریک از آن‌ها در ایجاد تغییرات کل داده‌ها، همچنین تعیین اهمیت متغیرهایی که در گروه‌ها نقش داشتند، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد. نتایج این تجزیه بر اساس ۱۱ صفت مهم ارزیابی شد. با توجه به نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (جدول ۶) ملاحظه می‌شود که ۴ مؤلفه مقادیر ویژه بیشتر از یک دارند و در تشکیل ضرایب شرکت کرده‌اند. این مؤلفه در مجموع بیش از ۹۰ درصد از واریانس کل متغیرها را توجیه می‌نمایند.

(Safaei, Afiuni, & Zeinali, 2013) در ۱۲ اکوتیپ رازیانه نشان‌دهنده تنوع وسیع این صفات بود، همچنین کومار و همکاران (Kumar, Meena, Verma, Ameta, & Panwar, 2017) گزارش دادند که پارامترهای مورفولوژیکی و عملکرد در ژرم‌پلاسماهای رازیانه متنوع است. مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد (جدول ۴) که بیشترین عملکرد دانه متعلق به ارقام سینتتیک میان‌رس و سنتتیک دیررس به مقدار ۲۶۶/۶۸ و ۲۶۰/۵۹ گرم در متر مربع بود و کمترین عملکرد دانه متعلق به ژنوتیپ دیررس والدی چاهستان به مقدار ۱۲۳/۱۱ گرم در متر مربع بود. بالا یا پایین بودن عملکرد را می‌توان به ژنوتیپ و متغیر بودن اجزای عملکرد در آن‌ها و همچنین واکنش متفاوت نسبت به شرایط محیطی مرتبط دانست. بهمنی و همکاران (Bahmani et al., 2015) متوسط عملکرد دانه اکوتیپ‌های رازیانه ایرانی را از ۱۴۶ تا ۲۵۴ گرم در متر مربع متغیر گزارش کردند. ژنوتیپ‌های فزوه، مغان و رقم سینتتیک زودرس از درصد اسانس بالایی برخوردار بودند. کمترین درصد اسانس نیز در ژنوتیپ حاجی‌آباد ۱/۷ درصد به‌دست آمد. در تحقیق کاسگو و همکاران (Cosge, Kiralan, & Gurbuz, 2008) درصد اسانس در ۲۰ ژنوتیپ رازیانه از ۱/۳۰٪ تا ۵/۳۸ درصد متغیر گزارش شده است. از نظر عملکرد اسانس ارقام سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس و ژنوتیپ فزوه (۵/۰۲، ۴/۶۰ و ۴/۵۲) به‌ترتیب دارای بالاترین عملکرد اسانس بودند و کمترین میزان را ژنوتیپ چاهستان با عملکرد اسانس ۲/۵۲ داشت. خاماسی و همکاران (Khammassi & Loupassaki, 2018) در تحقیقی عملکرد اسانس ۱۶ توده رازیانه از کشور تونس را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که عملکرد اسانس بین ۱/۲ تا ۵/۰۶ متغیر می‌باشد. در بین ژنوتیپ‌ها ارقام سینتتیک دیررس، میان‌رس و ژنوتیپ حاجی‌آباد بیشترین تعداد چتر را داشتند، بالاترین تعداد دانه در چتر نیز در رقم سینتتیک میان‌رس مشاهده گردید. همچنین رقم سینتتیک میان‌رس با دارا بودن بیشترین میزان تعداد چترک در چتر و تعداد دانه در چتر زیاد، عملکرد بالاتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت. رقم سینتتیک زودرس با میانگین ۴۲/۰۷ گرم بیشترین و ژنوتیپ چاهستان با میانگین ۱۶/۶۴ گرم کمترین میزان وزن دانه در بوته را دارا بودند. کومار و همکاران (Kumar et al., 2017) گزارش دادند که پارامترهای مورفولوژیکی و عملکرد در ژرم‌پلاسماهای رازیانه متفاوت است به طوری که ارتفاع بوته بین ۱۶۰ - ۲۰۱/۸۰ سانتی‌متر، تعداد شاخه جانبی در محدوده ۶ - ۹/۴، تعداد چترها از ۲۸/۲ تا ۵۸/۴ و عملکرد دانه در بوته از ۲۲/۵ تا ۳۵/۶ گرم متغیر می‌باشد. همچنین سیت و همکاران (Seet, Pandey, Singh, & Pattnaik, 2020) تنوع ژنتیکی ۶۰ جمعیت رازیانه را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که روز تا ۵۰ درصد گلدهی (۹۲/۰۳ - ۱۱۱/۰۳ روز)، ارتفاع

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) و مقایسات مستقل صفات ژنوتیپ‌های رازیانه
Table 3- Summary of ANOVA (mean squares) for agro-morphological traits in fennel genotypes

منابع تغییرات SOV	درجه آزادی DF	تعداد چتر در umbel/plant	تعداد گره در Number of nodes/main brache	تعداد چتر اصلی No. of umbellets/main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی No. seed / main umbel	شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه Weight of Seed / plant	بیومس پوته Plant biomass	وزن هزار دانه 1000 seed weigh	محتوی اسانس Essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield	عملکرد دانه Seed Yield (g.m ⁻²)
تکرار Rep	2	39.39 ^{ns}	6.62 ^{**}	0.43 ^{ns}	115.72 ^{ns}	0.010	6.35 ^{ns}	285.93 ^{ns}	0.17 [*]	0.13 [*]	0.03 ^{ns}	361.21 ^{ns}
ژنوتیپ Genotype	11	958.34 ^{**}	2.08 [*]	83.24 ^{**}	27872.64 ^{**}	0.017	158.89 ^{**}	787.13 ^{**}	0.32 ^{**}	0.086 ^{**}	2.26 ^{**}	5992.58 ^{**}
والدین در برابر سینتیک زودرس Parents vs. Early maturity synthetic	1	2.73 ^{ns}	0.82 ^{ns}	0.50 ^{ns}	7564.50 ^{**}	0.00	765.32 ^{**}	2635.86 ^{**}	0.07 ^{ns}	0.01 ^{ns}	1.87 ^{**}	3513.46 ^{**}
والدین در برابر سینتیک میان‌رس Parents vs. Medium maturity synthetic	1	3024.60 ^{**}	5.00 ^{**}	8.82 ^{ns}	14593.80 ^{**}	0.00	84.14 ^{ns}	161.80 ^{ns}	0.55 ^{**}	0.01 ^{ns}	3.85 ^{**}	13512.60 ^{**}
والدین در برابر سینتیک دیررس Parents vs. Late maturity synthetic	1	800.00 ^{**}	1.21 ^{ns}	135.19 ^{**}	39762.00 ^{**}	0.01	74.91 ^{ns}	1962.30 ^{**}	0.36 [*]	0.00 ^{ns}	3.63 ^{**}	8244.99 ^{**}
خطا Error	20	104.16	0.37	2.34	958.64	0.004	20.77	180.51	0.04	0.032	0.09	132.40
میانگین Mean	-	87.64	9.85	21.23	393.68	0.46	20.88	56.08	3.42	1.97	3.65	185.51
ضریب تغییرات CV (%)	-	11.6	6.1	7.2	7.9	14.0	18.3	24.0	5.8	6.7	8.4	6.2

* و ** پدیده ژنوتیپ غیرمعمول دارد، معنی دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد
*، ** Significant at 0.05 and 0.01 P levels, respectively and ns = non-significant.

جدول ۴- مقایسه میانگین برای صفات مختلف در ژنوتیپ‌های رازیانه
Table 4- Means comparison of measured agro-morphological traits in the studied fennel genotypes

ژنوتیپ Genotype	تعداد			شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه در بوته Weight of Seed / plant	بیومس بوته Plant biomass (gr)	وزن هزار دانه 1000 seed Weight (gr)	محتوی اسانس essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (cm ³ .m ⁻²)	عملکرد دانه در متر مربع Seed Yield (g.m ⁻²)
	تعداد چتر در شاخه اصلی Number of nodes/m main brache	تعداد چتر اصلی No. umbelle ts /main umbel	تعداد چتر در چتر اصلی No. seed / main umbel							
فسا Fasa	66.67c	19.22b	316.00e	0.57a	25.63bc	44.79c	3.35cd	1.95abc	2.69c	134.62e
مغان Moghan	88.22b	26.67a	446.83bc	0.46abcd	25.33bc	54.30bc	3.44abcd	2.04abc	3.65 b	179.01d
مشکین شهر Meshkinshahr	69.33bc	21.33b	421.17bc	0.46abcd	25.60bc	55.85bc	3.35bcd	1.70c	2.88c	169.98d
فوزیه Fozveh	80.22bc	26.67a	458.67ab	0.48abc	21.81bcd	55.85c	3.14d	2.08a	4.52a	217.21bc
حاجی آباد Hajjiabad	106.78a	13.78c	441.33bc	0.31de	26.16bc	89.54a	3.72ab	1.70c	3.98b	209.48c
هشتگرد Hashgerd	77.00gc	19.11b	353.00ed	0.49abc	19.39cd	40.28c	3.59abc	1.95abc	2.69c	127.83f
Early maturity synthetic رقم سیستیک زودرس	77.00bc	18.67b	396.00cd	0.54ab	42.07a	78.84ab	3.66abc	2.01abc	3.64b	161.58d
Medium maturity synthetic رقم سیستیک میان‌رس	115.67a	27.33a	510.08a	0.48ab	30.46b	62.32bc	3.78a	1.76bc	5.02a	266.68a
Late maturity synthetic رقم سیستیک دیررس	117.00a	21.33b	436.33bc	0.41cde	26.28bc	37.17a	3.60abc	1.80bc	4.60a	260.59 b
خاش Khash	82.89bc	27.00a	401.75bcd	0.41cde	25.40bc	60.82bc	3.30cd	1.90abc	3.93b	199.53c
چاهستان Chahestan	87.22b	10.33bcd	149.33f	0.35de	16.64d	47.44c	2.64e	2.0ab	2.53c	123.11e

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون تفاوت معنی داری با هم ندارند.

In each character, landraces with one common letter at least are not significantly different at the 5% level.

جدول ۵- میانگین و میزان هتروزیس صفات مختلف در ژنوتیپهای رازیانه

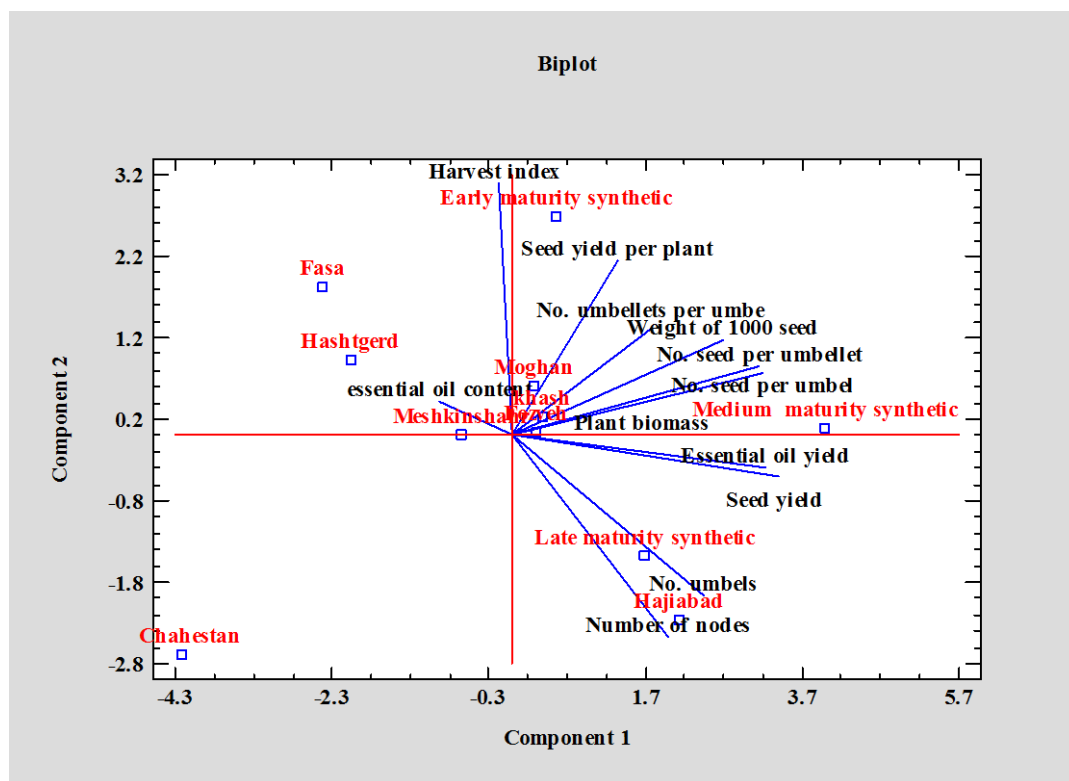
Table 5- Mean and percentage of heterosis of different traits in fennel genotypes

ژنوتیپ	تعداد چتر در بوته No. umbel/plant	تعداد گره در شاخه اصلی Number of nodes/main brache	تعداد چتر اصلی No. umbels/main umbel	تعداد دانه اصلی No. seed / main umbel	شاخص برداشت Harvest index	وزن دانه در بوته Weight of Seed/plant	بیوماس بوته Plant biomass (g)	وزن هزار دانه 1000 seed weight(g)	محتوی اسانس essential oil content (%)	عملکرد اسانس Essential oil yield (cm ³ .m ⁻²)	عملکرد دانه در متر مربع Seed Yield (g.m ⁻²)
ژودرس Early maturity synthetic Parents والدین	73.00	8.33	18.67	396.00	0.54	42.07	78.84	3.66	2.07	3.64	176.02
heterosis هتروزیس	1.62	8.30	-2.61	18.39	2.61	86.91	85.35	5.57	3.77	36.21	31.25
ژودرس Medium maturity synthetic Parents والدین	115.67	11.44	27.33	510.08	0.49	30.46	62.32	3.78	1.88	5.02	266.68
heterosis هتروزیس	80.17	10.00	25.42	432.10	0.46	24.54	54.11	3.31	1.95	3.75	191.64
ژودرس Late maturity synthetic Parents والدین	44.28	14.44	7.54	18.05	6.47	24.13	15.17	14.42	-3.29	33.84	39.15
heterosis هتروزیس	117.00	10.56	21.33	436.33	0.41	15.28	37.17	3.60	2.00	4.60	230.50
ژودرس Late maturity synthetic Parents والدین	97.00	11.33	13.11	295.33	0.33	21.39	68.49	3.18	1.98	3.26	166.29
heterosis هتروزیس	20.62	-6.86	62.71	47.74	25.84	-28.59	-45.73	13.27	0.84	41.32	38.61

جدول ۶- بار مولفه های صفات ارزیابی شده به همراه تجمعی مولفه های اصلی در ژنوتیپ های رازیانه

Table 6- Component loading of the studied traits together with a cumulative variance of the principal components of the fennel genotypes

Components	مولفه ها	1	2	3	4
Eigen values	مقادیر ویژه	5.24	2.64	1.83	1.12
Cumulative variance (%)	واریانس تجمعی	43.68	65.66	80.95	90.32
Traits	صفات	Eigen vector بردار ویژه			
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	<u>0.39</u>	0.14	0.11	-0.21
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	<u>0.30</u>	<u>-0.36</u>	0.11	0.24
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	0.24	<u>-0.46</u>	-0.11	-0.21
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	0.21	0.24	<u>0.47</u>	-0.24
essential oil content (%)	محتوی اسانس (%)	-0.11	0.08	0.24	<u>0.82</u>
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	<u>0.33</u>	0.22	-0.16	0.04
Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه در متر مربع	<u>0.41</u>	-0.09	0.17	-0.02
Essential oil yield (cm ³ .m ⁻²)	عملکرد اسانس	<u>0.39</u>	-0.07	0.24	0.16
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	0.16	<u>0.40</u>	<u>-0.41</u>	0.08
Plant biomass (g)	بیومس بوته	0.20	0.00	-0.60	0.10
Harvest index	شاخص برداشت	-0.02	<u>0.57</u>	0.17	-0.10


 شکل ۱- نمودار دوبعدی براساس دو مولفه اول و دوم تجزیه به مولفه های اصلی روی صفات مورد مطالعه جهت گروه بندی ژنوتیپ های رازیانه
 Figure 1- Bi-plot based on the first and second components of principal components on the studied traits to group fennel genotypes

سهم هریک از مولفه‌ها در توجیه تغییرات به‌ترتیب ۴۳/۶۸، ۲۱/۹۸، ۱۵/۲۸ و ۹/۳۷ درصد بود. در مطالعه صفائی و همکاران (Safaei, Zainali, & Afioni, 2011) در بررسی تنوع ژنتیکی ژنوتیپ‌های رازیانه، با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی گزارش کردند که چهار مؤلفه اول در تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۸۵ درصد از کل واریانس متغیرها را توجیه کردند. در مؤلفه اول عملکرد دانه، عملکرد اسانس و صفات وابسته به آن از ضرایب مثبت و بالا برخوردار بودند. در مؤلفه دوم شاخص برداشت و وزن دانه در بوته دارای ضرایب مثبت و بالایی بودند. در مؤلفه سوم تعداد چترک در چتر دارای ضریب مثبت و بالایی بود و در عامل چهارم محتوی اسانس بالاترین ضریب مثبت را داشت. به‌منظور تعیین پراکنش ژنوتیپ‌ها از نمودار دویبعی حاصل از مولفه‌های اصلی به همراه صفات مورد مطالعه استفاده شد (شکل ۱). نتایج نشان داد که ارقام سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس به همراه ژنوتیپ حاجی‌آباد در یک گروه قرار گرفتند این ژنوتیپ‌ها از نظر صفات مرتبط با عملکرد نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برتر بودند.

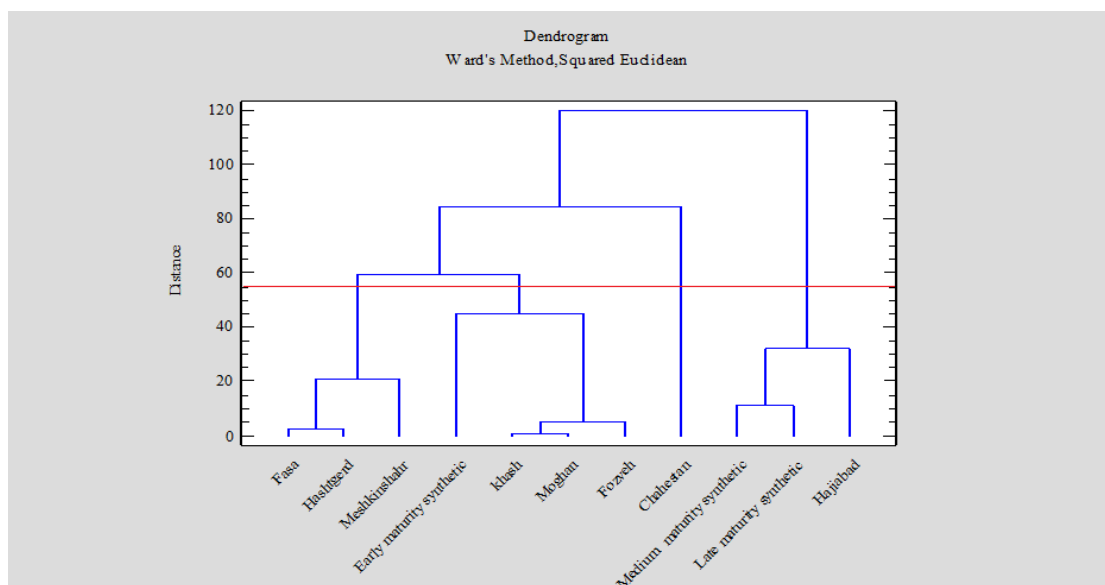
تجزیه خوشه‌ای

جدول ۷- میانگین و درصد انحراف از میانگین کل هر گروه از ژنوتیپ‌های رازیانه در تجزیه خوشه‌ای

Table 7- Mean and percentage of deviation from the total mean of each groups from fennel genotypes

Table 7. Mean and percentage of deviation from the total mean of each groups from Rhesus genotypes									
خوشه‌ها	Clusters	خوشه ۱		خوشه ۲		خوشه ۳		خوشه ۴	
		Cluster1		Cluster 2		Cluster 3		Cluster 4	
			انحراف از میانگین		انحراف از میانگین		انحراف از میانگین		انحراف از میانگین
Traits	صفات	میانگین Mean	Deviation from the mean	میانگین Mean	Deviation from the mean	میانگین Mean	Deviation from the mean	میانگین Mean	Deviation from the mean
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	462.58	17.50	149.33	-62.07	425.81	8.16	363.39	-7.69
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	113.15	29.11	87.22	-0.47	81.08	-7.48	71.00	-18.98
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	11.44	16.15	10.33	4.87	9.42	-4.43	8.69	-11.86
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	20.81	-1.97	12.44	-41.39	24.75	16.57	19.89	-6.33
essential oil content (%)	محتوی اسانس (%)	1.93	-2.24	2.06	4.52	2.04	3.46	1.89	-3.88
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	3.70	8.36	2.64	-22.80	3.39	-0.89	3.43	0.43
Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه در متر مربع	235.55	26.98	123.11	-33.64	193.23	4.16	145.96	-21.32
Essential oil yield (cm ³ .m ⁻²)	عملکرد اسانس	4.53	24.35	2.53	-30.50	3.94	8.02	2.74	-24.88
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	23.96	-3.72	16.63	-33.17	28.65	15.14	23.54	-5.41
Plant biomass (g)	بیومس بوته	63.01	12.36	47.44	-15.39	59.86	6.75	46.97	-16.23
Harvest index	شاخص برداشت	40.51	-11.23	34.95	-23.42	48.29	5.81	50.79	11.29

به‌منظور اندازه‌گیری و تعیین فواصل ژنتیکی ارقام سینتتیک و والدین مورد بررسی و گروه‌بندی آن‌ها تجزیه خوشه‌ای (کلاستر) انجام شد با برش دندروگرام ارقام سینتتیک و والدین در چهار گروه قرار گرفتند (شکل ۲)، همچنین مقصودی و همکاران (Maghsoudi et al., 2011) بر اساس تجزیه خوشه‌ای، ۱۵ توده رازیانه بررسی شده را در ۴ دسته قرار دادند و اختلاف معنی‌داری را به‌ویژه در عملکرد بذر، زمان رسیدگی و ارتفاع گیاه در بین خوشه‌ها گزارش کردند. مشخصات هر یک از خوشه‌ها در جدول ۷ آمده است؛ خوشه اول شامل ارقام سینتتیک میان‌رس، سینتتیک دیررس و ژنوتیپ حاجی‌آباد بوده که دارای بالاترین عملکرد دانه (بیش از ۲۳۵ گرم در متر مربع)، تعداد چتر در بوته و تعداد دانه در چتر بوده‌اند. گروه دوم نیز شامل ژنوتیپ چاهستان بود که دارای کمترین مقدار عملکرد دانه و کمترین میزان اجزای عملکرد بود. همچنین رقم سینتتیک زودرس به همراه ژنوتیپ‌های مغان، خاش و فزوه در گروه سوم که بزرگ‌ترین خوشه را تشکیل دادند از نظر پارامترهای عملکرد از گروه اول کمتر بودند. گروه چهارم هم شامل ژنوتیپ مشکین‌شهر، فسا و هشتگرد بود.



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ۱۱ ژنوتیپ رازیانه بر اساس صفات مورد مطالعه
Figure 2- The dendrogram of cluster Analysis of 11 fennel genotypes basis on studied traits

برآورد توارث پذیری عمومی

در بین صفات مورد مطالعه صفت وزن خشک بوته با مقدار $39/15$ و $32/50$ و صفت عملکرد دانه در بوته با مقدار $34/88$ و $25/35$ و به ترتیب دارای بیشترین مقادیر ضریب تنوع فنوتیپی و ژنتیکی در مقایسه با سایر صفات مورد مطالعه بودند (جدول ۸). پتال و همکاران (Patel, Patel, & Patel, 2008) ۳۶ ژنوتیپ رازیانه را براساس ۱۵ صفت مورد ارزیابی تنوع قرار دادند که تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی بالایی را برای روز تا 50% گلدهی، روز تا 50% رسیدگی، ارتفاع گیاه، ارتفاع گیاه تا چتر اصلی، تعداد کل ساقه در گیاه، تعداد دانه در چتر اصلی و تعداد دانه در گیاه گزارش کردند. یاداو و همکاران (Yadav, Pandey, & Yadav, 2013) با مطالعه تنوع ژنتیکی در رازیانه نتیجه گرفتند که بهبود صفاتی مثل ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر اصلی، تعداد روز تا 50% گلدهی و وزن دانه در چتر اصلی در بهبود مستقیم و غیرمستقیم عملکرد دانه می‌تواند مؤثر باشد. در تمامی صفات مورد بررسی ضریب تغییرات فنوتیپی از ضریب تغییرات ژنتیکی بیشتر بود ولی در بسیاری از حالات این دو تفاوت کمی داشتند، که نشان‌دهنده تأثیر عوامل محیطی بر بیان صفات بوده است. برآورد توارث‌پذیری عمومی در دامنه 36 تا $93/65$ به ترتیب برای صفت درصد اسانس و عملکرد دانه قرار داشت. اگر وراثت‌پذیری یک صفت بالا باشد (بیش از 60%)، انتخاب برای چنین صفتی باید نسبتاً آسان باشد، که این به دلیل نزدیک بودن میزان تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی و سهم نسبتاً کمتر محیط در فنوتیپ است، اما برای صفتی با وراثت‌پذیری پایین، انتخاب ممکن است به‌طور قابل توجهی دشوار یا عملاً غیرعملی باشد. بیشترین وراثت‌پذیری برای

صفات تعداد دانه در چتر اصلی ($90/35$) تعداد چتر در بوته ($73/22$)، تعداد چترک در چتر ($92/02$)، تعداد گره ($84/92$)، عملکرد اسانس ($88/33$) و عملکرد دانه ($93/65$) بود. در حالی که کمترین میزان وراثت‌پذیری مربوط به صفت محتوی اسانس (36) بود. با توجه به وراثت‌پذیری بالا در صفاتی مانند تعداد چتر در بوته، تعداد چترک در چتر اصلی و تعداد دانه در چتر و نظر به این که اجزای عملکرد کمتر از خود عملکرد تحت تأثیر عوامل محیطی می‌باشند، می‌توان نتیجه گرفت که تنوع مشاهده شده بیشتر متأثر از عوامل ژنتیکی ژنوتیپ‌ها می‌باشد و این نشان‌دهنده تأثیر کم عوامل محیطی روی صفات یادشده است. آگنیهورتی و همکاران (Agnihotri, Dashora, & Sharma, 1997) و راجپوت و همکاران (Rajput et al., 2004) بالاترین وراثت‌پذیری را برای تعداد چتر در گیاه و عملکرد دانه در رازیانه گزارش کردند. وراثت‌پذیری بالا برای صفات تعداد دانه در بوته و عملکرد بیولوژیک توسط آبهای و ساستری (Abhay & Sastry, 2011) و روپش یوگی و همکاران (Roopesh Yogi, Meena, Kakani, & Solanki, 2013) گزارش شد. در تجزیه مرکب ایزدی در بندی و همکاران (Izadi-Darbandi, Bahmani, Ramshini, & Moradia, 2013) با برآورد صفات فیزیولوژیک و درصد اسانس در رازیانه‌های ایرانی، وراثت‌پذیری عمومی را در طول دو سال برای درصد اسانس و عملکرد دانه به ترتیب 46% و 63% برآورد کردند. در حقیقت، توارث‌پذیری نسبتاً بالای عملکرد دانه نسبت به دیگر صفات بیان می‌کند که اثرات محیطی نسبت کمتری از تنوع فنوتیپی کل را در بر می‌گیرد. لذا در نسل‌های در حال تفکیک، انتخاب ژنوتیپ‌های برتر براساس عملکرد دانه می‌تواند مؤثر باشد.

جدول ۸- برآورد پارامترهای ژنتیکی برای صفات کمی در ژنوتیپ‌های رازیانه

Table 8- Estimate of genetic parameters for quantitative traits of the fennel genotypes

Traits	صفات	واریانس ژنتیکی Genotype variance	واریانس فنوتیپی Phenotype variance	ضریب تغییرات ژنتیکی Genotypic coefficient of variation	ضریب تغییرات فنوتیپی Phenotypic coefficient of variance	وراثت پذیری عمومی Heritability, broad-Sense
No. seed/ main umbel	تعداد دانه در چتر اصلی	8971.33	9929.97	24.06	25.31	90.35
No. umbel/plant	تعداد چتر در بوته	284.73	388.89	19.25	22.50	73.22
Number of nodes/main branch	تعداد گره در شاخه اصلی	2.08	2.45	14.65	15.90	84.92
No. umbellets/ main umbel	تعداد چترک در چتر اصلی	26.97	29.31	24.46	25.50	92.02
essential oil content (%)	محتوی اسانس	0.02	0.05	6.81	11.35	36.00
Weight of 1000 seed (g)	وزن هزار دانه	0.09	0.13	8.93	10.68	70.00
Seed yield (g.m ⁻²)	عملکرد دانه در متر مربع	1953.39	2085.79	23.82	24.62	93.65
Essential oil yield (cm ³ .m ⁻²)	عملکرد اسانس	0.72	0.81	23.30	24.71	88.93
Weight of Seed / plant	وزن دانه در بوته	202.21	382.72	25.36	34.88	52.83
Plant biomass (g)	بیومس بوته	46.04	66.81	32.50	39.15	68.91
Harvest index	شاخص برداشت	0.00	0.01	14.31	19.85	52.00

نتیجه گیری

یکی از اهداف راهبردی در برنامه‌های به‌نژادی معرفی ژنوتیپ‌هایی است که از عملکرد بالا و پایداری عملکرد برخوردار باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مطلوب و مفیدی در ارقام سینتیک رازیانه قابل بهره‌برداری است. از سوی دیگر، گسترش پایه ژنتیکی منابع به‌منظور به حداقل رساندن خطر فرسایش ژنتیکی ضروری است، همچنین اعتقاد بر این است که استفاده از مواد متنوع ژنتیکی متضمن افزایش توان تولید و پایداری عملکرد است (Rajaram, 2000). تفاوت معنی‌دار بین والدین و ارقام سینتیک برای صفات مورد مطالعه بیانگر تنوع مناسب برای انتخاب و یا بهره‌برداری از ایجاد ارقام سینتیک در ژنوتیپ‌های مورد مطالعه بوده است. علاوه بر این، میانگین مربعات والدین در برابر ارقام سینتیک برای اغلب صفات معنی‌دار بود که مبین بروز هتروزیس در این صفات بوده است. نتایج حاصله نشان داد که ارقام سینتیک ایجاد شده، نسبت به ژنوتیپ‌های والدی خود از لحاظ عملکرد دانه و عملکرد اسانس برتری داشتند همچنین هتروزیس اکثر

صفات ارقام سینتیک افزایشی و مثبت بوده است. بالاترین درصد هتروزیس نسبت به والدین برای صفات عملکرد دانه، عملکرد اسانس و تعداد چتر در بوته بود. صفات مربوط به اجزای عملکرد دارای وراثت‌پذیری بالاتری نسبت به سایر صفات بودند. تنوع زیادی که در اثر تلاقی چندین جزء با قابلیت ترکیبی بالا در ارقام سینتیک به‌وجود می‌آیند به آن‌ها در مقایسه با رقم‌های معمولی انعطاف‌پذیری و قابلیت انطباق زیادی را می‌دهند (Honarnejad, 1993) که باعث عملکرد بهتر این ارقام نسبت به والدین شان در شرایط محیطی متغیر می‌شود. از آنجایی که یکی از اهداف مهم به‌نژادگر افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد طی بررسی ارقام سینتیک مورد مطالعه در این آزمایش مشخص گردید که ارقام سینتیک دارای عملکرد و هتروزیس مطلوبی بوده و از نظر ویژگی‌های زراعی همچون تعداد چتر و تعداد دانه در چتر (در مقایسه با والدین مربوطه) از میزان بالایی برخوردارند. به‌عنوان نتیجه باید گفت که روش اصلاحی ایجاد ارقام سینتیک در گیاه رازیانه موفقیت‌آمیز می‌باشد، می‌توان انتظار داشت که این ارقام سینتیک بتوانند پس از ثبت به‌عنوان رقم تجاری، در بازار گیاهان دارویی معرفی و گسترش یابند.

References

1. Aastveit, A. H., & Aastveit, K. (1990). Theory and application of open-pollination and polycross in forage grass breeding. *Theoretical and Applied Genetics*, 79, 618-624.

2. Abhay, D. & Sastry, E. V. D. (2011). Variability, character association and path coefficient analysis in fennel. *Indian Journal of Horticulture*, 68(3), 351-356.
3. Adhikari, A., Ibrahim, A. M. H., Rudd, J. C., Baenziger, P. S., & Sarazin, J. B. (2020). Estimation of heterosis and combining abilities of U.S. winter wheat germplasm for hybrid development in Texas. *Crop Science*, 60(1), 788-803. <https://doi.org/10.1002/csc2.20020>
4. Agnihotri, P., Dashora, S. L., & Sharma, R. K. (1997). Variability, correlation and path analysis in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices Aromatic Crops*, 6, 51-54.
5. Akbari, A., Izadi Darbandi, A., Bahmani, K., & Ramshin, H. A. (2016). Relationships between seed yield and plant characteristics in synthetic cultivars and elite ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(4), 301-314. (in Persian).
6. Akbari, A., Izadi Darbandi, A., Bahmani, K., & Ramshini, H. A. (2015). Evaluation of drought tolerance in synthetic varieties and superior ecotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 17(3), 193-204. (in Persian).
7. Amato, G., Stringia, L., & Glamal, D. (1997). Evaluation of progenies of sulla (*Hedysarum Coronarium* L.) derive from Sicilian landraces. *Rivista- di- Agronomia*, 31, 166-769.
8. Arzani, A. (2008). Breeding Field Crops. *Isfahan University of Technology Publication*. Isfahan, Iran. 660 pp.
9. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., & Sadat Noori, S. A. (2014). Evaluation of essential oil content and components in some Iranian fennel ecotypes. *Journal of Crop Improvement*, 15(4), 13-24. (in Persian).
10. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., & Akbari, A. (2016). Development of drought tolerant synthetic cultivars of fennel and their assessment under normal and drought conditions at stage after flowering. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*, 24(1), 29-41. (in Persian).
11. Bahmani, K., Izadi Darbandi, A., Ramshini, H. A., Moradi, N., & Akbari, A. (2015). Agromorphological and phytochemical diversity of various Iranian fennel landraces. *Industrial Crops and Products*, 77, 282-294. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.08.059>
12. Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Jafari, A. A., Sadat Noori, S. A., & Farajpour, M. (2012). Assessment of genetic diversity in iranian fennels using ISSR markers. *Journal of Agricultural Science*, 4, 79-84. <https://doi.org/10.5539/jas.v4n9p79>
13. Bahmani, K., Izadi-Darbandi, A., Sadat Noori, S. A., & Jaari, A. A. (2013). Assessment of the genetic diversity in Iranian fennels by RAPD markers , *Journal of Herbs Spices & Medicinal Plants*, 19(3), <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1103-7>
14. Blum, A. (2013) Heterosis, stress, and the environment: a possible road map towards the general improvement of crop yield. *Journal of Experimental Botany*, 64(16), 4829-4837. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert289>
15. Canter, P. H., Thomas, H., & Ernst, E. (2005). Bringing medicinal plants into cultivation: opportunities and challenges for biotechnology. *Trends in Biotechnology*, 23(4), 180-185. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.02.002>
16. Cosge, B., Kiralan, M., & Gurbuz, B. (2008). Characteristics of fatty acids and essential oil from sweet fennel (*Foeniculum vulgare* Mill. var. dulce) and bitter fennel fruits (*F. vulgare* Mill. var. vulgare) growing in Turkey. *Natural Product Research*, 22, 1011-1016. <https://doi.org/10.1080/14786410801980675>
17. Dashora, A., Sastry, E. V. D., Singh, D., & Nagda, A. K. (2003). Combining ability analysis in varietal crosses of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Indian Journal of Genetics and Plant Breeding*, 63, 89-90.
18. FAO, 2012. stat3.fao.org/faostat-gateway/go/to/download/P/PM/E
19. Farshadfar, A. (2005). *The Application of Quantitative Genetics in Plant Breeding*. Kermanshah Razi University Press, Kermanshah, Iran
20. Farsi, M., & Baqheri, A. (2006). *Principles of Plant Breeding*. Publication of Jahad Daneshgahi of Mashhad. Third edition: 116 p. (in Persian).
21. Farzaneh, A., Ebadi, M. T., Nemati, S. H., & Arouiee, H. (2011). Evaluation of germination factors of two improved cultivars and one Iranian landrace of cornflower (*Centaurea cyanus* L.) under salt stress conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(1), 161-172. (in Persian).
22. Fu, D., Xiao, M., Hayward, A., Fu, Y., Liu, G., Jiang, G., & Zhang, H. (2014). Utilization of crop heterosis: a review. *Euphytica*, 197, 161-173. <https://doi.org/10.1007/s10681-014-1103-7>
23. Hanson, A. A. (1988). *Alfaalfa and Alfaalfa improvement*. Academic press. pp: 784.
24. Honarnejad, R. (1993). *Principles of Plant Breeding*. Publication of University of Gilan, 275 p. (in Persian).
25. Izadi-Darbandi, A., Bahmani, K., Ramshini, H. A., & Moradia, N. (2013). Heritability estimates of agronomic traits and essential oil content in Iranian fennels. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(6), 1275-1283.
26. Khammassi, M., & Loupassaki, S. (2018). Variation in essential oil composition and biological activities of *Foeniculum vulgare* Mill. populations growing widely in Tunisia. *Wiley Online Libr*, 42. <https://doi.org/10.1111/jfbc.12532>
27. Khorshidi, J., Fazel Mirahmadi, S., & Fakhr Tabatabaei, M. (2010). Oil content and yield of *Foeniculum vulgare*

- Mill. cv. Soroksary seeds as affected by different plant cultivation densities. *Journal of American Science*, 6, 1098-1100.
28. Kumar, R., Meena, R. S., Verma, A. K., Ameta, H., & Panwar, A. (2017). Analysis of genetic variability and correlation in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) germplasm. *Agricultural Research and Technology*, 3(4), 125-129. <https://doi.org/10.19080/ARTOAJ.2017.03.555616>
 29. Longin, C. F. H., Muhleisen, J., Maurer, H. P., Zhang, H., Gowda, M., & Reif J. C. (2012). Hybrid breeding in autogamous cereals. *Theoretical and Applied Genetics*, 125(6), 1087-1096. <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1967-7>
 30. Lozano, G. A. (1998). *Parasitic stress and selfmedication in wild animals*. p. 291-317. In A. L. Page et al. (ed.) *Advances in the Study of Behavior*. Part 27. 1st. London.
 31. Maghsudi Kelardashti, H., Rahimmalek, M., Sabzalian, M. R., & Talebi, M. (2014). An assessment of morphological genetic variations and heritability of Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions. *Taxonomy and Biosystematics*, 6(18), 77-86.
 32. Meena, R., Kakani, R., Anwer, M., & Panwar, A. (2010). Variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 80(8), 710-712.
 33. Munaro, E. M., Eyhe'rabide, G. H., D'Andrea, K. E., Cirilo, A. G., & Otegui, M. E. (2011). Heterosis and environment interaction in maize: what drives heterosis for grain yield? *Field Crops Research*, 124(3), 441-449.
 34. Nemat zadeh, G., & Kiani, G. (2005). *Plant Breeding*. Publication of University of Mazandaran.1, 456p. (in Persian).
 35. Nobahar, A., Mostafavi Rad, M., & Ghazi Pirkouhi, M. (2014). Effect of planting pattern and plant density on quantitative and qualitative yield in two basil (*Ocimum basilicum* L.) medicinal plants. *Journal of Crop Production*, 7(1), 63-77. (in Persian).
 36. Patel, D. G., Patel, P. S., & Patel, I. D. (2008). Studies on variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 17, 29-32.
 37. Petkova, D., & Mirchev, M. (1994). Use of polycross method in developing cv.Prista 3 alfalfa. *Genetics and Breeding*, 27, 118-122.
 38. Rahmati, M., Azizi, M., Ebadi, M. T., & Hasanzadeh Khayyat, M. (2010). Study on the effects of different drying methods on weight loss rate, essential oil and chamazolene contents of chamomile (*Matricaria recutita* cv. Germania (diploid)) flowers. *Journal of Horticulture Science*, 24(1), 29-37. (in Persian).
 39. Rajaram, S. (2000). International wheat breeding: past and present achievements and future directions. *Special Report of CIMMYT*, Mexico, DF. Mexico
 40. Roopesh Yogi, R. S., Meena, R. K., Kakani, A. P., & Solanki, R. K. (2013). Variability of some morphological characters in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *International Journal of Seed Spices*, 3(1), 41-43
 41. Safaei, L., Afiuni, D., & Zeinali, H. (2013). Correlation relationships and path coefficient analysis between essential oil and essential oil components in 12 genotypes of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 59, 187-200.
 42. Safaei, L., Zainali, H., & Afioni, D. (2011). Study of genetic variability of fennel genotypes using agronomic traits. *Iranian Journal of Rangelands and Forest plant Breeding and Genetic Research*, 19(1), 167-180. (in Persian).
 43. Seet, J., Pandey, V. P., Singh, D., & Pattnaik, M. (2020). Genetic variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* L.). *The Pharma Innovation Journal*, 9(4), 160-164.
 44. Sheidai, M., Kalhor Home, N., & Poorneydanei, A. (2007). Cytogenetic study of some populations of *Foeniculum vulgare* (Umbelliferae) in Iran. *Caryologia*, 60, 257-261. <https://doi.org/10.1080/00087114.2007.10797945>
 45. Singh, G., Maurya, S., Lampasona, M. P., & Catalan, C. (2006). Chemical constituents, antifungal and antioxidative potential of *Foeniculum vulgare* volatile oil and its acetone extract. *Food Control*, 17, 745-752. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2005.03.010>
 46. Veigas, M. (2007). Aromas e sabores de Cuba. E' vora: Ca'mara Municipal de Cuba. Wijendran, V., & Hayes, K. C. (2004). Dietary n-6 and n-3 fatty acid balance and cardiovascular health. *Annual Review of Nutrition*, 24, 597-615.
 47. Yadav, P. S., Pandey, V. P., & Yadav, Y. P. (2013). Variability studies in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 22(2), 203-208.
 48. Zhang, J., Wu, M., Yu, J., Li, X., & Pei, W. (2016). Breeding Potential of Introgression Lines Developed from Interspecific Crossing between Upland Cotton (*Gossypium hirsutum*) and *Gossypium barbadense*: Heterosis, Combining Ability and Genetic effects. *PLoS ONE*, 11(1), 1-17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143646>



Agro-ecological Zoning of Iran for Plant Production

E. Paravar¹, A. Soltani^{2*}, E. Zeinali³, H. Kazemi³, A. Dadrasi⁴

Received: 28-08-2022

Revised: 26-10-2022

Accepted: 21-12-2022

How to cite this article:

Paravar, E., Soltani, A., Zeinali, E., Kazemi, H., & Dadrasi, A. (2023). Agro-ecological Zoning of Iran for Plant Production. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 189-202. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78336.1195>

Introduction

For optimal production and maintaining its stability, environmental and weather conditions must be determined from the perspective of capabilities and limitations. For this purpose, it requires reliable regional data such as planting date, ripening time, plant density, soil, and meteorological information, which are generally not available for most regions. Obtaining this information is very time-consuming and expensive in many areas and is often simply not possible. Therefore, zoning can facilitate access to this information on a large scale. In other words, if the regions that are similar in terms of climate, soil, and management conditions are identified, the time and cost needed to collect information on a wide scale will be minimal.

Materials and Methods

The present study was conducted for the agro-ecological zoning of the country. In this research, the existing climatic zones of the country were analyzed based on GYGA, and the existing soil zones of the country were analyzed based on the HC27 method.

Results and Discussion

The combination of climatic zones and soil, 198 polygons or agro-ecological zones were obtained for all agricultural lands of the country. The zones in which more than 1% of the country's agricultural lands are located include 28 zones, and in total, about 80% of the agricultural lands are located in these zones. The highest frequency percentage is related to agro-ecological zone 4103-5 with a frequency of 85.11%. Also, the frequency of agro-ecological codes (climate code 5003 with soil code 5) 5003-5 (28.7%) and (climate code 4003 with soil code 5) 5-4003 (93.4%) were placed next. Zoning can facilitate the selection of points for plant studies and other planning.

Conclusion

Each of these areas has a different climate and soil code, which indicates the specific production conditions of that area. From these agro-ecological zones, to improve studies and make agricultural management decisions, it is possible to prepare and complete the climate and soil information bank in each zone for use in simulation models of plant production, to facilitate the collection of information (such as management information, cultivar information plant) and the implementation of plant production simulation model to be used in studies related to the food security of the country. The current research was conducted to determine the main agro-ecological areas of agricultural production in the country so that simulation studies and other studies can be carried out in the main production location in each province. Therefore, it is necessary to know where the main production centers of each province were, what kind of climate and soil it has, and which meteorological station is the indicator of that region. In this research, the climate zones of irrigated, rainfed, garden, and pasture lands of the country were

1- PhD Student of Agroecology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2- Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3- Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4- PhD graduate of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78336.1195>

determined by using the Giga climate map. Based on this, more than 50% of water lands are located in climates 5003, 4003, 5002, 8003, and 6003, respectively. Also, the rainy lands are located in 4103, 4003, and 3103 climates respectively. Also, by using the HC27 soil map, the soil areas in the irrigated, rainfed, garden, and pasture lands of the country were determined. Therefore, more than 50% of water lands in soil codes 5 and 17; Rainy lands in Kodkhak 5 and 12; Garden lands were located in soil codes 5 and 12 and pastures were located in soil codes 5 and 17. By combining climatic zones and soil zones, agricultural-ecological zoning of the country was done, and finally, 198 zones were obtained. The zones in which more than 1% of the country's agricultural lands are located include 28 zones, in total, about 80% of the agricultural lands are located in these zones (Figure 7). The highest frequency percentage (11.85%) was related to the area with agro-ecological code 4103-5, which covered 1789965.8 hectares of agricultural land. Also, after that, the agro-ecological code 5003-5 has the highest frequency (7.28 percent), which covers 1100599.25 hectares of agricultural land in the country. In this research, after the agro-ecological zoning of the country's agricultural lands, several 198 zones were obtained, and after calculating the area covered by each zone, finally, 28 agro-ecological zones have an abundance percentage of more than 1%, and together they are about 80% (11813518.66 hectares). They cover the country's agricultural lands. These climate zones obtained can be used for food security studies and calculating and determining the production capacity of each region. On the other hand, considering that in agricultural studies, extensive and comprehensive information about climate and soil is needed for each region and access to this information is usually expensive and time-consuming, the use of agro-ecological zones resulting from this research can be necessary.

Keywords: Climate, Cultivated area, Distribution map, Production center, Soil map

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۸۹-۲۰۲

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک کشور ایران برای تولید گیاهی

عفت پرآور^۱، افشین سلطانی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳، حسین کاظمی^۴، امیر دادرسی^۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۳۰

چکیده

برای تولید مطلوب و حفظ پایداری آن، شرایط محیطی و آب و هوایی از بعد قابلیت‌ها و محدودیت‌ها باید مشخص شوند. به جهت این امر نیازمند داده‌های قابل اعتماد منطقه‌ای از قبیل تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته، اطلاعات خاک و هواشناسی است که به‌طور کلی همه‌ی این داده‌ها برای اکثر مناطق قابل دسترسی نمی‌باشد. به‌دست آوردن این اطلاعات در بسیاری از مناطق بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و اغلب به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین پهنه‌بندی می‌تواند دسترسی به این اطلاعات در سطح وسیع را تسهیل کند. به عبارتی، در صورتی که مناطقی که از نظر شرایط اقلیمی، خاک و مدیریتی مشابه هستند، شناسایی شوند، زمان و هزینه مورد نیاز برای جمع‌آوری اطلاعات در سطح وسیع به حداقل مقدار خواهد رسید. مطالعه‌ی حاضر به منظور پهنه‌بندی اگرواکولوژیک کشور انجام شد. در این تحقیق ابتدا پهنه‌های اقلیمی موجود کشور براساس پروتکل GYGA و پهنه‌های خاک موجود کشور براساس روش HC27 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ترکیب پهنه‌های اقلیمی و خاک، ۱۹۸ پلی‌گون یا پهنه اگرواکولوژیک برای کل اراضی کشاورزی کشور به‌دست آمد. پهنه‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می‌باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی در این پهنه‌ها قرار دارد. بیشترین درصد فراوانی نیز مربوط به پهنه‌ی اگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ با فراوانی ۱۱/۸۵ درصد می‌باشد. همچنین درصد فراوانی کدهای اگرواکولوژیک (کد اقلیمی ۵۰۰۳ به همراه کد خاک ۵) (۵-۵۰۰۳ (۷/۲۸ درصد) و (کد اقلیمی ۴۰۰۳ به همراه کد خاک ۵) (۵-۴۰۰۳ (۴/۹۳ درصد) بعد از آن قرار گرفت. پهنه‌بندی صورت گرفته می‌تواند انتخاب نقاط برای مطالعات گیاهی و سایر برنامه‌ریزی‌ها را تسهیل کند.

واژه‌های کلیدی: اقلیم، سطح زیر کشت اراضی، مرکز تولید، نقشه پراکنش، نقشه خاک

مقدمه

مشابه و مشخص بوده و حدود تحمل به عوامل محیطی خاص خود را دارند (Khajehpour, 2006). به این ترتیب، تصمیم‌گیری‌های زراعی و مدیریت تولید گیاهان زراعی، باید براساس شناخت اقلیمی که تولید در آن صورت می‌پذیرد استوار باشد. بدون شناخت محیط، تصمیم‌گیری زراعی صحیح و دقیق میسر نیست.

برای تولید مطلوب و حفظ پایداری آن، شرایط محیطی و آب و هوایی از بعد قابلیت‌ها و محدودیت‌ها باید مشخص شوند. پس از آن با توجه به شباهت‌های موجود، مناطق همسان در یک گروه قرار می‌گیرند و نوعی طبقه‌بندی یا پهنه‌بندی اقلیمی انجام می‌شود. چنانچه پهنه‌بندی هم بر مبنای شاخصه‌های اقلیمی و هم خاکی باشد، پهنه‌بندی مذکور را زراعی-بوم‌شناختی یا زراعی-اکولوژیک می‌نامند که به منظور شناسایی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های منابع زمینی در جهت بهبود تولیدات کشاورزی می‌باشد (Williams et al., 2008). به‌طور کلی، مزایای پهنه‌بندی را می‌توان به شرح زیر بیان

منطقه‌ای از زمین که اثرات عوامل اقلیمی بر آن موجب برقراری شرایط اقلیمی نسبتاً همگنی شده باشد را اصطلاحاً یک پهنه اقلیمی نامند. اثرات متقابل درازمدت عوامل اقلیمی و خاکی، شرایط زیستی ثابت و مشخصی را به‌وجود می‌آورد و در هر اقلیم گیاهان معینی با سازگاری خاص مشاهده می‌شود که دارای خصوصیات رشدی و نمو

۱- دانشجوی دکتری زراعت (گرایش اگرواکولوژی)، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۳- دانشیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- دانش‌آموخته دکتری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- نویسنده مسئول: (Email: afshin.soltani@gmail.com)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.78336.1195>

تولید محصولات کشاورزی با توجه به شرایط اقلیمی، شرایط مدیریتی تولید، زمین قابل دسترس، آب قابل دسترس و غیره و برنامه ریزی دقیق کاملاً محسوس می باشد. استفاده از مدل های شبیه سازی می تواند در جهت تسریع روند مطالعات امنیت غذایی در کشور، کاهش هزینه های اجرای طرح و همچنین افزایش دقت انجام کار، به مجریان این طرح کمک شایانی کنند.

استفاده از مدل های شبیه سازی تولید گیاهان با هر هدفی، نیازمند داده های قابل اعتماد منطقه ای از قبیل تاریخ کاشت، زمان رسیدگی رقم، تراکم بوته، اطلاعات خاک و هواشناسی می باشد که به طور کلی همه ی این داده ها برای اکثر مناطق قابل دسترس نمی باشد (Ramirez-Villegas, Challinor, 2012). پهنه بندی زراعی - بوم شناختی، می تواند دسترسی به این اطلاعات در سطح وسیع را تسهیل کند.

تحقیقات انجام شده در ایران در ارتباط با پهنه بندی و پتانسیل یابی محصولات زراعی به طور عمده بر مبنای پهنه بندی اقلیمی صورت گرفته است و مطالعات بسیار محدودی برای مناطق کوچک در ارتباط با پهنه بندی زراعی - بوم شناختی انجام شده است. این در حالی است که خصوصیات خاک نیز همانند اقلیم یک منطقه و همچنین اثر متقابل این دو، می توانند نقش زیادی بر تولید محصولات کشاورزی داشته باشند. بنابراین مطالعه حاضر با هدف پهنه بندی زراعی - بوم شناختی کشور، تعیین درصد فراوانی اراضی زراعی آبی، دیم، باغی و مراتع موجود در هر پهنه زراعی - بوم شناختی، تهیه و تکمیل بانک اطلاعات اقلیمی و خاک در هر پهنه برای استفاده در مدل های شبیه سازی تولید گیاهان و تعیین مراکز مهم تولید محصولات کشاورزی (محصولات زراعی به تفکیک دیم و آبی و محصولات باغی) و مراتع در جهت تسهیل جمع آوری اطلاعات (از قبیل اطلاعات مدیریتی، اطلاعات ارقام گیاهی و غیره) و اجرای مدل های شبیه سازی تولید گیاهی در کشور انجام شد.

مواد و روش ها

در این مطالعه به منظور پهنه بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور ابتدا پهنه های اقلیمی و خاک موجود کشور تجزیه و تحلیل شد و درصد فراوانی هر کدام از پهنه ها مشخص گردید. همچنین نقشه پراکنش پهنه های اقلیمی و خاک تهیه شد. سپس با ترکیب پهنه های اقلیمی و پهنه های خاک، پهنه های اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور به دست آمد. سپس نتایج به دست آمده از پهنه های اگرواکولوژیک تجزیه و تحلیل شد و درصد فراوانی هر کدام از پهنه های اگرواکولوژیک محاسبه و نقشه پراکنش پهنه های اگرواکولوژیک رسم شد. در ادامه توضیح بیشتر به تفکیک ارائه شده است.

کرد (Soltani, & Sinclair, 2012; Williams et al., 2008; Geerts, Raes, Garcia, Del Castillo, & Buytaert, 2006; Seppelt, 2000): (۱) شناسایی نواحی مشابه یا متفاوت برای مقاصد مختلف، (۲) شناسایی اولویت های محیطی در هر منطقه، (۳) جهت دار شدن تحقیقات، (۴) تعیین زمان وقوع و طول دوره بروز تنش بر روی گیاهان، (۵) تسهیل انتقال تکنولوژی یا یافته های تحقیقاتی. پهنه بندی زراعی بوم شناختی در دهه ۷۰ میلادی برای اولین بار توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) برای ارزیابی زمین ها و تعیین پتانسیل تولید محصولات کشاورزی در مقیاس منطقه ای و ملی پیشنهاد شد (FAO, 1978). روش مورد استفاده کاملاً جدید و بر اساس کمی کردن اطلاعات اقلیمی، خاک و سایر عوامل فیزیکی بود. در ادامه، این روش توسط فائو و نیز سایر محققین تکامل یافت (Fisher, Francis, & Johnson, 2000) و در حال حاضر از جمله رایج ترین راهکارهای تعیین ویژگی های زراعی - بوم شناختی در مناطق وسیع جغرافیایی برای تولید محصولات زراعی است.

روش های مختلفی برای پهنه بندی اقلیمی وجود دارد برخی از پرکاربردترین روش های پهنه بندی زراعی - اقلیمی جهانی شامل پهنه بندی اقلیمی FAO, CGIAR-TAC, Pappadakis, Prentice, Köppen-Geiger, Holdridge, GAEZ-LGP, HCAEZ, SAGE, GLI و Gens می باشند (Koo & Dimes, 2013). به جز موارد ذکر شده اخیراً روش جدیدی توسط GYGA برای پهنه بندی اقلیمی با عنوان دامنه برون یابی اطلس جهانی خلاً عملکرد ارائه شده است که در واقع این روش، ترکیب ساده شده ای از روش های پهنه بندی می باشد. برخلاف روش های SAGE و GLI که برای محاسبه واحد دمایی از دمای پایه هر گیاه زراعی استفاده می کنند، در GYGA-ED تنها از یک دمای پایه (صفر درجه سانتی گراد) استفاده می شود. بنابراین، در این حالت یک مجموعه واحد از مناطق اقلیمی برای تمام گیاهان زراعی تهیه می شود که استفاده از آن را ساده تر می کند. هر دو روش GYGA-ED و GENs مخصوص گیاه خاصی نبوده و همچنین همگنی در هر طبقه اقلیمی زیاد می باشد (Koo & Dimes, 2013). همچنین در روش GYGA-ED شاخص خشکی استفاده می شود که مستقیماً از متغیرهای پایگاه اطلاعات هواشناسی به دست می آید. این روش دارای ۲۶۵ پهنه اقلیمی می باشد. تعداد بیشتر پهنه های اقلیمی و در نتیجه کوچک تر بودن آن ها در روش GYGA-ED باعث افزایش دقت پهنه بندی می شود. از جمله مطالعاتی که در ایران از پهنه بندی GYGA استفاده شده است می توان به بررسی عملکرد و پتانسیل و خلا تولید سیب زمینی (Dadrasi, Torabi, Rahimi, Soltani, & Zeinali, 2022)، سویا (Nehbandani, Soltani, Rahemi-Karizaki, Dadrasi, & Noubakhsh, 2021) اشاره نمود.

لزم مطالعه مقدار تولید و ظرفیت هر کدام از مناطق کشور برای

پهنه‌بندی اقلیمی کشور به روش گیگا

رویکرد GYGA^۱ بهره‌گیری از یک طرح ترکیبی پهنه‌بندی به نام دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلاصاً عملکرد می‌باشد که در واقع ترکیبی از دیگر روش‌های پهنه‌بندی است (www.yieldgap.org). در این راستا، GYGA به دنبال ایجاد پهنه‌های اقلیمی با حداقل غیریکنواختی آب و هوایی است تا نیاز به اطلاعات هواشناسی را به حداقل برساند. در این روش، پهنه‌های اقلیمی بر اساس اطلاعات سه متغیر زیر از هم تفکیک می‌شوند:

۱- واحد دمایی^۲ با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد

۲- نوسانات دمای فصلی^۳

۳- شاخص خشکی سالیانه^۴

برای یک پهنه اقلیمی مقدار GDD بیشتر نشان می‌دهد که متوسط دمایی آن پهنه اقلیمی در کل سال بالاتر است.

متغیر نوسانات دمای فصلی در واقع همان انحراف معیار میانگین دمای ماهانه می‌باشد.

برای یک پهنه اقلیمی مقدار ضریب نوسانات دمای فصلی بزرگتر، موید این موضوع است که نوسانات دمایی در طول سال در آن پهنه اقلیمی بیشتر است. به بیان ساده‌تر، اختلاف دمایی بین سردترین و گرم‌ترین ماه از سال بیشتر است.

شاخص سوم مورد استفاده برای پهنه‌بندی به روش دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلاصاً عملکرد، یک شاخص خشکی است که با تقسیم متوسط بارندگی سالیانه بر متوسط تبخیر سالیانه و ضرب آن در ۱۰۰۰۰ حاصل می‌شود. در یک پهنه اقلیمی هرچه مقدار AI کوچک‌تر باشد آن پهنه خشک‌تر است. لازم به توضیح است که در این رابطه ضریب ۱۰۰۰۰ برای حذف اعداد اعشار و گرد کردن مقدار عددی شاخص، استفاده شده است.

در پروژه GYGA برای محاسبه متغیرهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی اقلیمی از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های واقعی در سرتاسر جهان استفاده شده است. این داده‌ها از بانک اطلاعاتی WorldClim استخراج شده‌اند (www.worldclim.org) (Hijmans, Cameron, Parra, Jones, & Jarvis, 2005). داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این روش برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی می‌باشد. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد نحوه پهنه‌بندی اقلیمی جهت می‌توان به سایت (www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted) مراجعه نمود. جدول ۱ کلاس‌های تعریف‌شده برای هریک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی اقلیمی به روش GYGA را نشان می‌دهد.

- 1- Global Yield Gap Atlas Extrapolation Domain
- 2- Growing Degree Days (GDD)
- 3- Temperature Seasonality
- 4- Annual Aridity Index (AI)

پهنه‌بندی خاک بر اساس HC27

اطلاعات خاک در بیشتر مدل‌های شبیه‌سازی یکی از کلیدی‌ترین اطلاعات ورودی می‌باشد، اما به‌دست آوردن این اطلاعات در سطح گسترده بسیار دشوار می‌باشد. به‌منظور حل مشکل محدودیت اطلاعات پروفیل خاک و محدودیت مکانی اطلاعات برای استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، کو و دیمز (Koo & Dimes, 2013) اقدام به تهیه پروفیل‌های عمومی خاک بر اساس سه معیار بافت خاک، عمق ریشه و کربن آلی کردند که پاسخگوی اکثر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است. این نقشه با نام HC27 شناخته می‌شود. ارزیابی HC27 برای شرایط ایران با مدل SSM-iCrop2 توسط نه‌بندانی و همکاران (Nehbandani, Soltani, Rahemi-Karizaki, Dadrasi, & Noubakhsh, 2020) گزارش شد و نتایج نشان داد ارزیابی این بانک اطلاعات خاک برای ایران قابل قبول است. این نقشه بر اساس بافت خاک، سه گروه رس، سیلت و شن، بر اساس عمق خاک، در سه گروه عمیق، متوسط و سطحی و بر اساس حاصلخیزی به سه گروه حاصلخیزی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد. در مجموع، پروفیل‌های عمومی خاک شامل ۲۷ نوع پروفیل است که از ۱ تا ۲۷ شماره‌گذاری شده‌اند که بر اساس فرمت قابل استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی DSSAT و APSIM تهیه شده‌اند (جدول ۲). لازم به توضیح است که فرمت اطلاعات تهیه شده در این نقشه خاک، قابل استفاده در مدل شبیه‌سازی SSM (Soltani & Sincler, 2012) نیز می‌باشد.

برای تهیه نقشه خاک HC27 همه مناطق جهان با شبکه‌های به اندازه ۵ دقیقه (در حدود ۱۰×۱۰ کیلومتر) شبکه‌بندی شده است. در هر شبکه با توجه به کلاس‌های سه متغیر مورد نظر (بافت خاک، عمق خاک و حاصلخیزی خاک) این نقشه خاک (شکل ۳) تولید شد. ترکیب پهنه‌های اقلیمی و خاک و به‌دست آوردن پهنه‌های اگرواکولوژیک کشور در این مطالعه با استفاده از نقشه اقلیمی GYGA و نیز نقشه خاک HC27 و ترکیب و هم‌پوشانی این دو نقشه در نهایت پهنه‌های اگرواکولوژیک برای کل اراضی کشور به‌دست آمد. به عبارتی پهنه‌های زراعی - بوم‌شناختی که ترکیبی از پهنه‌بندی اقلیمی کشور به روش GYGA و پهنه‌بندی خاک به روش HC27 می‌باشد.

نتایج و بحث

پهنه‌بندی اقلیمی اراضی کشاورزی ایران بر اساس گیگا

براساس پهنه‌بندی اقلیمی گیگا، کشور ایران دارای ۷۲ نوع اقلیم می‌باشد (شکل ۲). اراضی کشاورزی ایران در ۶۸ اقلیم قرار گرفته‌اند. اقلیم‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی زراعت آبی کشور در آن قرار دارند شامل ۱۵ اقلیم می‌باشد که در مجموع حدود ۵۰ درصد

اراضی آبی به ترتیب در اقلیم‌های ۵۰۰۳، ۴۰۰۳، ۵۰۰۲ و ۸۰۰۳ و ۶۰۰۳ قرار دارند. با توجه به کدهای اقلیمی بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در شرایط اقلیمی گرم و خشک قرار دارند. اقلیم‌هایی که بیش از

یک درصد از اراضی زراعت دیم کشور در آن قرار دارند شامل ۱۹ اقلیم می‌باشد که در مجموع حدود ۵۰ درصد اراضی دیم به ترتیب در اقلیم‌های ۴۱۰۳، ۴۰۰۳، ۳۱۰۳ قرار دارند (شکل ۱).

جدول ۱- کلاس‌های تعریف شده برای هر یک از متغیرهای مورد استفاده در طبقه‌بندی اقلیمی به روش دامنه برون‌یابی اطلس جهانی خلا عملکرد
Table 1- Defined classes for each variable used in climate classification using the global atlas performance gap extrapolation domain method.

کد گیگا	GDD*	کد گیگا	شاخص خشکی** Dryness index	کد گیگا	نوسانات دمای فصلی*** Seasonal temperature changes
1000	0-2670	0	0-2695	1	0-3832
2000	2671-3169	100	2696-3893	2	3833-8355
3000	3170-3791	200	3894-4791	3	>8359
4000	3792-4829	300	4792-5689		
5000	4830-5949	400	5690-6588		
6000	5950-7111	500	6589-7785		
7000	7112-8564	600	7786-8685		
8000	8565-9311	700	8686-10181		
9000	9312-9850	800	10182-12876		
10000	>9851	900	>12877		

* محاسبه واحد دمایی بر اساس دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد

** Dryness index، در صورتی که این اعداد تقسیم بر ۱۰۰۰۰ شوند نسبت بارندگی سالیانه بر پتانسیل تبخیر سالیانه حاصل می‌شود.

*** Seasonal temperature Changes در صورتی که این اعداد بر ۱۰۰۰ تقسیم شود مقدار انحراف معیار دمای ماهانه از متوسط دمای سالیانه حاصل می‌شود.

جدول ۲- پروفایل‌های خاک حاصل از ترکیب کلاس‌های متغیرهای موجود در جدول ۱ و کد آن‌ها در نقشه خاک HC27

Table 2- Soil profiles resulting from the combination of variable classes in Table 2 and their codes in the HC27 soil map

شماره پروفیل	کد پروفیل	شماره پروفیل	کد پروفیل	شماره پروفیل	کد پروفیل
1	Clay HF180	10	Loam HF180	19	Sand HF180
2	Clay HF120	11	Loam HF120	20	Sand HF120
3	Clay HF060	12	Loam HF060	21	Sand HF060
4	Clay MF180	13	Loam MF180	22	Sand MF180
5	Clay MF120	14	Loam MF120	23	Sand MF120
6	Clay MF060	15	Loam MF060	24	Sand MF060
7	Clay LF180	16	Loam LF180	25	Sand LF180
8	Clay LF120	17	Loam LF120	26	Sand LF120
9	Clay LF060	18	Loam LF060	27	Sand LF060

براساس پهنه‌بندی خاک HC27، کشور ایران دارای ۹ کد خاک می‌باشد (شکل ۳)، کد خاک‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی زراعت آبی کشور در آن قرار دارند شامل ۶ کد خاک می‌باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در کد خاک ۵ و ۱۷ قرار داشته و بافت خاک غالب آن‌ها رسی و لومی است. کد خاک‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی زراعت دیم کشور در آن قرار دارند شامل ۵ کد خاک می‌باشند که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی دیم در کد خاک ۵ و قرار داشته و بافت خاک غالب آن‌ها رسی و لومی است کد خاک‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی باغی کشور در آن قرار دارند شامل ۶ کد خاک می‌باشد که در مجموع بیش از ۵ درصد اراضی باغی در کد خاک‌های ۵ و ۱۲ قرار داشته و بافت خاک غالب آن‌ها

براین اساس بیش از ۵۰ درصد اراضی دیم در شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک قرار دارند. اقلیم‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی باغی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۰ اقلیم می‌باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد اراضی باغی به ترتیب در اقلیم‌های ۴۱۰۳، ۳۱۰۳، ۴۰۰۳ و ۵۰۰۲ قرار دارند (شکل ۳).

بنابراین براین اساس بیش از ۵۰ درصد اراضی باغی در شرایط اقلیمی سرد و نیمه‌خشک قرار دارند. همچنین اقلیم‌هایی که بیش از یک درصد از مراتع کشور در آن قرار دارند شامل ۱۵ اقلیم می‌باشد که در مجموع بیش از ۵۰ درصد مراتع به ترتیب در اقلیم‌های ۶۰۰۳، ۷۰۰۲، ۵۰۰۲ و ۶۰۰۲ قرار دارند. با توجه به کدهای اقلیمی بیش از ۵۰ درصد مراتع در شرایط اقلیمی گرم و خشک قرار دارند (شکل ۱).

(۱۱/۸۵ درصد) مربوط به پهنه با کد اگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ بود که ۱۷۸۹۹۶۵/۸ هکتار از اراضی کشاورزی را پوشش داد. همچنین پس از آن کد اگرواکولوژیک ۵-۵۰۰۳ دارای بیشترین درصد فراوانی (۷/۲۸ درصد) می‌باشد که ۱۱۰۰۵۹۹/۲۵ هکتار از اراضی کشاورزی کشور را در بر می‌گیرد. نتایج نشان داد پهنه‌های اگرواکولوژیک ۵-۴۰۰۳ و ۵-۳۱۰۳ به ترتیب ۴/۹۳ و ۴/۳۵ درصد از کل پهنه‌های اگرواکولوژیک کشور را در بر می‌گیرند و به ترتیب شامل ۷۴۵۲۴۸/۴۳ و ۶۵۷۱۲۷/۵۳ هکتار از اراضی کشاورزی کشور می‌باشند. پس از آن کدهای ۵-۶۰۰۳ (۳/۵۸ درصد)، ۱۴-۴۰۰۳ (۳/۵۳ درصد)، ۱۷-۸۰۰۳ (۳/۴۷ درصد)، ۱۷-۵۰۰۲ (۳/۳۰ درصد) و ۱۲-۴۲۰۳ (۳/۲۸ درصد) بیشترین درصد فراوانی را داشتند (شکل ۶).

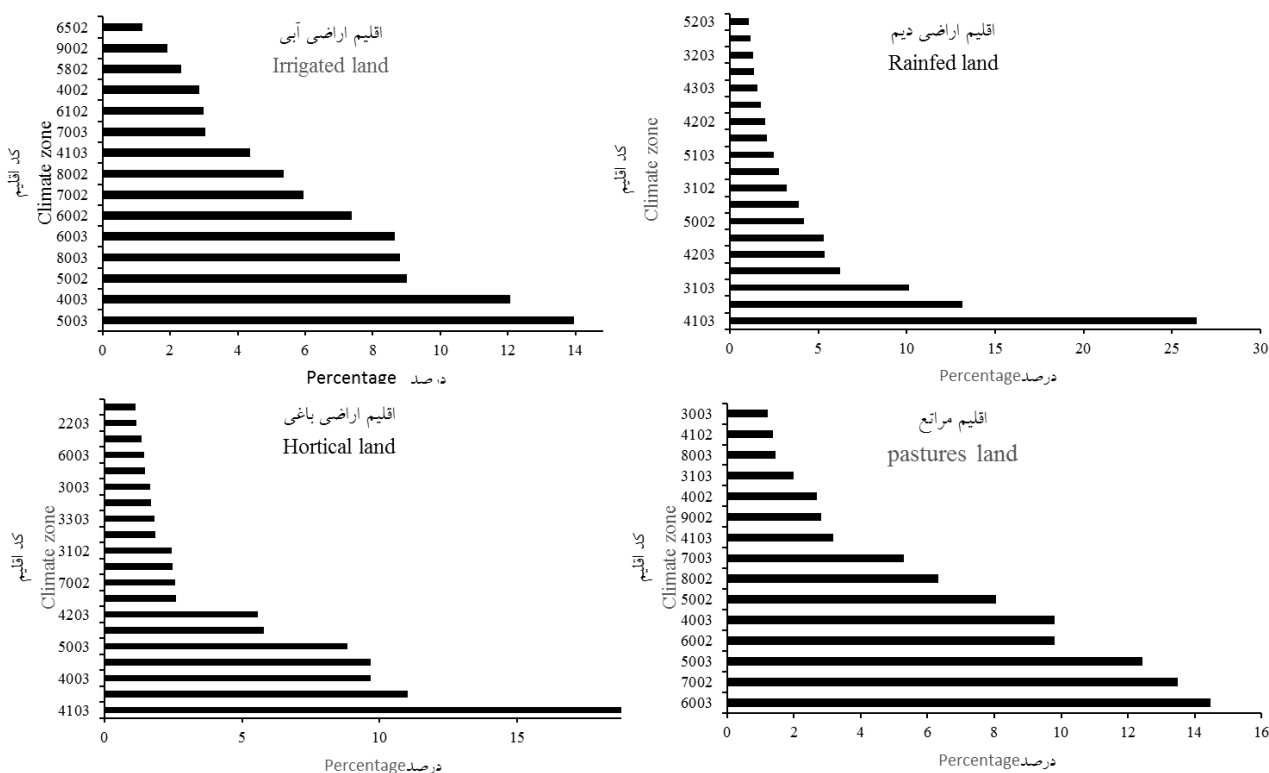
همچنین درصد فراوانی پهنه‌های اگرواکولوژیک ۸-۸۰۰۳، ۱۷-۵۰۰۳، ۱۷-۵۰۰۲، ۸-۸۰۰۲، ۵-۵۰۰۲ و ۱۷-۴۰۰۳ به ترتیب ۲/۸۲ درصد (۴۲۶۰۰۴/۶۷ هکتار)، ۲/۸۰ درصد (۴۲۴۱۴۰/۴۰ هکتار)، ۲/۲۶ درصد (۳۴۲۳۲۶/۵۳ هکتار)، ۲/۲۵ درصد (۳۴۰۰۳۶/۳۹ هکتار)، ۲/۰۹ درصد (۳۱۶۲۷۹/۴۵ هکتار) و ۲/۰۸ درصد (۳۱۴۳۱۳/۲۷ هکتار) بود. نمودار فراوانی پهنه‌های اگرواکولوژیک در شکل ۶ نشان داده شده است.

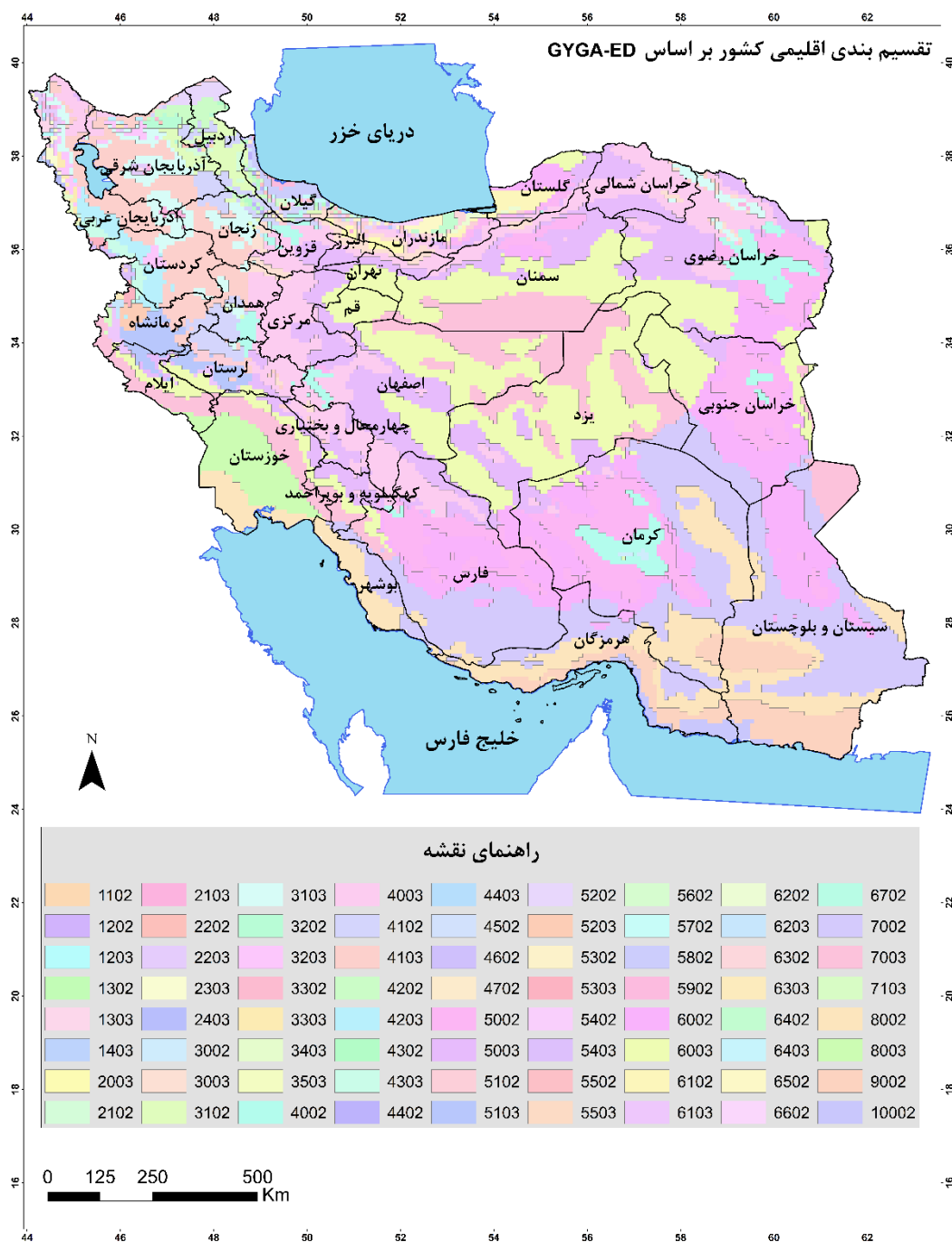
رسی و لومی است. همچنین، کد خاک‌هایی که بیش از یک درصد از مراتع کشور در آن قرار دارند شامل ۵ کد خاک می‌باشد؛ در مجموع بیش از ۵۰ درصد مراتع در کد خاک‌های ۵ و ۱۷ قرار داشته و بافت خاک غالب آن‌ها رسی و لومی است (شکل ۴).

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک

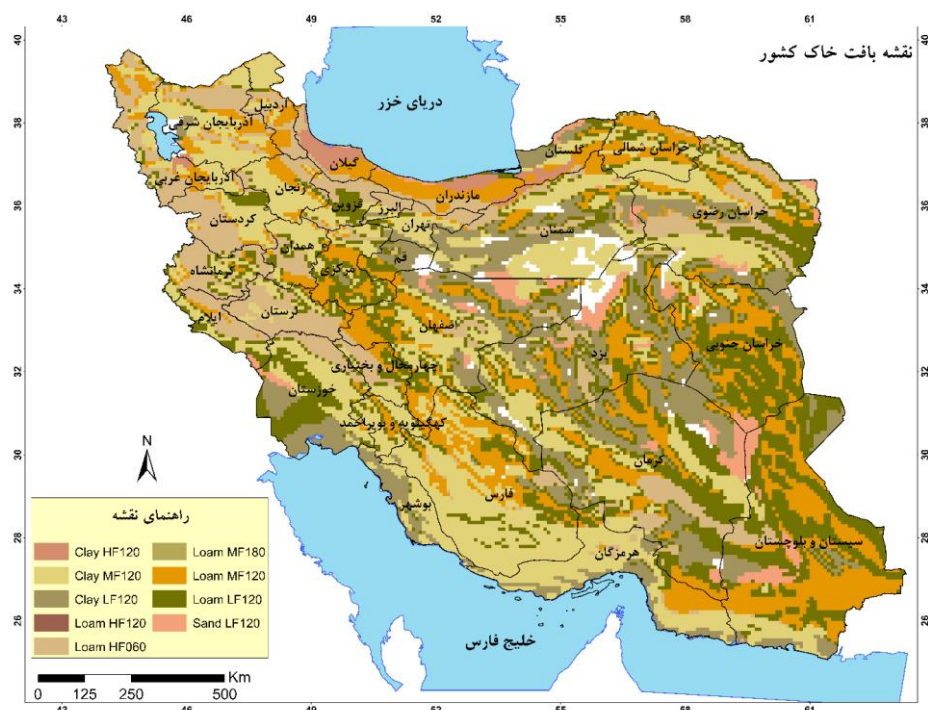
در این مطالعه با استفاده از نقشه اقلیمی GYGA و نیز نقشه خاک HC27 و ترکیب و هم‌پوشانی این دو نقشه در نهایت ۱۹۸ پلی گون یا پهنه برای کل اراضی کشور به دست آمد (شکل ۵). به عبارتی پهنه‌های زراعی - بوم‌شناختی که ترکیبی از پهنه‌بندی اقلیمی کشور به روش GYGA و پهنه‌بندی خاک به روش HC27 می‌باشد (شکل ۵). مجموع مساحت پهنه‌های اگرواکولوژیک کشور ۱۵۰۹۹۴۵۵/۳۹ هکتار به دست آمد.

بر اساس پهنه‌بندی کشور بر اساس خاک HC27 و اقلیم GYGA، کشور ایران دارای ۱۹۸ پهنه اگرواکولوژیکی می‌باشد، پهنه‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می‌باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی و در این پهنه‌ها قرار دارد (شکل ۶). بیشترین درصد فراوانی



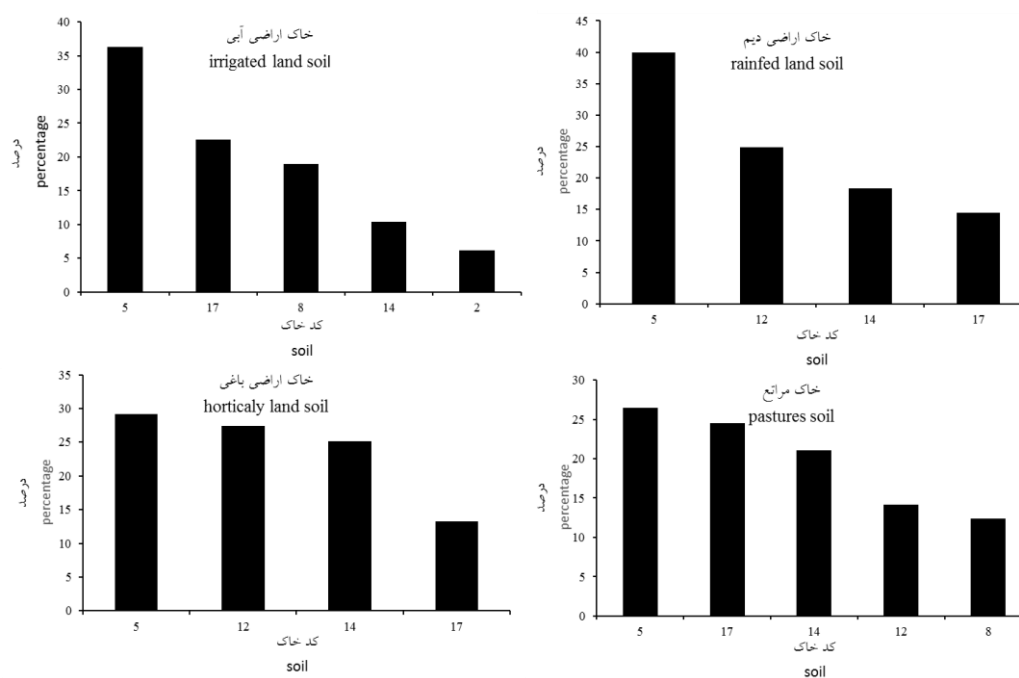


شکل ۲- پهنه بندی اقلیمی ایران براساس گیگا
Figure 2- Climatic zoning of Iran based on GYGA (Soltani, 2018)



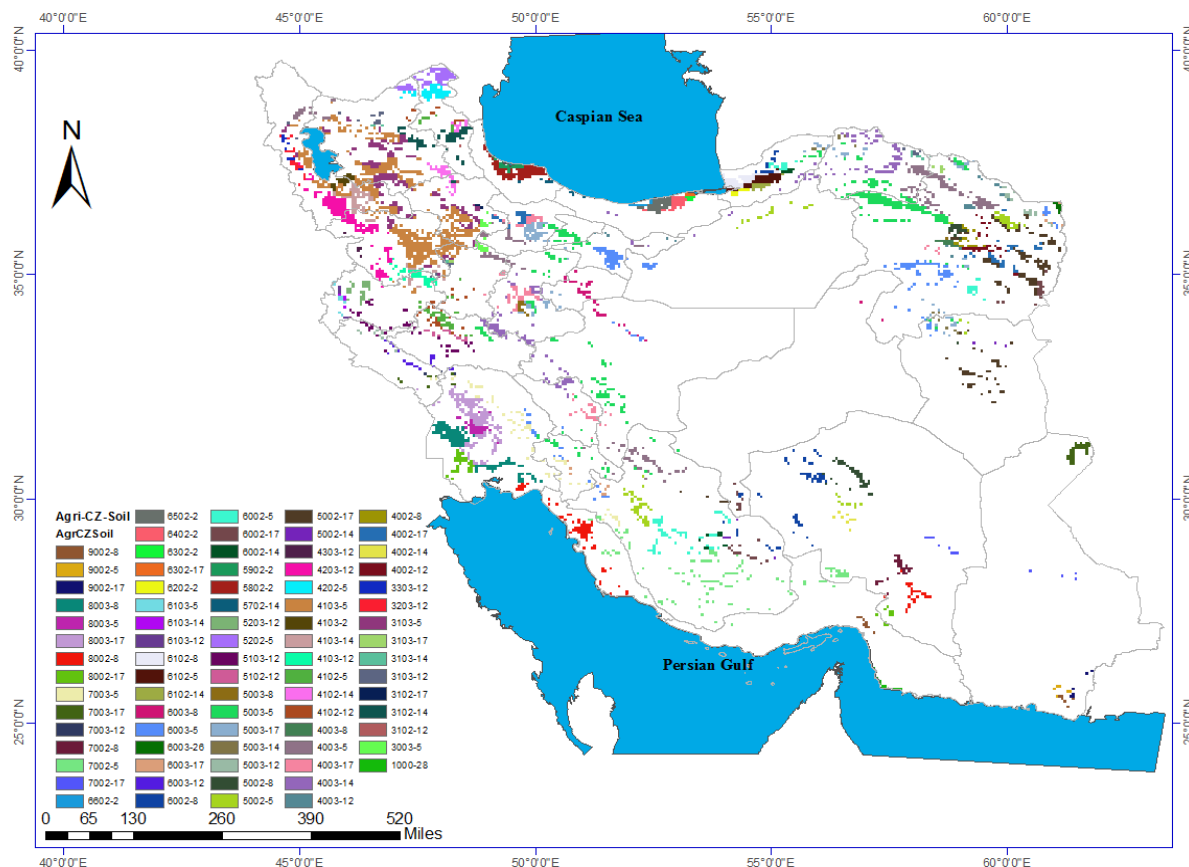
شکل ۳- نقشه مربوط به اطلاعات و بافت خاک کشور

Figure 3- Map related to information and soil texture of IRAN (Koo & Dimes, 2013)



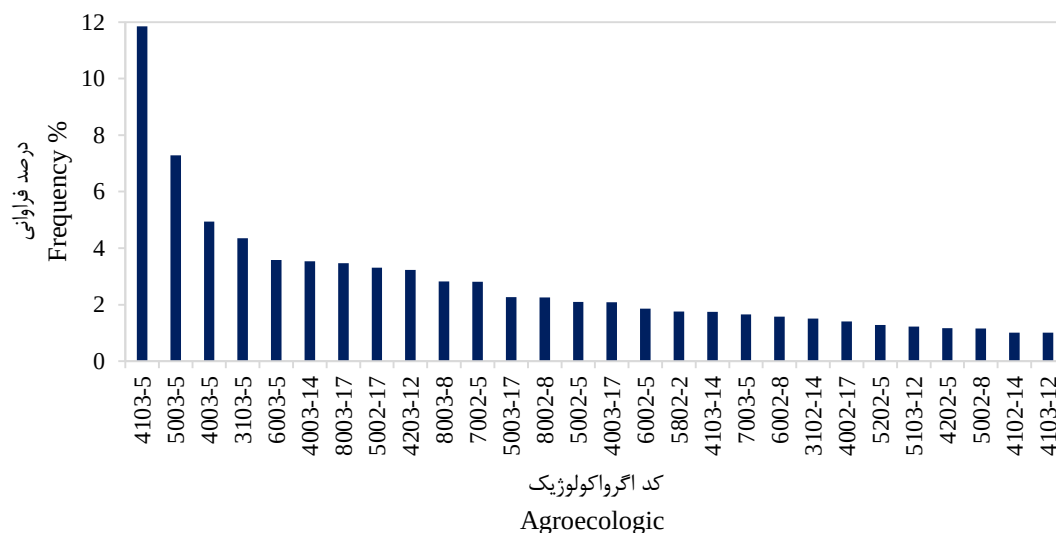
شکل ۴- درصد فراوانی کدهای خاک HC27 در اراضی آبی، باغی، دیم و مراتع کشور

Figure 4- The frequency of HC27 soil codes in irrigated, garden, rainfed and pasture lands of IRAN



شکل ۵- پهنه‌بندی آگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور

Figure 5- Agro-ecological zoning of agricultural lands in IRAN



شکل ۶- درصد فراوانی پهنه‌های آگرواکولوژیک کشور

Figure 6- Frequency percentage of agro-ecological zones in IRAN

ویژگی‌های خاک، شکل اراضی، ویژگی‌های اقلیمی با توجه به نیازهای گیاهان زراعی و سامانه مدیریت کشاورزی موجود در منطقه مورد

بر اساس تعریف سازمان خوار و بار جهانی، پهنه‌بندی آگرواکولوژیک عبارت است از: تفکیک واحدهای اراضی بر اساس

مناطق کاشت آن در آرژانتین، بیان داشتند که پهنه‌بندی اگرواکولوژیک ابزار مناسبی برای برآورد عملکرد، تخمین تاریخ کاشت در مناطق مختلف و تخمین پتانسیل عملکرد غده است (Caldiz, 2001). برای برنامه‌ریزی استفاده از منابع آبی در سریلانکا با پهنه‌بندی کشاورزی-بوم‌شناختی مناطق دارای پوشش گیاهی، بیان داشتند که اولاً این مناطق به‌شدت تحت تأثیر عوامل محیطی بوده و ثانیاً با توجه به ارتباط این مناطق با چرخه هیدرولوژی، به‌خصوص در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها، پهنه‌بندی اگرواکولوژیک ابزار مناسبی برای تعیین ضرورت مصرف آب برای تولید غذا، در مقابل اهمیت آن برای طبیعت می‌باشد (Muthuwatta, & Chemin, 2003).

محققان با روش تحلیل خوشه‌ای فصول طبیعی استان کرمانشاه را بر مبنای داده‌های درجه حرارت حداکثر، حداقل و متوسط روزانه چهار ایستگاه به‌عنوان نماینده طی دوره آماری پانزده ساله مطالعه کردند و به این نتیجه دست یافتند که سال به دو فصل نسبتاً طولانی گرم و سرد تقسیم می‌شود؛ همچنین ایشان با استفاده از تحلیل خوشه‌ای منطقه آذربایجان را در شمال غرب کشور بر مبنای دماهای میانگین حداقل و حداکثر و دماهای میانگین ماهانه به چهار ناحیه تقسیم کردند (Zolfaqhari & Moradi, 2005).

در ایالت هیمالچال پرادش هند با استفاده از رهیافت سیستم اطلاعات جغرافیایی به پهنه‌بندی اراضی دارای پتانسیل کشت غلات (گندم^۱ - جو^۲ - ذرت^۳ و برنج^۴) پرداختند. در این پژوهش مشخص شد که نواحی واجد پتانسیل کشت گندم معادل ۴۱۰ هزار هکتار است، در حالی که عملاً سطح زیرکشت این محصول در این ایالت ۳۶۰ هزار هکتار می‌باشد، بنابراین افزایش ۱۳ درصدی در سطح زیرکشت این محصول قابل‌انتظار است. به‌طور مشابه این رقم در مورد محصولات جو و برنج به‌ترتیب ۳۸۴ و ۲۲ هزار هکتار برآورد شد. بر عکس سطح زیرکشت ذرت به میزان ۱۰ درصد (معادل ۳۱ هزار هکتار) بیش از آن‌چه مناسب کشت این محصول بود تشخیص داده شد (Bagat et al., 2009).

در بررسی عملکرد پتانسیل و خلا عملکرد سیب‌زمینی در استان گلستان از پهنه‌بندی اقلیمی GYGA استفاده نمودند و با انتخاب ۲۲ ایستگاه و روش درون‌یابی در نرم‌فزار Arc GIS توانستند برآورد درستی از مقدار عملکرد واقعی برای هر شهرستان و به دنبال آن عملکرد پتانسیل و خلا عملکرد داشته باشند (Dadrasi, Torabi, Rahimi, Soltani, & Zeinali, 2021). محققان در مطالعه‌ای مناطق دیم استان فارس را بر اساس شاخص‌های اگروکلیماتیک

مطالعه (FAO, 2002). هر واحد اکولوژیک دارای ترکیبی مشابه از محدودیت‌ها و پتانسیل‌ها می‌باشد که تعیین پتانسیل تولید در هر واحد و برنامه‌ریزی استفاده از این واحدها بر اساس ویژگی‌های، محدودیت‌ها و پتانسیل‌های موجود انجام می‌گیرد (FAO, 1996). پهنه‌بندی اگرواکولوژیک با به‌کارگیری تکنیک‌های مختلف در تلفیق و تولید اطلاعات و بر اساس روش مهندسی اگرواکولوژیک، چارچوبی علمی برای برنامه‌ریزی و استفاده بهینه از اراضی را فراهم می‌کند. پهنه‌بندی اکولوژی کشاورزی شامل چهار مرحله اصلی تلفیق داده‌ها و اطلاعات موجود، تولید اطلاعات جدید با توجه به هدف مورد نظر، ارزیابی پتانسیل تولید و برنامه‌ریزی استفاده از اراضی است. در کشور ما به دلیل عدم شناخت ویژگی‌های اگرواکولوژیک در هر منطقه و عدم رعایت عوامل تناسب اراضی، امکان تعیین الگوی کشت و برنامه‌ریزی مناسب برای فعالیت‌های کشاورزی در راستای کشاورزی پایدار وجود ندارد و از این نظر هر ساله خسارت زیادی به بخش کشاورزی وارد گردیده و با گذشت زمان با پدیده تخریب اراضی و کاهش تولید در واحد سطح مواجه خواهد شد. به‌طور کلی اولین قدم در رفع چالش موجود در رابطه با برنامه‌ریزی‌های بلندمدت و سیاست‌گذاری‌های بخش کشاورزی، پهنه‌بندی اگرواکولوژیک است که به مدیریت پایدار منابع کشاورزی می‌انجامد. در کشور ایران این نوع مطالعات که اساس توسعه و برنامه‌ریزی‌های زراعی را تشکیل می‌دهد، به‌جز موارد بسیار محدود انجام نگرفته است و لازم است که برای تمام مناطق مستعد کشاورزی انجام گیرد تا توسعه کاشت محصولات زراعی، افزایش عملکرد، اصلاح الگوی کاشت، تعیین میزان سازگاری گیاهان جدید در یک منطقه وسیع و تعیین پتانسیل تولید مناطق مختلف و در نهایت برنامه‌ریزی طولانی‌مدت میسر گردد. همچنین نتایج حاصل از پهنه‌بندی اگرواکولوژیک را می‌توان در برنامه‌ریزی توسعه کشاورزی در شرایط آینده مورد استفاده قرار داد.

پهنه‌بندی در تعمیم و کاربرد این نتایج در نواحی مشابه کمک نموده و انتقال تکنولوژی یا یافته تحقیقاتی را تسریع و تسهیل می‌نماید. اگر کشت یک رقم خاص در یک پهنه مناسب باشد، به احتمال زیاد کشت همین رقم در سایر پهنه‌های مشابه نیز مناسب خواهد بود و یا این که با توصیه‌ای مشابه در پهنه‌های مشابه، عملکرد قاعده‌تاً باید در همه این پهنه‌ها مشابه باشد. نصیری محلاتی و کوچکی (Nasiri Mahalati & Kokhaki, 2009) با استفاده از مدل شبیه‌سازی WOFOST و داده‌های آمار هواشناسی درازمدت درجه حرارت حداقل و حداکثر روزانه، تشعشع روزانه و خصوصیات گیاه زراعی اقدام به شبیه‌سازی تولید گندم در استان خراسان نمودند و با استفاده از نتایج شبیه‌سازی استان خراسان را از نظر پتانسیل تولید گندم پهنه‌بندی کردند.

محققان هدف بررسی خصوصیات زراعی - بوم‌شناختی، برآورد پتانسیل عملکرد سیب‌زمینی و محدودیت‌های افزایش آن و پهنه‌بندی

1- *Triticum aestivum*2- *Hordium Vulgar*3- *Zea Mayz*4- *Oryza sativa*

می‌تواند نیاز به این اطلاعات را مرتفع کند.

بنابراین سیاست‌گذاران و مدیران بخش کشاورزی می‌توانند از این پهنه‌ها در مطالعات تحلیل امنیت غذایی و تعیین مراکز مهم تولید گیاهی (باتوجه به خصوصیات اگرواکولوژیک هر پهنه) و تعیین ظرفیت تولید و نوع محصول مناسب هر پهنه در کشور بهره‌گیرند. همچنین محققان می‌توانند از نتایج حاصل از این تحقیق به‌عنوان اطلاعات پایه در مطالعات شبیه‌سازی با مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی در راستای تعیین عملکرد، میزان تولید و بهره‌وری آب و غیره در هر کدام از این پهنه‌های اگرواکولوژیک استفاده کنند.

با توجه به فواید پهنه‌بندی و کاربردهای متعدد آن دارای سابقه طولانی مدتی می‌باشد. مطالعه‌ی حاضر نیز در همین راستا انجام شد که نتایج آن پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی کشور، تعیین درصد اراضی زراعی آبی، دیم، باغی و مراتع موجود در هر پهنه زراعی - بوم‌شناختی، تعیین مراکز مهم تولید محصولات کشاورزی (محصولات زراعی به تفکیک دیم و آبی و محصولات باغی) و مراتع در جهت مدیریت و برنامه‌ریزی بهتر منابع و اراضی کشاورزی کشور می‌باشد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف تعیین پهنه‌های اگرواکولوژیک اصلی تولید محصولات کشاورزی در کشور انجام شد تا بتوان مطالعات شبیه‌سازی و سایر مطالعات را در مکان اصلی تولید در هر استان انجام داد. بنابراین نیاز است که بدانیم مراکز اصلی تولید هر استان کجا بوده، چه اقلیم و خاکی داشته و چه ایستگاه هواشناسی شاخص آن منطقه می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نقشه اقلیمی گِیگا، پهنه‌های اقلیمی اراضی آبی، دیم، باغی و مراتع کشور مشخص شد. بر این اساس، بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی به‌ترتیب در اقلیم‌های ۵۰۰۳، ۴۰۰۳، ۵۰۰۲، ۸۰۰۳ و ۶۰۰۳ قرار دارد. همچنین اراضی دیم به‌ترتیب در اقلیم‌های ۴۱۰۳، ۴۰۰۳ و ۳۱۰۳ قرار دارند. همچنین، با استفاده از نقشه خاک HC27، پهنه‌های خاک در اراضی آبی، دیم، باغی و مراتع کشور مشخص شد. بر این اساس، بیش از ۵۰ درصد اراضی آبی در کد خاک ۵ و ۱۷؛ اراضی دیم در کد خاک ۵ و ۱۲؛ اراضی باغی در کد خاک‌های ۵ و ۱۲ و مراتع در کد خاک‌های ۵ و ۱۷ قرار داشتند. با ترکیب پهنه‌های اقلیمی و پهنه‌های خاک، پهنه‌بندی زراعی - بوم‌شناختی کشور انجام شد که نهایتاً ۱۹۸ پهنه به‌دست آمد. پهنه‌هایی که بیش از یک درصد از اراضی کشاورزی کشور در آن قرار دارند شامل ۲۸ پهنه می‌باشد که در مجموع حدود ۸۰ درصد اراضی کشاورزی و در این پهنه‌ها قرار دارد (شکل ۷). بیشترین درصد فراوانی (۱۱/۸۵ درصد) مربوط به پهنه با کد اگرواکولوژیک ۵-۴۱۰۳ بود که ۱۷۸۹۹۶۵/۸ هکتار از اراضی کشاورزی را پوشش داد. همچنین پس از آن کد اگرواکولوژیک ۵-۵۰۰۳ دارای بیشترین درصد فراوانی

(بارندگی و تبخیر و تعرق) پهنه‌بندی کردند (Sadeghi, Kamgar-Haghighi, Sepaskhah, Khalili, & Zand-Parsa, 2002).

در دهه ۷۰ میلادی سازمان خوار و بار جهانی پهنه‌بندی اگرواکولوژیک را به‌عنوان روشی برای تعیین قابلیت‌های زراعی و محیطی در مقیاس منطقه‌ای و ملی پیشنهاد نمود. در ادامه این روش توسط فائو (FAO, 1996) و نیز سایر محققین (Bouman & Lansigan, 1994; Fischer et al., 2000; Caldiz et al., 2001) تکامل یافت و در حال حاضر از جمله رایج‌ترین راهکارهای تعیین خصوصیات اگرواکولوژیک در مناطق وسیع جغرافیایی برای تولید محصولات زراعی است. با توسعه مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان، بانک‌های اطلاعاتی مربوط به داده‌های آب و خاک و اقلیم و سیستم اطلاعات جغرافیایی، محققین تلاش گسترده‌ای را برای پهنه‌بندی اگرواکولوژیک محصولات مختلف در مقیاس منطقه‌ای آغاز کرده‌اند (Bregt, 1992). در این روش با تقسیم کردن یک منطقه جغرافیایی به واحدها یا پهنه‌هایی همگن با حداکثر شباهت از نظر خصوصیات خاک و اقلیم، عملکرد پتانسیل محصول زراعی در هر پهنه به‌وسیله یک مدل شبیه‌سازی پیش‌بینی شده و با انتقال نتایج به محیط GIS نقشه پتانسیل عملکرد در مقیاس منطقه‌ای تهیه می‌شود (Fischer et al., 2000).

پهنه‌بندی اگرواکولوژیک یک پایگاه اطلاعاتی جامع ایجاد می‌کند که می‌توان بر اساس آن اقدام به برنامه‌ریزی انطباق فعالیت‌های زراعی با شرایط بوم‌شناختی موجود در هر منطقه نمود (Ghaffari, 2008). پهنه‌بندی اگرواکولوژیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهتر از منابع و اراضی مورد استفاده قرار گیرد (FAO, 2002). هدف از پهنه‌بندی اگرواکولوژیک فراهم آوردن یک پایگاه جامع و کامل از ویژگی‌های منابع زمینی به‌منظور برنامه‌ریزی و سازمان‌دهی بهره‌برداری بهینه از آن‌ها از طریق تعیین ویژگی‌ها و مشخص نمودن پتانسیل موجود و محدودیت‌های اراضی می‌باشد (FAO, 1996).

در این تحقیق پس از پهنه‌بندی اگرواکولوژیک اراضی کشاورزی کشور تعداد ۱۹۸ پهنه به‌دست آمد که پس از محاسبه‌ی مساحت تحت پوشش هر پهنه، در نهایت تعداد ۲۸ پهنه اگرواکولوژیک دارای درصد فراوانی بالای یک درصد بوده و روی هم رفته حدود ۸۰ درصد (۱۱۸۱۳۵۱۸/۶۶ هکتار) از اراضی کشاورزی کشور را تحت پوشش قرار می‌دهند. از این پهنه‌های اقلیمی به‌دست‌آمده می‌توان برای مطالعات امنیت غذایی و محاسبه و تعیین ظرفیت تولید هر منطقه استفاده کرد. از طرفی باتوجه به این که در مطالعات کشاورزی نیاز به اطلاعات وسیع و جامع درمورد اقلیم و خاک برای هر کدام از مناطق می‌باشد و دسترسی به این اطلاعات معمولاً هزینه‌بر و وقت‌گیر می‌باشد، استفاده از پهنه‌های اگرواکولوژیک حاصل از این تحقیق

مدیریتی- زراعی، تهیه و تکمیل بانک اطلاعات اقلیمی و خاک در هر پهنه برای استفاده در مدل‌های شبیه‌سازی تولید گیاهان، تسهیل جمع‌آوری اطلاعات (از قبیل اطلاعات مدیریتی، اطلاعات ارقام گیاهی و غیره) و اجرای مدل شبیه‌سازی تولید گیاهی به‌منظور استفاده در مطالعات مرتبط با امنیت غذایی کشور استفاده نمود.

۷/۲۸ درصد) می‌باشد که ۱۱۰۰۵۹۹/۲۵ هکتار از اراضی کشاورزی کشور را در بر می‌گیرد. هرکدام از این پهنه‌ها دارای کد اقلیمی و خاک متفاوت هستند که نشان‌دهنده‌ی شرایط خاص تولید آن پهنه می‌باشد. از این پهنه‌های اگرواکولوژیک می‌توان جهت بهبود مطالعات و اتخاذ تصمیمات

References

1. Bagat, M. R., Sharda, S., Sood, C., Rana, R. S., Kalia, V., Pradhan, S., Immerzeel, W., & Shrestha, B. (2009). Land suitability analysis for cereal production in Himachal Pradesh (India) using geographical information system. *Indian Society Remote Sensing Journal*, 37, 233-240. <https://doi.org/10.1007/s12524-009-0018-6>
2. Bouman, B. A. M., & Lansigan, F. P. (1994). Agroecological zonation, characterization, and optimization of rice-based cropping systems. *SARP Research Proceedings*, Wageningen and Los Banos, p.1-8.
3. Caldiz, D. O. (2001). Agro-ecological zoning and potential yield of single or double cropping of potato in Argentina and Forest Meteorology. 109, 311-320. Available online: www.elsevier.com. [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(01\)00231-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(01)00231-3)
4. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., & Zeinali, E. (2021). Determination of Potato (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Golestan Province. *Journal of Agroecology*, 12(4), 613-633. (in Persian). <https://doi.org/10.22124/CR.2022.20959.1696>
5. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahimi, A., Soltani, A., & Zeinali, E. (2022). Modeling Potential production and yield gap of potatoe using modelling and GIS approaches. *Ecological Modeling*, 471, 110050. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.110050>
6. Fisher, J. W., Francis, L. J., & Johnson, P. (2000). Assessing spiritual health via four domains of spiritual well-being: the SH4DI. *Pastoral Psychology*, 49, 133-145. <https://doi.org/10.1023/A:1004609227002>
7. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). Agro-Ecological Zoning: Guidelines. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
8. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1997). Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development, FAO, Rome, Italy. 212.
9. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2002). World Agriculture: Towards 2015/2030: Summary Report. FAO, Rome, Italy.
10. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Del Castillo, C., & Buytaert, W. (2006). Agro-climatic suitability mapping for crop production in the Bolivian Altiplano: a case study for quinoa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 399-412. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.08.018>
11. Ghaffari, A. (2008). Agroclimatic zoning of Iran, rainfed crop production areas with particular emphasis to agroecological characterization. Report, Agricultural Extension, Education and Research Organization (AEERO), Dryland Agricultural Research Institute (DARI). ICARDA Technical Report.
12. Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal Climatology*, 25, 1965-1978. <https://doi.org/10.1002/joc.1276>
13. Khajepour, M. R. (2006). *Industrial plants* (second edition). Academic Jihad Publications of Isfahan Industrial Unit.
14. Koo, J., & Dimes, J. (2013). HC27 Generic Soil Profile Database, <http://hdl.handle.net/1902.1/20299>, Harvard Dataverse, V2.
15. Muthuwatta, L., & Chemin, Y. (2003). Vegetation growth zonation of Sirlanka for improved water resources planning. *Agricultural Water Management*, 58, 123-143.
16. Nasiri Mahalati, M., & Kokhaki, A. (2009). Agro-ecological zoning of wheat in Khorasan province: estimation of yield potential and gap. *Agricultural Researches of Iran*, 7, 695-709.
17. Nehbandani, A. R., Soltani, A., Taghdisi Naghbab, R., Dadrasi, A., & Alimagham, S. M. (2020). Assessing HC27 Soil Database for Modeling Plant Production. *International Journal of Plant Production*. <https://doi.org/10.1007/s42106-020-00114-4>
18. Nehbandani, A., Soltani, A., Rahemi-Karizaki, A., Dadrasi, A., & Noubakhsh, F. (2021). Determination of soybean yield gap and potential production in Iran using modeling approach and GIS. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(2), 395-407. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63180-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63180-X)
19. Norwood, Charles, A. (2000). Dry land Winter Wheat as Affected by Previous Crops, *Agronomy Journal*.
20. Ramirez-Villegas, J., & Challinor, A. (2012). Assessing relevant climate data for Agricultural applications. *agricultural forest meteorology* 161, 26-45. <https://doi.org/10.7910/dvn/25626>
21. Rasouli, S. J., & Qaemi, A. R. (2010). Rapeseed cultivation zoning based on temperature and climate needs using

- GIS in Khorasan provinces. *Electronic Journal of Crop Production*, 1. <https://doi.org/10.22126/ATIC.2022.7903.1056>
22. Sadeghi, A. R., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Khalili, D., & Zand-Parsa, Sh. (2002). Regional classification for dryland agriculture in southern Iran. *Journal of Arid Environments*, 50, 333-341. <https://doi.org/10.1006/jare.2001.0822>
23. Seppelt, R. (2000). Regionalised optimum control problems for agroecosystem management. *Ecological Modelling*, 131, 121-132. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00270-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00270-2)
24. Soltani, A., & Sinclair, T. R. (2012). Modeling Physiology of Crop Development. Growth and Yield, CABI, Wallingford, UK.
25. Van Lanen, H. A. J., Van DiepenReinds, G. J., De Koning, G. H. J., Bulens, J. D., & Bregt, A. K. (1992). Physical land evaluation methods and GIS to explore the crop growth potential and its effects within the European communities. *Agricultural Systems*, 39, 307-328. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(92\)90102-T](https://doi.org/10.1016/0308-521X(92)90102-T)
26. Williams, C. L., Liebman, M., Edwards, J. W., James, D. E., Singer, J. W., Arritt, R., & Herzmann, D., (2008). Patterns of regional yield stability in association with regional environmental characteristics. *Crop Science*, 48, 1545-1559. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.12.0837>
27. Zolfaghari, H., & Moradi, F. (2005). Investigation of thermal comfort in Kermanshah province. *Geography and Regional Development*, 43-89.



The Effects of Some Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (*Triticosecale* Wittmack) under Water Limitation Condition

F. Aghaei^{1*}, R. Seyed Sharifi², S. Farzaneh²

Received: 27-09-2022

Revised: 27-11-2022

Accepted: 10-12-2022

How to cite this article:

Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2023). The Effects of Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (*Triticosecale* Wittmack) under Water Limitation Condition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 203-219. (in Persian with English abstract).

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78960.1199>

Introduction

In arid and semi-arid regions, drought stress as the main factor and salinity stress as a secondary factor decreases plant growth and yield. Water limitation can damage pigments and plastids, and reduce chlorophyll index, rate, and grain filling period. Several strategies have been developed to decrease the toxic effects caused by environmental stresses on plant growth. Among them, the use of bio-fertilizers such as plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and also nanoparticles such as nano iron-silicon oxide plays a very important role in yield improvement. Inoculation of plants with native suitable microorganisms may decrease the deleterious effects of environmental stresses and increase stress tolerance of plants by a variety of mechanisms, including synthesis of phytohormones such as auxins, cytokinin, and gibberellins, solubilization of minerals like phosphorus, production of siderophores and increase in nutrient uptake, N₂ fixation. It seems that application of nanoparticles and biofertilizers can improve triticale yield under water limitation conditions.

Materials and Methods

To study the effects of bio-fertilizers and nano silicon-iron oxide on the quantitative yield and grain-filling components of triticale under water limitation conditions, a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design with three replications at the research farm of the faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili during 2021. The experimental factors included irrigation in three levels (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of the heading stage based on codes 43 of the BBCH scale; irrigation withholding at 50% of the booting stage based on codes 55 of the BBCH scale), as severe and moderate water limitation respectively, application of biofertilizers in four levels (no application of biofertilizers as control, application of *Azospirillum*, *Pseudomonas*, both application *Azospirillum* and *Pseudomonas*) and nanoparticles foliar application at four levels (foliar application with water as control, nano iron oxide foliar application, nano silicon, both foliar application nano iron-silicon oxide). The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were 10⁸ bacteria per milliliter (10⁸ cfu.ml⁻¹). A two-part linear model was used to quantify the grain-filling parameters. In this study, anthocyanin, flag leaf protein, chlorophyll index, grain filling components, and yield of triticale were investigated. Chlorophyll Index was calculated by a chlorophyll meter (SPAD-502; Konica Minolta Sensing, Inc., Japan). Grain dry weight and

1- PhD Student, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(*- Corresponding Author Email: f.aghaei1994@gmail.com)

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78960.1199>

number were used to calculate the average grain weight for each sample. The total duration of grain filling was determined for each treatment combination by fitting a bilinear model:

$$GW = \begin{cases} a + bt & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases}$$

Where GW is the grain dry weight; a, the GW-intercept; b, the slope of grain weight indicating grain filling rate; t, the days after earing; and t_0 , physiological maturity. The effective grain filling period (EGFD) was calculated from the following equation:

EGFD = the highest grain weight (g)/rate of grain filling (g day^{-1}).

Results and Discussion

The results showed that the both application of biofertilizers and foliar application of nano iron-silicon oxide in full irrigation, increased maximum grain weight (56.07%), grain filling period, and Effective grain filling period (22.29 and 48.43% respectively), chlorophyll index (45.11%) and flag leaf protein (64.75%), plant height (49.31%), number of grains per spike (70.58%), spike length (53.75%), 1000 grains weight (64.9%) and grain yield (43.28%) in compared to no application of biofertilizers and no foliar application under severe water limitation. Severe water limitation increased the content of anthocyanin, but the application of biofertilizers and foliar application of nano silicon-iron oxide decreased its content.

Conclusion

Based on the results of this study, it seems that application of both applications of *Azospirillum* and *Pseudomonas* and foliar application of nano iron-silicon oxide can be applied as a proper method for increasing grain yield of triticale under water limitation conditions.

Keywords: Anthocyanin, Chlorophyll index, Flag leaf protein, 1000 grains weight, *Pseudomonas*

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۱۹-۲۰۳

تاثیر برخی کودهای زیستی و نانو اکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی

فاطمه آقائی^{۱*}، رئوف سیدشریفی^۱، سلیم فرزانه^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹

چکیده

به منظور بررسی تاثیر کودهای زیستی و نانو اکسید آهن و سیلیکون بر عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عامل های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) براساس کد ۴۳ مقیاس BBCH و ظهور سنبله بر اساس کد ۵۵ مقیاس BBCH به ترتیب به عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کودهای زیستی به عنوان شاهد، کاربرد *Pseudomonas Azospirillum*، کاربرد توام *Pseudomonas* و *Azospirillum*) و محلول پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول پاشی توام نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون) بود. نتایج نشان داد که کاربرد توام کودهای زیستی و محلول پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل، حداکثر وزن دانه (۵۶/۰۷٪)، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه (به ترتیب ۲۲/۲۹ و ۴۸/۴۳٪)، شاخص کلروفیل (۴۵/۱۱٪) و پروتئین برگ پرچم (۶۴/۷۵٪)، ارتفاع بوته (۴۹/۳۱٪)، تعداد دانه در سنبله (۷۰/۵۸٪)، طول سنبله (۵۳/۷۵٪)، وزن هزار دانه (۶۴/۹٪) و عملکرد دانه (۴۳/۲۸٪) را نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی در شرایط محدودیت شدید آبی افزایش داد. محدودیت شدید آبی محتوای آنتوسیانین را افزایش داد ولی کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون محتوای آن را کاهش داد. براساس نتایج این بررسی به نظر می رسد که کاربرد توام *Pseudomonas* و *Azospirillum* و محلول پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون می تواند به عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی به کار برده شود.

واژه های کلیدی: آنتوسیانین، پروتئین برگ پرچم، سودوموناس، شاخص کلروفیل، وزن هزار دانه

مقدمه

تریتیکاله (*Triticosecale* Wittmack) به عنوان نخستین غلات دانه ریز است که توسط انسان از تلاقی گندم (*Triticum aestivum* L.) به عنوان والد مادری و چاودار (*Secale cereale* L.) به عنوان والد پدری به وجود آمده است تا کیفیت دانه و خصوصیات عملکردی گندم و مقاومت به بیماری ها و تنش های محیطی چاودار، در یک گیاه

ظهور پیدا کند (Bezabih, Girmay, & Lakewu, 2019). براساس آمار فائو، سطح زیر کشت و تولید جهانی تریتیکاله به ترتیب معادل ۴/۱۷ میلیون هکتار و ۱۵/۵۶ میلیون تن گزارش شده است (FAO, 2017). و سطح زیر کشت آن در ایران بیش از ۱۶۰۰۰ هزار هکتار است (Ansari, Mirmohammady Maibody, Arzani, & Golkar, 2018). خشکی یکی از شدیدترین تنش های غیرزیستی است که با تغییر ویژگی های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاهان مختلف به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، موجب کاهش رشد و عملکرد می شود (Abdelaal et al., 2021). افزایش دمای محیط ناشی از تغییرات اقلیم، در بیشتر موارد به افزایش تقاضای گیاهان به آب، تبخیر بیشتر رطوبت از خاک و کاهش مقدار کربن آلی خاک منجر شده است (Baveye, Schnee, Boivin, Laba, &

۱- دانشجوی دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

(*) نویسنده مسئول:
(Email: f.aghaei1994@gmail.com)
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78960.1199>

برقراری تعادل بین عناصر غذایی به‌ویژه عناصر ریزمغذی در خاک و گیاه یکی از مسائل مهم در بهبود رشد گیاهان زراعی است. در این راستا محلول‌پاشی با عناصر ریزمغذی به فرم نانوذرات به‌دلیل سرعت جذب، انتقال و تجمع بیشتر این ذرات در مقایسه با فرم معمولی، نقش مؤثری در رشد گیاهان دارد. مظاهری‌نیا و همکاران (Mazaherinia, Astaraei, Fotovat, & Monshi, 2010) گزارش کردند که نانواکسید آهن در مقایسه با آهن معمولی، تأثیر معنی‌داری بر افزایش آهن گیاه داشت. از آن‌جایی که آهن از عناصر کم‌مصرف و موثر در فتوسنتز، تنفس و تثبیت نیتروژن بوده و کمبود آن یک مسئله شایع در نواحی خشک و نیمه‌خشک با خاک‌های قلیایی است (Fahad, Ahmad, Akbar Anjum, & Hussain, 2014). از این رو در این نواحی محلول‌پاشی به شکل نانوذرات در مقایسه با شکل متداول و مرسوم آن‌ها به‌دلیل این‌که عناصر غذایی به‌آرامی و با سرعتی مناسب در طول دوره رشد گیاه آزاد می‌شوند (Naderi & Abedi, 2012)، به‌عنوان یک راه‌کار مفید و موثر برای اصلاح کمبود آهن توصیه شده است (Galavi, Ramroudi, & Tavassoli, 2012). یون‌های فلزی مانند آهن، روی و منگنز در سنتز کربوهیدرات‌ها به‌ویژه در شرایط خشکی نقش مهمی داشته و مقاومت گیاه را در برابر تنش محیطی افزایش می‌دهند (Babaeian, Piri, Tavassoli, Esmailianand, & Gholami, 2011). نریمانی و همکاران (Narimani et al., 2019) اظهار داشتند محلول‌پاشی نانواکسید آهن به‌دلیل حضور آن در ساختار کلروفیل و کمک به افزایش کارایی فتوسنتزی در شرایط خشکی، موجب افزایش محتوای کلروفیل، اجزای پر شدن و عملکرد دانه گندم شد. در بررسی فتحی امیرخیز و همکاران (Fathi Amirkhiz, Amini Dehaghi, & Heshmati, 2015a)، کاربرد کود کلات آهن در شرایط آبیاری موجب افزایش میزان آنتوسیانین در گل‌رنگ (*Carthamus tinctorius* L.

سیلیکون (Si) فراوان‌ترین عنصر معدنی در پوسته زمین بعد از اکسیژن و از عناصر مهم در تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی است که موجب بهبود جذب عناصری مانند پتاسیم، فسفر و کلسیم در گیاهان می‌شود (Eneji et al., 2008). اگرچه سیلیکون به‌عنوان یک عنصر ضروری برای گیاهان در نظر گرفته نمی‌شود، ولی به‌عنوان یک عنصر معدنی موثر در رشد و عملکرد گیاهان زراعی به‌ویژه برنج (*Oryza sativa* L.) و سایر غلات مطرح است (Tripathi et al., 2016). سیلیکون گیاهان را از اثر مخرب کم‌آبی محافظت کرده و بهره‌وری گیاه تحت شرایط تنش را، بهبود می‌بخشد (Tripathi et al., 2016). این عنصر با بهبود محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و همچنین گسترش بیشتر سطح برگ، موجب بهبود سرعت و طول دوره پر شدن دانه و افزایش عملکرد دانه می‌شود (Ahmadi & Nouraldinvand et al., 2021).

(Radulovich, 2020). نزولات جوی و الگوی پراکنش آن نیز طی چند دهه گذشته متغیر بوده و عملکرد گیاهان زراعی را با خطر کاهش تولید مواجه کرده است. اثرات خشکسالی بر روی گیاهان به عوامل متعددی از جمله کمبود آب آبیاری، بارندگی کم، دمای پایین و بالای هوا و همچنین شوری خاک بستگی دارد. در شرایط خشکی، گیاهان با بستن منافذ روزه‌ای خود، موجب تغییر در متابولیسم، فتوسنتز، کاهش جذب و تثبیت CO_2 شده و در نهایت تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد (Qayyum et al., 2021). در چنین شرایطی گیاه با بسته نگه داشتن روزه‌ها در طی روز موجب اختلال در انتقال الکترون در فتوسیستم II شده و فتولیز آب موجب افزایش الکترون می‌گردد. این الکترون‌های اضافی، با تولید اکسیژن فعال موجب خسارت به غشای سلولی از طریق پراکسیداسیون چربی‌ها و پروتئین‌ها شده و در نهایت به کاهش محتوای کلروفیل گیاه منجر می‌شود (Schutz, & Fangmeir, 2001). در چنین شرایطی تخریب محتوای کلروفیل، کوتاه شدن ماندگاری سطح سبز و طول دوره رشدی گیاه موجب کاهش سرعت و طول دوره پر شدن دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Narimani, Seyed Sharifi, Khalilzadeh, & Aminzadeh, 2019). اثر منفی تنش‌های غیرزیستی به‌ویژه خشکسالی می‌تواند با حضور باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) همانند *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Bacillus*, *Paenibacillus* و *Pseudomonas* که از اجزای طبیعی خاک محسوب می‌شوند به بهبود رشد گیاهان کمک کنند. اکثر این باکتری‌ها توانایی افزایش ویژگی‌های رشد و عملکردی را در شرایط طبیعی از طریق تثبیت نیتروژن، تولید اسیدهای آمینه و فیتوهورمون‌ها و کمک به دسترسی بهتر گیاهان به مواد مغذی در شرایط تنش‌های زیستی و غیرزیستی دارا هستند (Al Kahtani et al., 2020). کاربرد این باکتری‌ها می‌تواند اثرات ناشی از محدودیت آبی را در بسیاری از گیاهان مانند گندم (Ahmadi & Nouraldinvand, Seyed Sharifi, Siadat, & Khalilzadeh, 2021) و جو (*Hordeum vulgare* L.) (Narimani, & Khalilzadeh, 2021) با افزایش دسترسی به مواد مغذی بهبود بخشند. محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi, Kale Sarlou, Seyed Sharifi, Sedghei, Narimani, & Khalilzadeh, 2021) گزارش کردند که تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد از طریق افزایش محتوای کلروفیل، ضمن افزایش تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه، موجب افزایش عملکرد دانه می‌شود. گلیلی و همکاران (Galili, Tang, Zhu, & Gakiere, 2001) بهبود درصد پروتئین در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها را، به تثبیت زیستی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن دانه نسبت دادند.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با 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 بهار سال ۱۴۰۰ اجرا شد (Kheirizadeh Arough, 2016). محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه خشک و سرد است (Narimani et al., 2019). نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

محدودیت آبی در بیشتر مناطق خشک و نیمه خشک کشور به ویژه در مراحل مختلف رشد زایشی موجب تسریع پیری و کاهش طول دوره پر شدن دانه می شود. در این راستا به دلیل اهمیت کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون در کاهش و یا تعدیل اثرات ناشی از محدودیت آبی، و بررسی های محدود انجام شده در خصوص برهمکنش توأم این عوامل، موجب شد تا اثر این عوامل بر شاخص کلروفیل، پروتئین برگ پرچم، عملکرد و اجزای پر شدن دانه تریتی کاله مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش ها

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی شیمیایی خاک

Table 1- Soil physico-chemical characteristics

ویژگی Characteristic	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیتروژن N	کربن آلی O. C	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	آهک CaCO ₃	درصد عصاره اشباع Saturated extract	بافت Texture	pH
مقادیر Amount	1.8	212	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4	49	Loamy	7.8

شاهد، محلول پاشی نانو اکسید آهن، نانوسیلیکون، محلول پاشی توأم نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون) بود. سویه خالص باکتری های محرک رشد از موسسه خاک و آب تهران، نانو اکسید آهن از موسسه تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیا ارومیه و نانوسیلیکون (SiO₂- Nano) محصول شرکت Nanomaterial US Research بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و ویژگی های آن ها در جدول ۲ آورده شده است.

عامل های مورد بررسی شامل آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰٪ مراحل تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) براساس کد ۴۳ مقیاس BBCH و ظهور سنبله براساس کد ۵۵ مقیاس BBCH به ترتیب به عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی)، مصرف کودهای زیستی در خاک با چهار سطح (عدم کاربرد به عنوان شاهد، کاربرد *Azospirillum* و *Pseudomonas* کاربرد توأم *Azospirillum* و *Pseudomonas*) و محلول پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان

جدول ۲- ویژگی های نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون

Table 2- Nano iron-silicon oxide properties

رنگ Color	سطح ویژه ذرات surface of particles specific	میانگین اندازه ذرات Average particle size (nm)	خلوص Purity (%)	وزن Weight (g)	نانوذرات Nanoparticles
پودری قرمز Red powder	>30 m ² .g ⁻¹	<30	99	1	نانو اکسید آهن Nano iron oxide
پودری سفید White powder	>30 m ² .g ⁻¹	20-30	99	0.05	نانوسیلیکون Nano silicon

۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. کاشت در ۱۵ اردیبهشت و تاریخ برداشت ۳۱ مرداد ۱۴۰۰ بود. اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی، نیاز گیاه زراعی و سطوح تیمار کم آبیاری انجام شد. هر واحد آزمایشی شامل پنج خط کاشت به طول دو متر با فاصله بین ردیفی ۲۰ سانتی متر با تراکم ۳۸۰ بذر در متر مربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده رقم سناباد است) بود. ویژگی های جوی در طول دوره رشدی در جدول ۳ آورده شده است.

برای تلقیح بذرها با باکتری های *Azospirillum* و *Pseudomonas*، از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای ۱۰^۸ عدد باکتری زنده و فعال بود به همراه محلول صمغ عربی به نسبت ۱۰ درصد وزنی - حجمی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو ساعت در محل خشک و تاریک قرار داده شد. محلول پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون در دو مرحله از دوره رشد رویشی (مراحل پنجه دهی و ساقه دهی به ترتیب معادل با کد

جدول ۳- ویژگی‌های جوی در طول دوره رشدی تریتیکاله

Table 3- Atmospheric characteristics during triticale growth

Parameter پارامتر	Apr فروردین	May اردیبهشت	Jun خرداد	Jul تیر	Aug مرداد
Rainfall (mm) بارندگی	5.5	16.8	6.3	3.5	3.5
Average temperature (°C) میانگین دما	10.6	15.0	19.2	21.3	21.3
Mean of relative humidity متوسط رطوبت نسبی (درصد)	63	72	63	58	58
Total hours of sunshine مجموع ساعات آفتابی	226.7	248.2	316.1	309	309

و در مرحله ظهور برگ پرچم، در هر واحد آزمایشی پنج بوته انتخاب و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفت در تجزیه داده‌ها به‌کار گرفته شد. برای تعیین محتوای آنتوسیانین، مقدار ۰/۰۵ گرم بافت گیاهی با چهار سی‌سی اسید کلریدریک یک درصد متانول در یک هاون چینی ساییده شد. محلول حاصل به مدت ۲۴ ساعت در یخچال نگهداری شد و سپس، محلول به مدت ۱۰ دقیقه و در ۴۰۰ دور سانتریفیوژ شد. پس از برداشتن فاز رویی، جذب محلول‌ها در طول موج ۵۳۰ و ۶۵۷ نانومتر نسبت به شاهد اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد (Mita, Murano, Akaike, & Nakamura, 1997).

$$A = A_{530} - (0.25 \times A_{657}) \quad (3)$$

پروتئین برگ پرچم با استفاده از روش برادفورد (Bradford, 1976) اندازه‌گیری شد. در زمان رسیدگی به منظور تعیین برخی صفات مانند طول سنبله، ارتفاع بوته و تعداد دانه در سنبله، هشت بوته از ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی و از بین بوته‌های رقابت‌کننده انتخاب و میانگین داده‌های حاصل به‌عنوان ارزش آن صفات برآورد شد. عملکرد دانه از سطحی معادل ۰/۲ متر مربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. تجزیه داده‌ها و رسم شکل‌ها از نرم‌افزارهای SAS_{9.1} و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

اجزای پرشدن دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سطوح آبیاری، کاربرد کودهای زیستی، نانوآکسید آهن و سیلیکون و اثر ترکیب تیماری این عوامل بر تمامی اجزای پرشدن دانه (اعم از حداکثر وزن دانه، سرعت، طول دوره و دوره مؤثر پر شدن دانه) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بررسی روند تغییرات پر شدن دانه نشان داد که الگوی نمو بذر در تمامی عامل‌های مورد بررسی مشابه است (شکل ۱). به این ترتیب که ابتدا وزن دانه به صورت خطی افزایش یافته و به حداکثر خود رسید (رسیدگی وزنی).

به‌منظور تعیین اجزای پر شدن دانه تقریباً پس از پایان دوره گلدهی و شروع دوره پر شدن دانه، در فواصل زمانی هر چهار روز یک بار، سه بوته از بین بوته‌های رقابت‌کننده به‌طور تصادفی انتخاب و پس از انتقال به آزمایشگاه، ابتدا دانه‌ها از سنبله جدا و شمارش شده و بعد به مدت ۴۸ ساعت در آون الکتریکی تهویه‌دار در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس وزن خشک تک بذر از محاسبه وزن خشک کل به تعداد بذر برآورد شد (Ronanini, Savin, & Hal, 2004). به‌منظور برآورد، تجزیه و تحلیل و تفسیر پارامترهای مربوط به پر شدن دانه از یک مدل رگرسیون خطی (دو تکه‌ای) بر اساس رویه DUD و دستورالعمل Proc Nline نرم‌افزار SAS به‌صورت زیر استفاده شد.

$$GW = \begin{cases} a + bt & t < t_0 \\ a + bt & t \geq t_0 \end{cases} \quad (1)$$

در این معادله GW وزن دانه، t زمان و b سرعت پر شدن دانه، t₀ پایان دوره پر شدن دانه و a عرض از مبدا است. این مدل تغییرات وزن دانه نسبت به زمان را به دو مرحله تفکیک می‌کند: مرحله اول که در حقیقت مرحله خطی پر شدن دانه است، وزن دانه تا رسیدن به حداکثر مقادیر خود در زمان t₀ که در حقیقت زمان رسیدگی وزنی است، به‌صورت خطی افزایش پیدا می‌کند. شیب خط رگرسیون در این مرحله (t < t₀) سرعت پر شدن دانه را نشان می‌دهد (Ellis & Pieta-Filho, 1992). با پردازش این مدل بر کلیه داده‌ها ابتدا دو پارامتر مهم پر شدن دانه یعنی سرعت پر شدن دانه (b) و زمان رسیدگی وزنی (t₀) به‌دست آمده و سپس مقدار عددی t₀ در قسمت دوم رابطه قرار داده شد و GW که وزن دانه است محاسبه شد. برای تعیین دوره مؤثر پر شدن دانه از رابطه (۲) استفاده شد (Ellis & Pieta-Filho, 1992).

$$EFP = \frac{MGW}{b} \quad (2)$$

در این معادله EFP دوره مؤثر پر شدن دانه، MGW حداکثر وزن دانه و b سرعت پر شدن دانه است.

برای اندازه‌گیری شاخص کلروفیل از دستگاه کلروفیل‌متر (مدل SPAD-502، شرکت Konica Minolta، ژاپن) بعد از اعمال تیمارها

دسترس گیاه قرار داد و انجام فرآیند فتوسنتز و کارایی آن را به واسطه‌ی افزایش طول دوره پر شدن بذرها و افزایش میزان انتقال مواد به سمت بذرها بهبود بخشید. احمدی نورالدین‌وند و همکاران (Ahmadi Nouraldinvand et al., 2021) افزایش ۶۷ درصدی سرعت پر شدن دانه در کاربرد کودهای زیستی (باکتری‌های محرک رشد و قارچ مایکوریزا) و محلول‌پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و نانو سیلیکون در شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم گزارش کردند.

پروتئین برگ پرچم: برهم‌کنش توام کودهای زیستی، نانو اکسید آهن و سیلیکون و سطوح آبیاری بر پروتئین برگ پرچم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد کاربرد کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون در شرایط آبیاری کامل، موجب افزایش ۶۴/۷۵٪ محتوای پروتئین برگ پرچم نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی نانوذرات تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد (جدول ۷). به نظر می‌رسد کاهش محتوای پروتئین برگ تحت شرایط کم‌آبی با واکنش پروتئین با رادیکال‌های آزاد، افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده پروتئین و کاهش سنتز پروتئین مرتبط باشد (Ramezani, Seghatoleslami, Mousavi, & Sayyari, 2013). همچنین محلول‌پاشی نانوسیلیکون از طریق بهبود شاخص کلروفیل (جدول ۷) می‌تواند موجب بهبود محتوای پروتئین برگ پرچم (جدول ۷) شود. در این راستا طلحا و همکاران (Talha et al., 2021) بیان کردند که کاربرد نانوسیلیکون با افزایش محتوای کلروفیل موجب بهبود شرایط فتوسنتزی و افزایش بیشتر محتوای پروتئین گیاه شد. امیری‌نژاد و همکاران (Amirinejad et al., 2015) اظهار داشتند که محلول‌پاشی آهن در شرایط تنش خشکی از طریق افزایش فتوسنتز و تحرک رشد، به افزایش محتوای پروتئین برگ منجر شد. گیلی و همکاران (Galili et al., 2001) بهبود درصد پروتئین را در حالت تلقیح بذر با باکتری‌ها به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و فراهمی آن در زمان پر شدن نسبت دادند. از آنجایی که نیتروژن در گیاهان به صورت پروتئین تکامل می‌یابد و یکی از منابع ساخت نیتروژن، باکتری‌های تثبیت‌کننده نیتروژن می‌باشند از این‌رو به نظر می‌رسد در تلقیح بذر با باکتری، بیش‌ترین پروتئین حاصل شود (Zafari, Ebadi, & Jahanbakhsh Gode Kahriz, 2016).

آنتوسیانین: تاثیر کودهای زیستی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون، محدودیت آبی و برهم‌کنش توام این عوامل بر محتوای آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین محتوای آنتوسیانین (۸۱/۱۷ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در کاربرد توام کودهای

پس از این مرحله تا زمان برداشت وزن دانه از تغییرات چندانی برخوردار نبوده و به صورت یک خط افقی درآمد. نتایج نشان داد حداکثر وزن دانه (۰/۰۶۰۴ گرم) و سرعت پر شدن دانه (۰/۰۰۲۰۳ گرم در روز) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون و کمترین این صفات (به ترتیب ۰/۰۳۸۷ گرم و ۰/۰۰۱۶۵ گرم در روز) در شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی به دست آمد (جدول ۶). از آنجایی که وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است، بنابراین تنش‌های محیطی که موجب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه شوند، به طور معنی‌داری وزن دانه را کاهش می‌دهند (Mohammadi Kale Sarlou et al., 2021). بیش‌ترین طول دوره پر شدن دانه (۴۰/۷۳ روز) در شرایط آبیاری کامل، محلول‌پاشی نانوذرات و کاربرد توام *Azospirillum* و *Pseudomonas* و کمترین آن (۳۲/۷۷ روز) در عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله تورم غلاف برگ پرچم به دست آمد (جدول ۶). نریمانی و همکاران (Narimani et al., 2019) اظهار داشتند که آهن به دلیل نقش اساسی که در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز دارد، موجب افزایش محتوای کلروفیل و ماندگاری سطح سبز گیاه می‌شود و از این طریق با طولانی کردن دوره پر شدن دانه، به افزایش وزن دانه کمک کند. به نظر می‌رسد بالا بودن سرعت پر شدن دانه در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون، می‌تواند توجه‌کننده بخشی از افزایش وزن دانه و در پی آن عملکرد دانه باشد. ضمن آن که در همین ترکیب تیماری نیز حداکثر شاخص کلروفیل (۶۴/۲۳) به دست آمد (جدول ۷) و همین رخداد می‌تواند یکی از دلایل افزایش میزان آسمیلاسیون و بالا رفتن نقل و انتقال مواد به دانه و در نهایت افزایش وزن دانه باشد (جدول ۶). در این راستا برخی پژوهشگران اظهار داشتند که افزایش کلروفیل در طول دوره رشد به‌ویژه دوره پر شدن دانه به دلیل بهبود شرایط فتوسنتزی گیاه، موجب افزایش اجزای پر شدن دانه می‌شود (Abadi et al., 2021). همچنین مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین دوره موثر پر شدن دانه (۳۳/۶۵ روز) در کاربرد توام کودهای زیستی و محلول‌پاشی نانو اکسید آهن در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن (۲۲/۶۷ روز) تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن به دست آمد (جدول ۶). برخی پژوهشگران افزایش وزن دانه و بهبود اجزای پر شدن دانه در کاربرد باکتری‌های محرک رشد و مصرف نانو اکسید آهن را (Narimani et al., 2019) را، به تولید هورمون‌های رشد و تأمین مقادیر کافی عناصر غذایی نسبت دادند. طاهری و همکاران (Taheri, Ajam Norozi, & Namni, 2000) بیان داشتند بر اثر تنش خشکی، تعادل تغذیه‌ای گیاه بر هم می‌خورد ولی با محلول‌پاشی عناصر ریزمغذی می‌توان این مواد را به سرعت در

زیستی و محلول پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و کمترین آن (۰/۵۰۲ میکرومول بر گرم وزن تر برگ) در عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۶). به نظر می رسد در شرایط تنش، فعالیت آنتی اکسیدان ها و سنتز ترکیبات با خاصیت آنتی اکسیدانی همانند آنتوسیانین ها برای محافظت از گیاه افزایش می یابد و فراهمی نیتروژن و دیگر عناصر به واسطه کاربرد باکتری های محرک رشد می تواند بر سنتز متابولیت های ثانویه از جمله آنتوسیانین از طریق افزایش فعالیت فیل آلانین آمونیاک لیا (PLA) تاثیر بگذارد (Yousefi, Jabbarzadeh, Amiri, Rasouli, Sadaghiani, & Shaygan, 2021). در این راستا ویتراک و همکاران (Vitrac et al., 2000) علت افزایش آنتوسیانین در کاربرد کودهای زیستی را به جذب بهتر منیزیم و کلسیم در حضور این کودها نسبت دادند. از آنجایی که واحدهای سازنده فلاونوئیدها نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این موضوع که حضور عناصری نظیر نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیب های فوق ضروری است، احتمال دارد کاربرد باکتری های محرک رشد از طریق جذب کارآمد فسفر و نیتروژن توسط ریشه، موجب افزایش محتوای آنتوسیانین شده است (Hassan, 2009). علاوه بر این، به نظر می رسد ریشه گیاهان تلقیح شده با کودهای زیستی به دلیل توانایی در ساخت و ترشح مواد بیولوژیک فعال مانند ویتامین های گروه B، اسید نیکوتیک، اسید پنتوتیک، بیوتین، اکسین ها، جیبرلین ها، موجب افزایش محتوای ماده آلی و هیدرات کربن گیاه و در نتیجه افزایش آنتوسیانین شده است (Rodriguez & Fraga, 1999). نتایج مشابهی نیز مبنی بر افزایش میزان آنتوسیانین در کاربرد نانواکسید آهن توسط دیگر پژوهشگران گزارش شده است (Fathi Amirkhiz, Amini Dehaghi, & Heshmati, 2015b). افزایش مقدار رنگدانه های غیر آنزیمی (آنتوسیانین) با کاربرد آهن می تواند ضمن جلوگیری از تخریب کلروفیل ها، به طور غیرمستقیم موجب افزایش آنتوسیانین شود. چرا که آنتوسیانین ها از ساختارهای حساسی مانند غشاها حفاظت کرده و از زوال کلروفیل جلوگیری می کنند (Leng, Itamura, Yamamura, & Deng, 2000). سیلیکون نیز با پیشگیری از کاهش معنی دار آنتوسیانین در گیاه تربیتکاله تحت تنش خشکی، موجب کاهش اثرهای زیان بار خشکی بر سیستم فتوسنتزی می شود و می تواند مقاومت گیاه را نسبت به تنش خشکی افزایش دهد (Shen et al., 2010).

شاخص کلروفیل: با افزایش محدودیت آبی، شاخص سبزیگی برگ ها کاهش و با کاربرد کودهای زیستی و نانواکسید آهن و نانوسیلیکون مقدار این شاخص افزایش یافت (جدول ۷). حداکثر این شاخص (۶۴/۲۳) در شرایط آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی

و محلول پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون مشاهده شد، که از افزایش ۴۵/۱۱٪ نسبت به شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن و عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی برخوردار بود (جدول ۷). به نظر می رسد در شرایط محدودیت آبی به دلیل کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک آهن در خاک کاهش یافته و گیاه به طور فزاینده ای با کمبود آهن مواجه می گردد. در چنین شرایطی به دلیل نقش آهن در ترکیبات مهم و فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند ساخت کلروفیل و فعالیت برخی آنزیم ها، موجب می شود که دریافت انرژی نورانی و توسعه کلروپلاست در حضور آهن بهبود یابد (Hadi, Seyed Orabi, Sharifi, & Namvar, 2016). اورابی و همکاران (Salman, & Shalaby, 2010) بیان کردند تنش های محیطی از جمله خشکی به دلیل افزایش غلظت تنظیم کننده های رشد مانند آسبیزیک اسید و اتیلن که تحریک کننده آنزیم کلروفیلز هستند موجب می شود کلروفیل بر اثر این آنزیم تجزیه شود. سیدشریفی و نامور (Seyed Sharifi & Namvar, 2016) اثرات مفید تلقیح بذر با باکتری در افزایش محتوای کلروفیل را به در دسترس بودن بالاتر نیتروژن به واسطه تثبیت نیتروژن توسط کودهای زیستی نسبت دادند. نریمانی و همکاران (Narimani, Seyed Sharifi, Khalilzadeh, & Aminzadeh, 2018) گزارش کردند که کاربرد نانواکسید آهن منجر به بهبود محتوای کلروفیل حتی در شرایط کشت دیم شد. سیلیکون با قرار گرفتن در آپوپلاست دیواره های خارجی سلول های اپیدرمی علاوه بر استحکام برگ، موجب تولید بافت ناهمواری در دو سطح برگ می شود؛ که این امر موجب به تاخیر در پیری در نتیجه افزایش محتوای کلروفیل می گردد (Gong, Zhu, Chen, Wang, & Zhang, 2005).

ارتفاع بوته و طول سنبله: بیشترین ارتفاع بوته و طول سنبله (به ترتیب ۱۰۳/۲۵ و ۱۴/۷۶ سانتی متر) در ترکیب تیماری آبیاری کامل، مصرف توام کودهای زیستی و محلول پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون مشاهده شد، این ترکیب تیماری از افزایش (به ترتیب ۴۹/۳۱ و ۵۳/۷۵٪) ارتفاع بوته و طول سنبله نسبت به عدم محلول پاشی و مصرف کودهای زیستی در شرایط قطع آبیاری در تورم غلاف برگ پرچم (غلاف رفتن) برخوردار بود (جدول ۷). در پژوهشی فاروق و همکاران (Farooq, Wahid, & Lee, 2009) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی افزایش رقابت بین بخش هوایی و ریشه در گیاه برای جذب رطوبت، موجب می شود گیاه مواد فتوسنتزی بیشتری را به ریشه در مقایسه با اندام هوایی تخصیص داده و همین رخداد موجب کاهش اختصاص مواد فتوسنتزی به اندام هوایی و در نهایت موجب کاهش ارتفاع بوته می شود. همچنین به نظر می رسد محدودیت آبی موجب اختلال در فتوسنتز و کاهش تولید مواد فتوسنتزی قابل عرضه به اندام های در حال رشد گیاه و نهایتاً عدم

محللول پاشی نانو اکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل، از افزایش ۷۰/۵۸ و ۶۴/۹۰٪ به ترتیب تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محللول پاشی تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد بروز تنش با کاهش طول دوره رشدی گیاه و کمبود تولید و عرضه مواد فتوسنتزی و همچنین افزایش رقابت درون بوته‌ای موجب ریزش گل‌ها و کاهش تعداد دانه در سنبله شده است. فرمینی و همکاران (Farmahini, Mirzakhani, & Sajedi, 2014) اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، میزان رشد رویشی و مواد فتوسنتزی گیاه کاهش می‌یابد. این شرایط موجب کاهش گرده‌افشانی گل‌ها و کاهش تبدیل گل به دانه می‌شود. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و محللول پاشی نانو اکسید آهن و نانو سیلیکون در شرایط محدودیت آبی با افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۷) و بهبود اجزای پرشدن دانه (جدول ۶) موجب افزایش تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه (جدول ۷) شده است. عبادی و همکاران (Abadi et al., 2021) افزایش ۴۵/۹۶٪ تعداد دانه در سنبله جو را تحت تاثیر باکتری محرک رشد برآورد نمودند.

دستیابی گیاه به پتانسیل ژنتیکی از نظر ارتفاع می‌شود (Naderi Darbaghshahy et al., 2004). بخشی از افزایش ارتفاع بوته در کاربرد باکتری‌های محرک رشدی می‌تواند ناشی از افزایش محتوای کلروفیل باشد که موجب تولید مواد فتوسنتزی بیشتر و در نتیجه افزایش ارتفاع بوته و طول سنبله می‌شود (Mohammadi Kale Sarlou et al., 2021). به نظر می‌رسد مصرف آهن در شرایط کم آبیاری، با کمک به افزایش محتوای کلروفیل و فتوسنتز، موجب افزایش تولید مواد پرورده و افزایش ارتفاع گیاه می‌شود (Narimani et al., 2019). مصرف سیلیکون نیز به دلیل بهبود توانایی برگ‌ها در جذب نور و ظرفیت فتوسنتزی، ارتفاع بوته را افزایش می‌دهد و از این رو افزایش طول سنبله به عنوان بخشی از اندام هوایی در چنین شرایطی قابل انتظار است (Gong, Chen, Chen, Wang, & Zhang, 2003).

تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطوح آبیاری، کاربرد کودهای زیستی و محللول پاشی نانو اکسید آهن و نانو سیلیکون اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه داشت (جدول ۵). کاربرد کودهای زیستی و

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانو اکسید آهن و نانو سیلیکون بر آنتوسیانین و اجزای پرشدن دانه تریتیکاله
Table 4- Analysis of variance of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on the anthocyanin and grain filling components of triticale

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean Square)				
		حداکثر وزن دانه Maximum grain weight	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain filling period	طول دوره‌ی پرشدن دانه Grain filling period	آنتوسیانین Anthocyanin
تکرار Replication	2	0.000308**	0.0000063**	854.648**	2580.512**	0.8475**
آبیاری Irrigation (I)	2	0.001314**	0.00000001**	341.487**	78.539**	0.2049**
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	0.000553**	0.00000002**	122.163**	81.864**	0.0958**
محللول پاشی نانوذرات Foliar application of nanoparticles (N)	3	0.000173**	0.00000001**	32.332**	36.011**	0.0642**
I×B	6	0.000024**	0.00000001 ^{ns}	8.328**	8.544**	0.0027**
I×N	6	0.000008 ^{ns}	0.00000001*	3.825*	4.120 ^{ns}	0.0022**
B×N	9	0.000019**	0.00000001**	6.494**	5.114*	0.0050**
I×B×N	18	0.000009**	0.00000001**	4.883**	4.958**	0.0027**
خطا Error	94	0.0000045	0.00000000	1.52	2.22	0.00081
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	4.3	2.8	4.4	4.1	4.3

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد تریتیکاله

Table 5- Analysis of variance of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on chlorophyll index, yield, and yield components of triticale

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات (Mean square)						
		پروتئین برگ پرچم Flag leaf protein	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	وزن هزار دانه 1000 Grains weight	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	طول سنبله Spike length	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه Grain yield
تکرار Replication	2	45.566**	1122.45**	3840.00**	1267.00**	83.736**	15220.56**	9294.906**
آبیاری Irrigation (I)	2	62.621**	726.92**	1037.18**	1133.25**	23.106**	2267.59**	52308.475**
کودهای زیستی Bio Fertilizers (B)	3	51.312**	602.25**	619.34**	612.80**	10.571**	1296.91**	5558.409**
محلول پاشی نانوذرات Foliar application of nanoparticles (N)	3	11.422**	199.23**	383.14**	440.04**	9.118**	703.60**	8358.028**
I×B	6	0.948**	6.44 ^{ns}	22.13**	31.52**	0.541 ^{ns}	132.53**	2324.678**
I×N	6	0.468 ^{ns}	17.44*	5.53 ^{ns}	9.73 ^{ns}	0.179 ^{ns}	22.03 ^{ns}	1610.903*
B×N	9	0.660*	22.15**	13.98**	14.38**	0.641*	27.67 ^{ns}	2495.992**
I×B×N	18	0.518*	13.85*	7.91*	9.76*	0.508*	25.90*	2383.894**
خطا Error	94	0.295	8.19	4.49	5.70	0.301	14.92	764.00
ضریب تغییرات (%) CV (%)	-	4.8	5.2	4.7	5.1	4.6	4.3	5.1

ns, * و ** به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and ** are non-significant, significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توام کودهای زیستی و محلول پاشی نانوذرات در شرایط آبیاری کامل از بالاترین عملکرد دانه (۶۰۴/۷۳) گرم در مترمربع) برخوردار بود، طوری که این ترکیب تیماری از افزایش ۴۳/۲۸٪ عملکرد دانه نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی و در آبیاری تا مرحله غلاف رفتن برخوردار بود (جدول ۷). از آن جایی که عملکرد دانه تابعی از اجزای عملکرد دانه است، به نظر می‌رسد افزایش معنی دار این صفات تحت تاثیر ترکیب تیماری آبیاری کامل، کاربرد توام کودهای زیستی و محلول پاشی نانوذرات موجب افزایش عملکرد دانه شده است (جدول ۷). به بیانی دیگر بخشی از تغییرات در روند عملکرد دانه را می‌توان به سرعت و طول دوره پرشدن دانه نسبت داد. بدین صورت که در حالت آبیاری کامل، سرعت و طول دوره پرشدن دانه افزایش یافت و این رخداد موجب شد که مواد بیشتری در دانه‌ها ذخیره شده و از این طریق موجب افزایش وزن دانه و عملکرد دانه شود. در شرایط قطع آبیاری و آبیاری کامل، بالا بودن شاخص کلروفیل (جدول ۷) در حالت کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانوذرات نیز می‌تواند بخشی از افزایش عملکرد را توصیف نماید.

به نظر می‌رسد کاربرد عناصر ریزمغذی با توجه به نقش آن‌ها در تشکیل دانه، افزایش دوام سطح برگ، بهبود فتوسنتز و تسهیم بهتر مواد فتوسنتزی به دانه (Movahedy Dehnavy & Modarres, 2009) به‌ویژه در کاربرد به شکل نانو ذرات به دلیل انحلال پذیری بیشتر و قابلیت نفوذ آسان‌تر در غشای سلولی، توانسته است از طریق تاثیر بر رشد و انتقال بهتر مواد فتوسنتزی، موجب افزایش وزن هزار دانه شود. نریمانی و همکاران (Narimani et al., 2018) افزایش تعداد دانه در سنبله در شرایط محلول پاشی ۰/۹ گرم بر لیتر نانو اکسید آهن نسبت به شرایط بدون محلول پاشی گزارش کردند. اپستین و بلوم (Epstein & Bloom, 2005) اظهار نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش خشکی با انتقال مواد فتوسنتزی بیش‌تر به اندام زایشی، موجب افزایش تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و در نهایت عملکرد دانه گندم می‌شود. فلاح و همکاران (Fallah, Visperas, & Alejar, 2004) اظهار داشتند که سیلیکون از طریق کاهش اثر تنش خشکی، تعداد دانه در سنبله و تعداد سنبله در سنبله برنج را افزایش داد.

عملکرد دانه: نتایج نشان داد که اثر ترکیب تیماری آبیاری، نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون و کودهای زیستی بر عملکرد دانه در

جدول ۶- مقایسه میانگین تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانو اکسید آهن و نانو سیلیکون بر آنتوسیانین و اجزای پرشدن دانه تربتی کاله

Table 6- Means comparison of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide, and nano silicon on the anthocyanin and grain-filling components of triticale

ترکیب تیماری Treatments	آنتوسیانین Anthocyanin ($\mu\text{g.g F.W}$)	حداکثر وزن دانه Maximum grain weight (g)	سرعت پرشدن دانه Grain filling rate (g.day^{-1})	دوره موثر پرشدن دانه Effective grain filling period (day)	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period (day)	معادله برازش شده The equation is fitted
$I_0 \times B_0 \times N_0$	0.502	0.0496	0.00180	28.13	37.00	$y=0.0018x-0.0172$
$I_0 \times B_1 \times N_0$	0.543	0.0532	0.00183	29.45	37.47	$y=0.00183x-0.0179$
$I_0 \times B_2 \times N_0$	0.527	0.0508	0.00183	28.29	36.93	$y=0.00183x-0.0175$
$I_0 \times B_3 \times N_0$	0.526	0.0543	0.00182	30.33	37.79	$y=0.00182x-0.0181$
$I_0 \times B_0 \times N_1$	0.559	0.0448	0.00183	25.04	34.21	$y=0.00183x-0.0185$
$I_0 \times B_1 \times N_1$	0.565	0.0566	0.00186	31.07	37.78	$y=0.00186x-0.0156$
$I_0 \times B_2 \times N_1$	0.539	0.0582	0.00182	32.63	35.66	$y=0.00182x-0.0161$
$I_0 \times B_3 \times N_1$	0.726	0.0590	0.00179	33.65	40.36	$y=0.00179x-0.0165$
$I_0 \times B_0 \times N_2$	0.535	0.0486	0.00178	27.88	36.80	$y=0.00178x-0.0169$
$I_0 \times B_1 \times N_2$	0.624	0.0581	0.0019	31.17	36.08	$y=0.0019x-0.016$
$I_0 \times B_2 \times N_2$	0.591	0.0570	0.00180	32.31	40.49	$y=0.00180x-0.0158$
$I_0 \times B_3 \times N_2$	0.743	0.0589	0.00185	32.64	38.28	$y=0.00185x-0.0194$
$I_0 \times B_0 \times N_3$	0.543	0.0545	0.00180	30.86	38.31	$y=0.00180x-0.0181$
$I_0 \times B_1 \times N_3$	0.612	0.0594	0.00186	32.57	40.73	$y=0.00186x-0.0165$
$I_0 \times B_2 \times N_3$	0.686	0.0586	0.00183	32.66	40.73	$y=0.00183x-0.0162$
$I_0 \times B_3 \times N_3$	0.730	0.0604	0.00203	30.39	40.06	$y=0.00203x-0.0197$
$I_1 \times B_0 \times N_0$	0.574	0.0439	0.00183	24.54	34.10	$y=0.00183x-0.0186$
$I_1 \times B_1 \times N_0$	0.602	0.0452	0.00181	25.53	34.33	$y=0.00181x-0.0188$
$I_1 \times B_2 \times N_0$	0.601	0.0460	0.00186	25.27	34.49	$y=0.00186x-0.019$
$I_1 \times B_3 \times N_0$	0.638	0.0491	0.00179	28.02	36.51	$y=0.00179x-0.0172$
$I_1 \times B_0 \times N_1$	0.582	0.0443	0.00183	24.79	34.07	$y=0.00183x-0.0186$
$I_1 \times B_1 \times N_1$	0.709	0.0501	0.00181	28.26	34.29	$y=0.00181x-0.0174$
$I_1 \times B_2 \times N_1$	0.712	0.0526	0.00185	28.99	37.69	$y=0.00185x-0.0177$
$I_1 \times B_3 \times N_1$	0.697	0.0556	0.00184	30.71	37.75	$y=0.00184x-0.0154$
$I_1 \times B_0 \times N_2$	0.611	0.0454	0.00186	24.96	34.32	$y=0.00186x-0.019$
$I_1 \times B_1 \times N_2$	0.702	0.0491	0.00182	27.32	36.29	$y=0.00182x-0.0174$
$I_1 \times B_2 \times N_2$	0.661	0.0503	0.00182	28.24	37.14	$y=0.00182x-0.0175$
$I_1 \times B_3 \times N_2$	0.762	0.0564	0.00193	29.89	40.50	$y=0.00193x-0.0155$
$I_1 \times B_0 \times N_3$	0.654	0.0477	0.00177	27.55	36.48	$y=0.00177x-0.0169$
$I_1 \times B_1 \times N_3$	0.698	0.0515	0.00183	28.71	37.57	$y=0.00183x-0.0176$
$I_1 \times B_2 \times N_3$	0.720	0.0508	0.00181	28.59	39.12	$y=0.00181x-0.018$
$I_1 \times B_3 \times N_3$	0.754	0.0575	0.00185	31.60	38.03	$y=0.00185x-0.0187$
$I_2 \times B_0 \times N_0$	0.646	0.0387	0.00165	24.00	32.77	$y=0.00165x-0.0172$
$I_2 \times B_1 \times N_0$	0.677	0.0420	0.00179	24.13	34.46	$y=0.00179x-0.015$
$I_2 \times B_2 \times N_0$	0.693	0.0429	0.00180	24.27	34.20	$y=0.00180x-0.0182$
$I_2 \times B_3 \times N_0$	0.723	0.0483	0.00183	26.92	38.95	$y=0.00183x-0.0172$
$I_2 \times B_0 \times N_1$	0.667	0.0399	0.00175	23.35	32.91	$y=0.00175x-0.0179$
$I_2 \times B_1 \times N_1$	0.757	0.0415	0.00180	23.64	36.77	$y=0.00180x-0.0185$
$I_2 \times B_2 \times N_1$	0.737	0.0459	0.00187	25.08	34.38	$y=0.00187x-0.0192$
$I_2 \times B_3 \times N_1$	0.804	0.0482	0.00178	27.64	36.55	$y=0.00178x-0.0171$
$I_2 \times B_0 \times N_2$	0.641	0.0403	0.00182	22.72	32.96	$y=0.00182x-0.018$
$I_2 \times B_1 \times N_2$	0.720	0.0469	0.00184	29.67	35.57	$y=0.00184x-0.0188$
$I_2 \times B_2 \times N_2$	0.740	0.0409	0.00184	23.32	35.54	$y=0.00184x-0.0183$
$I_2 \times B_3 \times N_2$	0.790	0.0521	0.00179	24.32	38.57	$y=0.00179x-0.0171$
$I_2 \times B_0 \times N_3$	0.682	0.0420	0.00185	26.42	33.37	$y=0.00185x-0.0184$
$I_2 \times B_1 \times N_3$	0.759	0.0432	0.00182	24.32	38.44	$y=0.00182x-0.0186$
$I_2 \times B_2 \times N_3$	0.789	0.0470	0.00182	26.42	34.66	$y=0.00182x-0.0196$
$I_2 \times B_3 \times N_3$	0.817	0.0551	0.0019	29.59	38.22	$y=0.0019x-0.0182$
LSD	0.045	0.0034	0.0001	1.99	2.41	-

I_0 ، I_1 و I_2 به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبه و تورم غلاف برگ پرچم. B_0 ، B_1 ، B_2 و B_3 به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلیوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلیوم. N_0 ، N_1 ، N_2 و N_3 به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانو اکسید آهن و محلول پاشی نانو سیلیکون.

میانگین های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I_0 ، I_1 ، and I_2 indicate full irrigation, irrigation withholding at the heading, and booting stage respectively. B_0 ، B_1 ، B_2 and B_3 are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azospirillum, both application azospirillum and pseudomonas. N_0 ، N_1 ، and N_2 are no foliar applications, nano iron oxide foliar applications, nano silicon foliar applications, and nano iron-silicon foliar applications. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

جدول ۷- مقایسه میانگین تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر شاخص کلروفیل، عملکرد و اجزای عملکرد
Table 7- Means comparison of the effect of irrigation levels, biofertilizers, nano iron oxide and nano silicon on chlorophyll index, yield and yield components of tritcale

ترکیب تیماری Treatments	شاخص کلروفیل Chlorophyll index	پروتئین برگ پرچم Flag leaf protein (%)	وزن هزار دانه 1000 Grains weight (g)	تعداد دانه در سنبله Number of grains per spike	طول سنبله Spike length (cm)	ارتفاع بوته Plant height (cm)	عملکرد دانه Grain yield (g.m ⁻²)
I ₀ ×B ₀ ×N ₀	53.90	10.68	42.85	45.33	11.58	88.75	528.80
I ₀ ×B ₁ ×N ₀	57.36	12.09	46.03	50	12.06	91.85	564.58
I ₀ ×B ₂ ×N ₀	57.46	11.81	47.28	48.33	12.13	93.40	539.35
I ₀ ×B ₃ ×N ₀	61.63	13.22	48.27	51	12.00	87.47	570.10
I ₀ ×B ₀ ×N ₁	55.13	10.96	44.57	47.33	11.76	92.45	550.25
I ₀ ×B ₁ ×N ₁	60.13	12.37	51.07	52	12.96	97.25	586.00
I ₀ ×B ₂ ×N ₁	57.56	12.37	48.15	55.33	13.16	100.60	578.55
I ₀ ×B ₃ ×N ₁	63.00	14.07	54.65	56.66	12.68	96.80	588.81
I ₀ ×B ₀ ×N ₂	50.93	11.25	45.65	48.33	11.91	90.10	562.56
I ₀ ×B ₁ ×N ₂	54.93	12.66	54.61	54	12.80	99.25	566.10
I ₀ ×B ₂ ×N ₂	61.00	12.94	49.54	47.66	12.76	98.56	583.15
I ₀ ×B ₃ ×N ₂	62.83	13.78	53.45	56	13.56	102.30	593.76
I ₀ ×B ₀ ×N ₃	55.36	11.25	49.23	52	12.16	93.60	573.30
I ₀ ×B ₁ ×N ₃	63.23	13.78	53.32	56.66	13.36	102.50	596.96
I ₀ ×B ₂ ×N ₃	62.33	13.50	52.43	56	13.26	101.50	590.43
I ₀ ×B ₃ ×N ₃	64.23	14.35	55.97	58	14.76	103.25	604.73
I ₁ ×B ₀ ×N ₀	46.10	9.55	35.32	37.33	10.86	76.25	470.73
I ₁ ×B ₁ ×N ₀	46.83	10.12	37.24	38.66	10.96	80.55	491.40
I ₁ ×B ₂ ×N ₀	50.43	9.55	40.27	42.33	11.06	83.10	501.30
I ₁ ×B ₃ ×N ₀	59.66	12.66	42.19	44.66	11.71	94.35	507.80
I ₁ ×B ₀ ×N ₁	48.96	9.55	36.56	38.33	10.96	78.35	488.30
I ₁ ×B ₁ ×N ₁	53.10	10.96	44.31	41.33	11.21	87.15	526.68
I ₁ ×B ₂ ×N ₁	55.76	10.40	43.57	49.33	11.26	85.43	520.01
I ₁ ×B ₃ ×N ₁	60.70	11.89	51.29	53.33	12.83	99	554.85
I ₁ ×B ₀ ×N ₂	52.13	9.84	37.56	39.66	11.08	81.42	496.16
I ₁ ×B ₁ ×N ₂	52.16	11.53	39.21	46.33	11.96	88.13	523.48
I ₁ ×B ₂ ×N ₂	54.20	10.68	45.46	47.33	11.56	88.58	532.96
I ₁ ×B ₃ ×N ₂	56.10	13.22	52.09	54.33	12.40	99.75	546.30
I ₁ ×B ₀ ×N ₃	48.73	9.84	41.56	44.33	11.76	82.50	515.08
I ₁ ×B ₁ ×N ₃	56.86	12.09	48.34	50.66	11.16	91.85	563.11
I ₁ ×B ₂ ×N ₃	57.96	11.81	50.12	52.33	12.06	96.50	535.76
I ₁ ×B ₃ ×N ₃	61.86	13.50	52.76	55.33	13.16	100.65	575.98
I ₂ ×B ₀ ×N ₀	44.26	8.71	33.94	34	9.60	69.15	422.05
I ₂ ×B ₁ ×N ₀	45.76	9.27	36.12	38	10.91	79.40	450.71
I ₂ ×B ₂ ×N ₀	48.06	9.84	35.76	36.66	11.48	72.15	435.86
I ₂ ×B ₃ ×N ₀	49.50	10.12	40.41	42.66	10.76	83.48	454.78
I ₂ ×B ₀ ×N ₁	45.03	8.99	34.08	35.66	10.46	71.45	439.41
I ₂ ×B ₁ ×N ₁	50.96	10.04	39.35	43.33	11.35	86.20	480.10
I ₂ ×B ₂ ×N ₁	50.20	10.40	41.32	39.66	11.48	81.65	463.06
I ₂ ×B ₃ ×N ₁	57.16	12.66	47.86	50.66	12.06	94.30	493.33
I ₂ ×B ₀ ×N ₂	50.36	8.99	34.18	41	11.31	73.65	444.68
I ₂ ×B ₁ ×N ₂	47.26	10.40	43.09	41	11.18	74.90	466.28
I ₂ ×B ₂ ×N ₂	51.36	10.12	41.85	43.66	11.11	86.35	475.38
I ₂ ×B ₃ ×N ₂	59.00	11.81	46.37	49	12.21	90.82	511.38
I ₂ ×B ₀ ×N ₃	46.50	9.27	38.42	40.33	11.61	77.28	458.26
I ₂ ×B ₁ ×N ₃	55.36	10.40	43.54	46	11.98	89.24	489.55
I ₂ ×B ₂ ×N ₃	56.36	11.53	44.89	46.66	11.70	92.50	504.51
I ₂ ×B ₃ ×N ₃	60.50	12.66	50.32	53	12.80	98	542.71
LSD	4.64	0.881	3.43	3.87	0.889	6.26	18.15

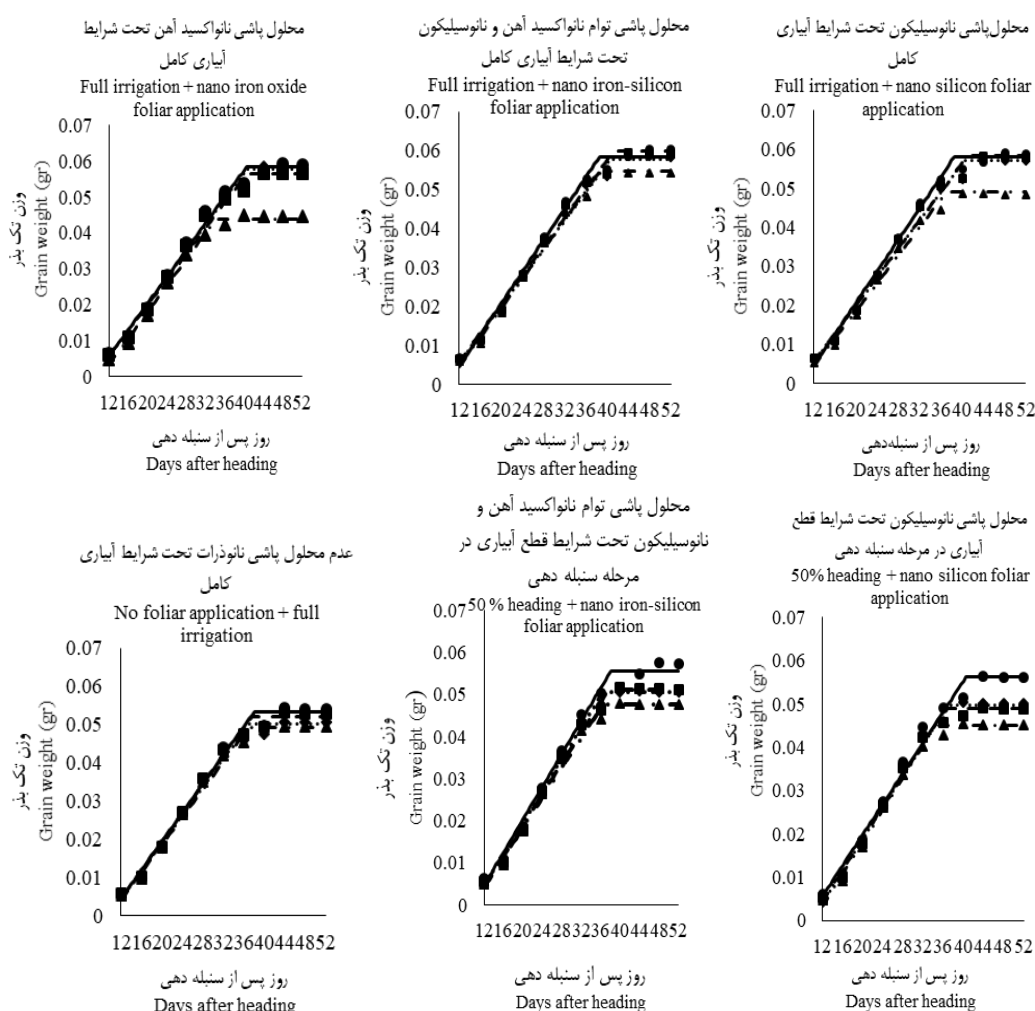
I₀، I₁ و I₂ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله ظهور سنبله و تورم غلاف برگ پرچم. B₀، B₁، B₂ و B₃ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلیوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلیوم. N₀، N₁، N₂ و N₃ به ترتیب عدم محلول پاشی، محلول پاشی نانواکسید آهن و محلول پاشی نانوسیلیکون.

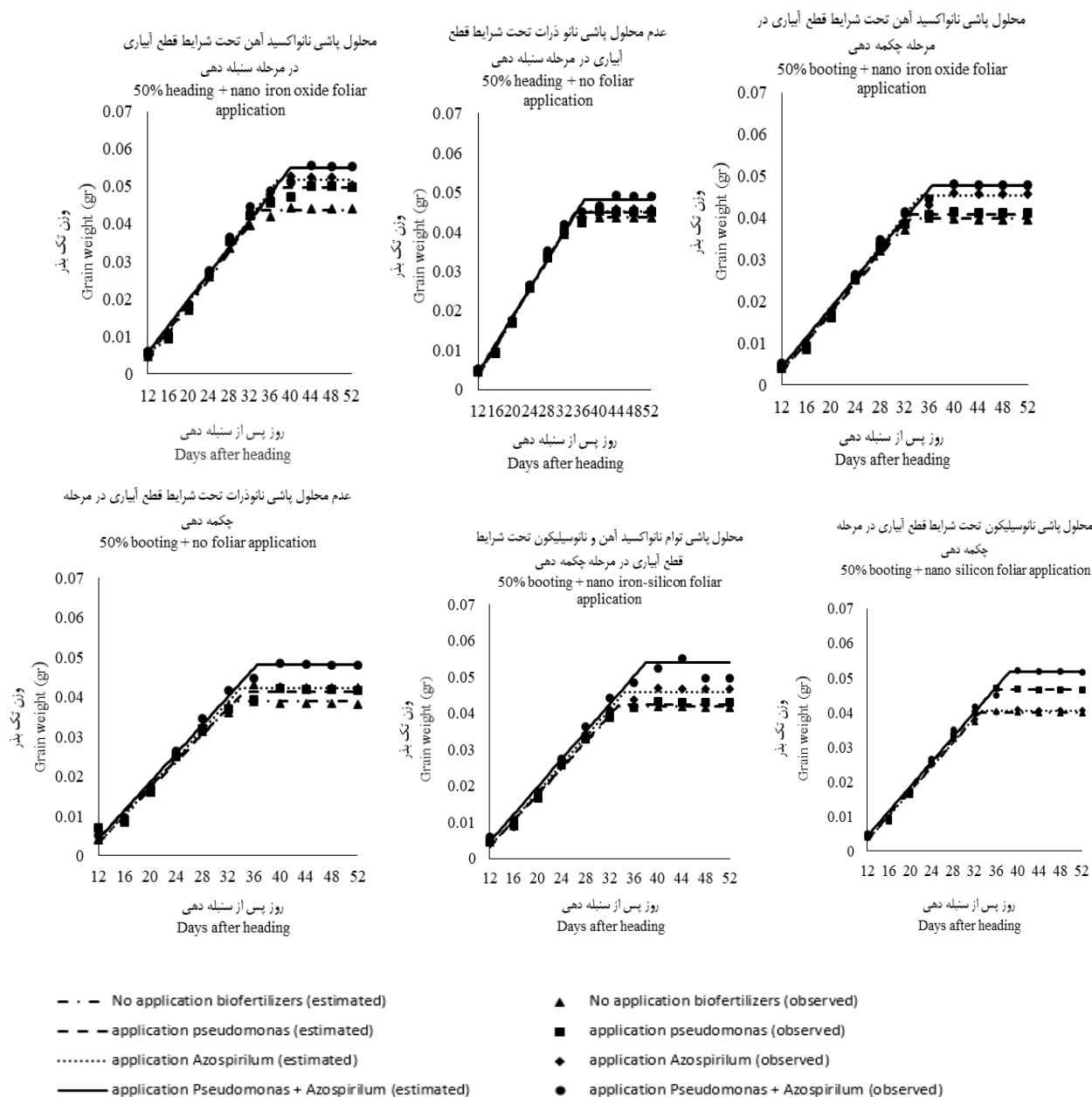
میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD با هم ندارند.

I₀، I₁ and I₂ indicate full irrigation, irrigation withholding at the heading, and booting stage respectively. B₀، B₁، B₂ and B₃ are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azospirillum, both application azospirillum and pseudomonas. N₀، N₁، and N₂ are no foliar applications, nano iron oxide foliar applications, nano silicon foliar applications, and nano iron-silicon foliar applications. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test.

پر شدن دانه موجب افزایش عملکرد تحت شرایط محدودیت آبی شده است (Narimani *et al.*, 2019). بخشی از افزایش عملکرد دانه در محلول پاشی نانوسیلیکون تحت شرایط محدودیت آبی را می توان به اثر این عنصر در بهبود شاخص سبزیگی نسبت داد. اپستین و بلوم (Epstein & Bloom, 2005)، بیان نمودند کاربرد سیلیکون تحت شرایط تنش آبی از طریق افزایش جذب عناصر، میزان فتوسنتز را افزایش داده و سبب انتقال مواد فتوسنتزی بیشتر به اندام های زایشی شده که افزایش تعداد سنبله در واحد سطح، دانه در سنبله وزن هزاردانه و در نهایت عملکرد دانه را به همراه دارد.

بخشی از افزایش عملکرد دانه به واسطه تلقیح بذر با باکتری های محرک رشد را می توان به افزایش شاخص کلروفیل (جدول ۷) و بهبود اجزای پر شدن دانه (سرعت، طول دوره و دوره موثر پر شدن دانه) (جدول ۶) نسبت داد که ضمن افزایش وزن و تعداد دانه (جدول ۷)، موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۷) شده است. در این راستا محمدی کله سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2021) اظهار داشتند که کاربرد باکتری محرک رشد از طریق افزایش محتوای کلروفیل، افزایش تعداد و وزن دانه موجب بهبود سرعت و طول دوره پر شدن و عملکرد گیاه چاندم تحت شرایط تنش شد. از آنجایی که آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد. با افزایش آهن در برگ، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته و فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و با بهبود سرعت و طول دوره





شکل ۱- تاثیر سطوح آبیاری، کودهای زیستی، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون بر پرشدن دانه تریتیکاله
Figure 1- The effect of irrigation levels, biofertilizers, and nano iron- silicon oxide on grain filling of triticale

نتیجه گیری

در نهایت عملکرد دانه تریتیکاله نسبت به شرایط عدم کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله غلاف رفتن شد. به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی نانو ذرات با تعدیل اثرات خشکی می توانند در بهبود عملکرد، سرعت و طول دوره پرشدن دانه موثر واقع شوند.

کاربرد توام کودهای زیستی و محلول پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون در شرایط آبیاری کامل با افزایش محتوای کلروفیل موجب افزایش حداکثر وزن دانه، طول دوره و دوره موثر پرشدن دانه تریتیکاله شد. همچنین این ترکیب تیماری موجب افزایش ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، پروتئین برگ پرچم و

References

1. Abadi, N., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of supplementary irrigation and application of mycorrhiza and azetobacter on grain filling components of rain fed barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Plant Environmental Physiology*, 16(61), 64-79. (in Persian). <https://doi.org/10.30495/iper.2021.679523>
2. Abdelaal, K. A. A., EL-Shawy, E. A., Hafez, Y. M., Abdel-Dayem, S. M., Chidya, R. C. G., Saneoka, H., & ELSabagh, A. (2020). Nano-Silver and non-traditional compounds mitigate the adverse effects of net blotch disease of barley in correlation with up-regulation of antioxidant enzymes. *Pakistan Journal of Botany*, 52, 1065-1072. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-3\(13\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-3(13))
3. Ahmadi Nouraldin, F., Seyedsharifi, R., Siadat, S. A., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of nano silicon concentrations and ibo-fertilizer on yield and grain filling components of wheat in different irrigation regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 91-105. (in Persian). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2021.67258.0>
4. AL Kahtani, M. D. F., Fouda, A., Attia, K., Al-Otaibi, F., Eid, A. M., Ewais, E., Hijri, M., St-Arnaud, M., Hassan, S., Khan, N., et al., (2020). Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Endophytic Bacteria from Desert Plants and Their Application as Bioinoculants for Sustainable Agriculture. *Agronomy*, 10, 1325. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091325>
5. Amirinejad, M., Akbari, G. A., Bagherizadeh, A., Allahdadi, I., Shahbazi, M., & Naimi, M. (2015). Effects of drought stress and foliar application of zinc and iron on some biochemical parameters of cumin. *Journal of Crops Improvement*, 17(4), 866-855. (in Persian). <https://doi.org/10.22059/jci.2015.55136>
6. Ansari, S., Mirmohammady Maibody, S. A. M., Arzani, A., & Golkar, P. (2018). Evaluation of Different Triticale (X Triticosecale Wittmack) Genotypes for Agronomic and Qualitative Characters. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4(15), 872-884. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v15i4.55994>
7. Babaeian, M., Piri, I., Tavassoli, A., Esmailianand, Y., & Gholami, H. (2011). Effect of water stress and micronutrients (Fe, Zn and Mn) on chlorophyll fluorescence, leaf chlorophyll content and sunflower nutrient uptake in sistian region. *African Journal of Agricultural Research*, 6, 3526-3531. <https://doi.org/10.5897/AJAR10.1142>
8. Baveye, P. C., Schnee, L. S., Boivin, P., Laba, M., & Radulovich, R. (2020). Soil organic matter research and climate change: merely re-storing carbon versus restoring soil functions. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 161-169. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.579904>
9. Bezabih, A., Girmay, G., & Lakewu, A. (2019). Performance of triticale varieties for the marginal highlands of Wag-Lasta, Ethiopia. *Cogent Food and Agriculture*, 5, 1-11. <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1574109>
10. 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, 248. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
11. Ellis, R. H., & Pieta-Filho, C. (1992). The development of seed quality spring and winter cultivars of barley and wheat. *Seed Science Research*, 2, 19-25. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001057>
12. Eneji, A. E., Inanaga, S., Muranaka, S., Li, J., Hattori, T., An, P., & Tsuji, W. (2008). Growth and nutrient use in four grasses under drought stress as mediated by silicon fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 31(2), 355-365. <https://doi.org/10.1080/01904160801894913>
13. Epstein, E., & Bloom, A. (2005). Mineral Nutrition of plant: principles and perspectives. Ed2, Sinaver Associates, Sunderland, MA.
14. Fahad, S., Ahmad, M., Akbar Anjum, M., & Hussain, S. (2014). The effect of micronutrients (B, Zn and Fe) foliar application on the growth, flowering and corm production of gladiolus (*Gladiolus grandiflorus* L.) in calcareous soils. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16, 1671-1682. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2014.16.7.10.6>
15. Fallah, A., Visperas, R. M., & Alejar, A. A. (2004). The interactive effect of silicon and spikelet filling in rice (*Oryza sativa* L.). *The Philippine Agricultural Scientist*, 87, 174-176.
16. FAO. (2017). Food and agriculture organization of the united nation. Quarterly bulletin of Statistics. Remote, Italy.
17. Farmahini, M., Mirzakhani, M., & Sajedi, N. (2014). Effect of water stress and absorbent materials application on yield and components yield of fall wheat. *Science-Research Quarterly Journal New Finding in Agriculture*, 7(2), 263-274.
18. Farooq, M., Wahid, A., & Lee, D. J. (2009). Exogenously applied polyamines increase drought tolerance of rice by improving leaf water status, photosynthesis and membrane properties. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 937-945.
19. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015a). Effect of iron application methods on grain yield, yield components, oil content and fatty acids profile of spring safflower cv. Goldasht under deficit irrigation conditions. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 16(4), 308-321. (in Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.15625540.1393.16.4.4.5>
20. Fathi Amirkhiz, K., Amini Dehaghi, M., & Heshmati, S. (2015b). Study the effect of iron chelate on chlorophyll

- content, photochemical efficiency and some biochemical traits in Safflower under deficit irrigation condition. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(1), 137-145. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2015.54053>
21. Galavi, M., Ramroudi, M., & Tavassoli, A. (2012). Effect of micronutrients foliar application on yield and seed oil content of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Agricultural Research*, 7(3), 482-486. <https://doi.org/10.5897/AJAR11.1323>
 22. Galili, G., Tang, G., Zhu, X., & Gakiere, B. (2001). Lysine catabolism: a stress and development superregulated metabolic pathway. *Current Opinion in Plant Biology*, 4, 261-266. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(00\)00170-9](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(00)00170-9)
 23. Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought. *Journal Plant Nutrition*, 26, 1055-1063. <https://doi.org/10.1081/PLN-120020075>
 24. Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S., & Zhang, C. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in post under drought. *Plant Science*, 169, 313-321. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.023>
 25. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University press. 342 pp. (in Persian).
 26. Hassan, F. A. S. (2009). Response of *Hibiscus sabdariffa* L. plant to some biofertilization treatments. *Annals of Agricultural Science*, 54, 437-446.
 27. Kheirizadeh Arough, Y. (2016). *Effects of nano zinc oxide foliar application, arbuscular mycorrhizal fungus and free living nitrogen fixing bacteria on yield and some physiological traits of Triticale under salinity and water limitation condition*. PhD Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
 28. Leng, P., Itamura, H., Yamamura, H., & Deng, X. (2000). Anthocyanin accumulation in apple and peach shoots during cold acclimation. *Scientia Horticulturae*, 83, 43-50. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(99\)00065-5](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(99)00065-5)
 29. Mazaherinia, S., Astarai, A. R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn and Cu concentrations in wheat plant. *World Applied Sciences Journal*, 7(1), 36-40.
 30. Mita, S., Murano, N., Akaike, M., & Nakamura, K. (1997). Mutants of *Arabidopsis thaliana* with pleiotropic effects on the expression of the gene for beta-amylase and on the accumulation of anthocyanin those are inducible by sugars. *Plant Journal*, 11, 841-851. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313x.1997.11040841.x>
 31. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Sedghei, M., Narimani, H., & Khalilzadeh, R. (2021). Effects of salinity, vermicompost, humic acid and seed inoculation with flavobacterim on grain filling of triticale. *Journal of Agricultural Science and Sustainable*, 31(2), 250-269. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/saps.2021.13108>
 32. Movahedy Dehnavy, M., & Modarres Sanavy, S. A. M. (2009). Effect of Zn and Mn micronutrients on three winter safflowers under drought stress in Isfahan. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 13(2), 1-10. (in Persian).
 33. Naderi Darbaghshahy, M. R., Noor Mohammadi, Gh., Majidi, A., Darvish, F., Shirani Rad, A. M., & Madani, H. (2004). Effects of drought stress and plant density on ecophysiological traits of three safflower lines in summer planting in Isfahan Seed. *Journal of Plant Production*, 20, 281-296. <https://doi.org/10.22092/spij.2017.110584>
 34. Naderi, M. R., & Abedi, A. (2012). Application of nanotechnology in agriculture and refinement of environmental pollutants. *Nanotechnology Journal*, 11(1), 18-26.
 35. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2018). Effects of nano iron oxide on yield, chlorophyll fluorescence indices and some physiological traits of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rain fed and supplementary irrigation conditions. *Iranian journal of Plant Biology*, 3(10), 21-40. (in Persian). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.110895.1098>
 36. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., Khalilzadeh, R., & Aminzadeh, G. (2019). Effect of supplemental irrigation and nano iron oxide on chlorophyll content and filling components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed conditions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 12(3), 735-746. (in Persian). <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1478.1327>
 37. Orabi, S. A., Salman, S. R., & Shalaby, A. F. (2010). Increasing resistance to oxidative damage in cucumber (*Cucumis sativus* L.) plants by exogenous application of salicylic acid and paclobutrazol. *World Journal of Agricultural Sciences*, 6, 252-259.
 38. Qayyum, A., Al Ayoubi, S., Sher, A., Bibi, Y., Ahmad, S., Shen, Z., & Jenks, M. A. (2021). Improvement in drought tolerance in bread wheat is related to an improvement in osmolyte production, antioxidant enzyme activities, and gaseous exchange. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28, 5238-5249. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2021.05.040>
 39. Ramezani, M., Seghatoleslami, M., Mousavi, G., & Sayyari-Zahan, M. H. (2013). Effect of salinity and foliar application of iron and zinc on yield and water use efficiency of ajowan (*Carum copticum*). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7, 421-426. <https://doi.org/10.22077/escs.2017.634>
 40. Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2)

41. Ronanini, D., Savin, R., & Hal, A. J. (2004). Dynamic of fruit growth and oil quality of sunflower (*Helianthus annuus* L.) exposed to brief interval of high temperature during grain filling. *Field Crop Research*, 83, 79-90. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(03\)00064-9](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(03)00064-9)
42. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat to elevated CO₂ and water limitation. *Environmental Pollution*, 114, 187-194. [https://doi.org/10.1016/s0269-7491\(00\)00215-3](https://doi.org/10.1016/s0269-7491(00)00215-3)
43. Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Biofertilizers in Agronomy*. University of Mohaghegh Ardebili Press. Iran. Ardebil. (in Persian).
44. Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A. E., & Li, J. (2010). Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean antioxidative systems in two cottons. *General and Applied Plant Physiology*, 33, 221-234. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.04.011>
45. Taheri, G., Ajam Norozi, H., & Namni, M. (2000). Study of time and type of micronutrient on phenology, yield and yield components of soybean as the second crop in Golestan province. *Journal of Plant Ecophysiology*, 2, 56-46. (in Persian with English abstract).
46. Talha, M., Abdul, S., Ahmad, S., Sami, Ul-A., Muhammad, I., Muhammad, I., Madiha, B., & Mumtaz, C. (2021). Exogenous application of silicon improves the performance of wheat under terminal heat stress by triggering physio-biochemical mechanisms, *Scientific reports* 23170 (11).
47. Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, V. P., Prasad, S. M., Chauhan, D. K., & Dubey, N. K. (2016). Silicon nanoparticles more efficiently alleviate arsenate toxicity than silicon in maize cultivar and hybrid differing in Arsenate tolerance. *Frontiers in Environmental Science*, 46(4), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00046>
48. Vitrac, X., Larronde, F., Krisa, S., Decendit, A., Deffieux, G., & Méryllon, J. M. (2000). Sugar sensing and Ca²⁺ calmodulin requirement in *Vitis vinifera* cells producing anthocyanins. *Phytochemistry*, 53, 659-665. [https://doi.org/10.1016/s0031-9422\(99\)00620-2](https://doi.org/10.1016/s0031-9422(99)00620-2)
49. Yousefi, F., Jabbarzadeh, Z., Amiri, J., Rasouli-Sadaghiani, M. H., & Shaygan, A. (2021). Foliar application of polyamines improves some morphological and physiological characteristics of rose. *Folia Horticulturae*, 33(1), 1-10.
50. Zafari, M., Ebadi, A., & Jahanbakhsh Gode Kahriz, S. (2016). Synergistic Effects of *Glomus mosseae* and *Sinorhizobium meliloti* on Compatibility Metabolites of Alfalfa. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 26(3), 43-56. (in Persian).



Effects of Putrescine and Biofertilizers on Content of Na^+ and K^+ Root and Shoots, Stomatal Conductance, Leaf Area Index, and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress

A. Mohseni Mohammadjanlou¹, R. Seyed Sharifi^{2*}, S. Alipour³

Received: 10-10-2022

Revised: 11-12-2022

Accepted: 18-12-2022

How to cite this article:

Mohseni Mohammadjanlou, A., Seyed Sharifi, R., & Alipour, S. (2023). Effects of Putrescine and Biofertilizers on Content of Na^+ and K^+ Root and Shoots, Stomatal Conductance, Leaf Area Index, and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 221-241. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.79107.1202>

Introduction

Salinity is one of the major constraints to wheat growth, which hampers production, causing yield loss in arid and semi-arid regions. Reductions in growth resulting from high salinity are because of both osmotic stress, inducing a water deficit, and the effects of excess Na^+ and Cl^- ions on critical biochemical processes. Salt stress induces a significant reduction in photosynthesis through the reduction of leaf area and photosynthetic pigments. Several strategies have been developed to decrease the toxic effects caused by high salinity on plant growth. Among them, the use of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) such as *Pseudomonas* and *Mycorrhiza* play an important role in yield improvement. Many studies have been published on the beneficial effects of bacterial inoculation on plant physiology and growth under salt stress. One of the common hypotheses employed in most of the studies conducted under salinity stress was the lowering of ethylene level by the ACC-deaminase activities of PGPR and improved plant growth and yield under salinity stress.

It was reported that the application of *Pseudomonas* spp. improved plant growth by decreasing the uptake of Na^+ and increasing the activities of antioxidant enzymes under salinity stress. The selective uptake of K^+ as opposed to Na^+ is considered one of the important physiological mechanisms contributing to salt tolerance in many plant species. Inoculation with PGPR significantly decreased Na^+ uptake and increased K^+ content and enhanced levels of K^+ that could be to mitigate oxidative stress imposed by higher salinity. Some researchers have reported that PGPR species like *Azotobacter* and *Pseudomonas* increased the growth and biomass of canola (*Brassica napus* L.) under salinity stress.

A Better understanding of wheat physiological responses under salinity may help in programs in which the objective is to improve the grain yield under salinity stress. Therefore, this study aimed to evaluate the physiological, stomata conductance, along with root and shoot Na^+/K^+ ratios) of wheat to cycocel and PGPR application under salinity stress.

Material and Methods

A factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture and Natural Resources, the University of Mohaghegh Ardabili in 2018. The experimental factors included salinity at four levels (no-salinity as control, salinity 40, 80, and 120 mM NaCl based salinity), application of biofertilizers at four levels (no biofertilizers as control, mycorrhiza application, application of both *Pseudomonas* and *Flavobacterium*, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium*) and putrescine foliar application at three levels (foliar application with water

1- PhD Graduated in Agronomy, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2- Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

(*- Corresponding Author Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.79107.1202>

as control, foliar application of 0.5 and 1 mM putrescine). Mycorrhiza fungi were purchased from the Zist Fanavar Turan Institute and soils were treated based on the manufacturer's protocol of 20 g of inoculums per m² of soil. For inoculation, seeds were coated with gum Arabic as an adhesive and rolled into the suspension of bacteria until uniformly coated. The strains and cell densities of microorganisms used as PGPR in this experiment were 10⁷ colony-forming units (CFU). Humidity ranged from 60-65%. The wheat cultivar "Gascogne" was used in the experiment. The optimum density of cultivar "Gaskogen" is 400 seeds m⁻², so forty seeds of *wheat* were sown in each pot at a depth of 4 cm deep. The pots were immediately irrigated after planting. Nano putrescine zinc oxide powder was added to deionized water and was placed on ultrasonic equipment (100 w and 40 kHz) on a shaker for making a better solution. Foliar application with nano putrescine oxide was done in two stages of period growth (pre and post-4 booting stage).

Results and Discussion

The results showed that with increasing salinity, potassium content, stomata conductance, and leaf area index decreased but the application of putrescine and biofertilizers increased these traits. At the highest salinity level (120 mM), there was a decrease of 24.94 and 21.57% respectively in Na⁺ root and shoots in the application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim* and foliar application of 1 mM putrescine in comparison with no application biofertilizer and putrescine in same salinity level. At the highest salinity level, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim* and foliar application of 1 mM putrescine increased K⁺ root (47.76%), shoots (21.66%) and grain yield (28.57%) in comparison with no application biofertilizer and putrescine in same salinity level. It seems that the application of biofertilizers and putrescine can increase the grain yield of wheat under salinity stress due to improve stomata conductance and leaf area index.

Keywords: Biofertilizers, Mycorrhiza, Putrescine, Relative water content, Salinity

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۴۱-۲۲۱

تأثیر پوترسین و کودهای زیستی بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی، هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ و عملکرد گندم تحت تنش شوری

علیرضا محسنی محمدجانلو^۱، رئوف سیدشریفی^{۲*}، سعید علی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر کودهای زیستی و پوترسین بر بهبود محتوای سدیم و پتاسیم، هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ گندم تحت تنش شوری، آزمایش فاکتوریلی در قالب طرح پایه بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. عامل‌های آزمایشی شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری و شوری‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با نمک کلرید سدیم)، کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی به عنوان شاهد، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به عنوان شاهد، ۰/۵ و ۱ میلی‌مولار) شامل می‌شدند. نتایج نشان داد که با افزایش شوری محتوای پتاسیم، هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ کاهش یافت. ولی کاربرد کودهای زیستی و پوترسین این صفات را افزایش داد. در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) یک کاهش ۲۴/۹۴ و ۲۱/۵۷ درصدی به ترتیب در محتوای سدیم ریشه و اندام هوایی در کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در همان سطح شوری وجود داشت. در بالاترین سطح شوری، کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین محتوای پتاسیم ریشه (۴۷/۷۶ درصد) و اندام هوایی (۲۱/۶۶ درصد) و عملکرد دانه (۲۸/۵۷ درصد) را نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در همان سطح شوری افزایش داد. به نظر می‌رسد کاربرد کودهای زیستی و پوترسین می‌تواند به دلیل بهبود هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ، عملکرد دانه گندم را تحت تنش شوری را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پوترسین، شوری، کودهای زیستی، محتوای نسبی آب، میکوریز

(Bolarin, Asins, & Moreno, 2006).

مقدمه

به منظور کاهش و یا تعدیل اثر تنش شوری، راهکارهای متعددی مانند کاربرد کودهای زیستی (میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد) (Kheirizadeh Arough, Seyed Sharifi, Sedghi, & Barmaki, 2016) و پلی‌آمین‌هایی نظیر پوترسین توسط محققان ارائه شده است (Hadi, Seyed Sharifi, & Namvar, 2016). در این راستا وو و همکاران (Wu, Cao, Li, Cheung, & Wong, 2005) اظهار داشتند که کاربرد کودهای زیستی نه تنها مقاومت گیاه را در برابر تنش‌های مختلف محیطی افزایش می‌دهد، بلکه میکروارگانیسم‌های از بین رفته خاک را نیز جبران می‌کنند (Glick, Penrose, & Wendo, 2001). در شرایط شوری افزایش محتوای یون سدیم در محیط ریشه می‌تواند با افزایش غلظت سدیم نسبت به

شوری یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که در بیشتر موارد در اثر غلظت بیش از حد یون‌های سدیم و یا کمبود پتاسیم در سلول‌ها، با ایجاد بی‌ثباتی در غشاء و فرایندهای غشایی، اختلال در حفظ فشار تورگر، کاهش هدایت روزنه‌ای به دلیل کاهش دسترسی به آب، در نهایت منجر به کاهش رشد گیاه می‌شود (Cuartero, 2005).

۱- دانش‌آموخته دکتری زراعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- استاد دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

(*)- نویسنده مسئول: Email: Raouf_ssharifi@yahoo.com
<https://doi.org/10.22067/jcesc.2022.79107.1202>

درونی این اندام‌ها نسبت داده‌اند (Kafi & Stewart, 1998). در این زمینه حنفی احمد و همکاران (Hanafy Ahmed, Darwish, Hamoda, & Alobaidy, 2013) گزارش کردند که کاربرد پوترسین در گیاه پنبه (*Gossypium herbaceum* L.) تحت تنش شوری، با افزایش جذب مواد معدنی از جمله فسفر، نیتروژن، پتاسیم و کلسیم موجب بهبود مقاومت گیاه به شوری شد.

گسترش روزافزون اراضی شور و نقش کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل یا کاهش اثر ناشی از شوری و بررسی‌های محدود انجام شده در خصوص برهم‌کنش توأم این عوامل بر عملکرد، از جمله مواردی بودند که موجب شد تا اثر این عوامل بر محتوای سدیم و پتاسیم، هدایت روزنه‌ای و عملکرد دانه گندم مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی طی سال ۱۳۹۸ اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل شوری در چهار سطح (عدم اعمال شوری به‌عنوان شاهد و اعمال شوری‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار نمک با کلرید سدیم)، کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد کود زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریز، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم) و محلول‌پاشی پوترسین در سه سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، کاربرد ۰/۵ و یک میلی‌مولار پوترسین) بودند. کودهای زیستی شامل قارچ میکوریزا از نوع *Glomus Intraradicese*، باکتری‌ها *Pseudomonas Putida Strain 186* و فلاوباکتریوم *Flavobacterim Spp* بودند سویه خالص باکتری‌های مورد نیاز، از موسسه تحقیقات خاک و آب تهیه شدند که هر گرم مایه تلقیح خالص آن‌ها دارای 10^7 عدد باکتری زنده و فعال بود. از محلول صمغ عربی برای چسبندگی بهتر مایه تلقیح به بذرها استفاده شد. این مخلوط به مدت دو ساعت در شرایط خشک و تاریک قرار داده شد. قارچ میکوریزا *Glomus Intraradicese* از شرکت زیست فناوران توران تهیه و به مقدار ۲۰ گرم در هر مترمربع خاک (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به استناد توصیه شرکت مذکور با خاک گلدان مخلوط شد. در این راستا دو گرم میکوریزا در هر گلدان استفاده شد. پس از تهیه خاک یک‌دست، حدود ۲۰ کیلوگرم خاک به هر گلدان با قطر ۴۰ سانتی‌متر اضافه شده و تمامی گلدان‌ها تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از خاک پر شدند. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است.

پتاسیم و رقابت این یون با پتاسیم در فرایند جذب موجب کاهش جذب پتاسیم و یا افزایش غلظت سدیم شود ولی، کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌تواند از طریق تغییر در انتخاب‌پذیری یون‌های سدیم و پتاسیم جهت جذب توسط گیاه و در نتیجه محدود نمودن جذب سدیم، موجب افزایش جذب پتاسیم شوند. اشرف و همکاران (Ashraf & McNelly, 2004) گزارش کردند که افزایش جمعیت باکتری‌های مولد پلی‌ساکاریدهای برون‌سلولی در منطقه ریشه، با کاهش مقدار سدیم قابل‌دسترس برای جذب گیاه، منجر به افزایش مقاومت گیاه به شوری می‌شود. کاردینگ و همکاران (Karlidag, Esitken, Yildirim, Figen-Donmez, & Turan, 2011) اظهار داشتند که در شرایط شوری، باکتری‌های محرک رشد از طریق محدود نمودن جذب کلر و سدیم، موجب بهبود رشد گیاه می‌شوند. باشان و همکاران (Bashan, Ivanony, & Saad, 1989) گزارش کردند باکتری‌های متصل به ریشه‌ها در شرایط شوری، غلظت سدیم را در اندام هوایی گیاه محدود نموده و با نگه داشتن سطح پایین اتیلن تنشی از طریق فعالیت ACC دامیناز به تسریع در رشد گیاه کمک می‌کنند. همچنین کاربرد میکوریزا موجب بهبود وضعیت تغذیه‌ای، از جمله افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم، در بافت برگ می‌شود (Rabie & Almadini, 2005)، در نتیجه میزان آب برگ و انتقال عناصر غذایی به گیاه افزایش می‌یابد (Hammer, Nasr, Pallon, Olsson, & Wallander, 2011).

در شرایط تنش به علت بالا رفتن املاح محلول در محیط ریشه و در نتیجه افزایش پتانسیل اسمزی خاک، جذب عناصر کم‌مصرف بیشتر از سایر عناصر دچار اختلال می‌شود (Grattan & Grieve, 1999). در این راستا در سال‌های اخیر علاوه بر کودهای زیستی، استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشدی مانند پلی‌آمین‌ها برای کاهش اثر تنش‌های محیطی در گیاهان مطرح شده است. پلی‌آمین‌ها گروهی از پلی‌کاتیون‌هایی با وزن مولکولی پایین هستند که در همه گیاهان حضور دارند (Atiya, Poortvliet, Stromberg, & Yngve, 2011) و با کاهش اثر شوری در گیاه و برطرف نمودن آسیب‌های وارده به دستگاه فتوسنتزی در اثر تنش (Sfakianaki, Sfichi, & Kotzabasis, 2013) می‌تواند رشد گیاه را بهبود بخشیده و غلظت عناصر را در گیاه افزایش دهد (Talaat, Bekheta, & Mahgoub, 2005). یکی دیگر از دلایل بهبود جذب عناصر توسط پوترسین جلوگیری از خسارت به غشاء سلولی از طریق مهار آنزیم پروتئاز و لیپاز است. همچنین با جلوگیری از اثرات منفی یون‌های سدیم و کلر در گیاه، جذب عناصر را افزایش می‌دهد. برخی محققان تأثیر پوترسین در افزایش رشد را به اثر این ماده در افزایش قابلیت جذب و نگهداری آب بافت‌های ریشه، ساقه و برگ از راه افزایش پتانسیل اسمزی آب

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و 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 عصا ره اشباع Saturate d extract	بافت Texture	pH
مقادیر Amount	1.8	202	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4	49	Loamy	7.8

به منظور اندازه گیری هدایت الکتریکی (EC) برگ پرچم در همان شرایط مربوط به اندازه گیری درصد محتوای نسبی آب، نمونه های برگ پرچم در سه مرحله مذکور در بشرهای محتوی ۲۵ میلی لیتر آب تقطیر شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار داده و سپس میزان هدایت الکتریکی توسط دستگاه EC متر (مدل Mi 180 Bench Meter) اندازه گیری شد (Seyed Sharifi & Golineghad, 2021). اندازه گیری محتوای آنتوسیانین با روش واگنر (Wagner, 1979) و برای تعیین محتوای سدیم و پتاسیم از دستگاه فلیم فتومتر استفاده شد (Seyed Sharifi & Golineghad, 2021). در زمان رسیدگی تعداد پنج بوته به ظاهر یکنواخت و مشابه از هر گلدان و از بین بوته های رقابت کننده برای برآورد عملکرد تک بوته برداشت و میانگین داده ها به عنوان ارزش آن صفت در تجزیه و تحلیل به کار گرفته شد. برای تجزیه داده ها و رسم شکل ها از نرم افزارهای SAS و Excel استفاده شد. میانگین ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

نتایج و بحث

هدایت روزنه ای: اثر اصلی شوری، کودهای زیستی و محلول پاشی پوترسین بر هدایت روزنه ای در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین اثر اصلی نشان داد که بیشترین هدایت روزنه ای در شرایط عدم اعمال شوری (۳۶/۶۸، ۳۳/۹۳ و ۲۷/۴۳ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)، کاربرد توام میکوریزا، سودوموناس و فلاوباکتریوم (۳۳/۱۵، ۳۰/۲۵ و ۲۴/۵۸ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین (۳۲/۹۴، ۳۰/۰۳ و ۲۳/۹۳ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) به ترتیب در مراحل ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله و کمترین هدایت روزنه ای در این مراحل (نمونه برداری در ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله) در بالاترین سطح شوری (۲۵/۴، ۲۳/۸۴ و ۱۹/۲۲ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه)، عدم کاربرد کودهای زیستی (۲۹/۱۶، ۲۷/۲۳ و ۲۰/۹۵ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) و عدم محلول پاشی پوترسین (۲۹/۵۴، ۲۷/۷۱ و ۲۲/۲۳ میلی مول بر مترمربع بر ثانیه) به دست آمد (جدول ۳).

شوری اولیه خاک ۱/۸ دسی زیمنس بر متر بود. در هر گلدان ۴۰ عدد بذر برای اعمال تراکم ۴۰۰ بذر در مترمربع کشت شد. گندم (*Triticum aestivum* L.) مورد کاشت، رقم آبی گاسکوئن بود که از تعاونی تولیدی پیراقوم اردبیل تهیه و بعد از ورنالیزاسیون کشت شد. این رقم پابلند، با تیپ رشد زمستانه و مقاوم به سرما و خوابیدگی و در گروه ارقام با کیفیت نانوائی بسیار خوب قرار دارد. برای اعمال شوری از نرم افزار Salt Calc و نمک کلرید سدیم استفاده شد. در این نرم افزار به استناد هدایت الکتریکی خاک و درصد عصاره اشباع، مقدار نمک مورد نیاز برای هر کیلوگرم خاک در هر یک از سطوح شوری محاسبه (Hagh Bahariand & Seyed Sharifi, 2013) و به خاک هر گلدان همراه آب آبیاری اضافه شد. به منظور تنظیم شوری در طول دوره رشد، در زیر هر گلدان، زیرگلدانی قرار داده شد تا بعد از هر دو تا سه نوبت آبیاری، نمک های احتمالی وارد شده به زیرگلدانی دوباره در آبی که در هر مرحله آبیاری برای هر گلدان در نظر گرفته می شد حل شده و به داخل هر گلدان برگشت داده شود. هیچ کود شیمیایی خاصی در طول اجرای آزمایش استفاده نشد. محلول پاشی پوترسین در دو مرحله (مرحله ۶-۴ برگی و مرحله قبل از تورم غلاف برگ پرچم) انجام شد. به دلیل حلالیت بهتر پوترسین در آب، ابتدا در آب دیونیزه به صورت معلق درآمده و با استفاده از لرزش و ارتعاشات دستگاه اولتراسونیک (۱۰۰ وات و ۴۰ کیلوهرتز به مدت ۳۰ دقیقه) این مواد پخش شده و محلول گردید (Prasad et al., 2012). اولین آبیاری بعد از کاشت و آبیاری های بعدی بسته به شرایط محیطی و نیاز گیاه زراعی انجام شد. گلدان ها در شرایط گلخانه ای در دمای ۲۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد با طول دوره روشنایی ۱۶-۱۵ ساعت (با استفاده از ترکیبی از لامپ های معمولی و مهتابی) و رطوبت نسبی ۶۵-۶۰ درصد نگهداری شدند. در سه نمونه از برگ پرچم در مراحل ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله، روند تغییرات هدایت روزنه ای به وسیله دستگاه پورومتر (Porometer، دیکاگن آمریکا)، محتوای نسبی آب برگ پرچم به روش چلا و همکاران (Chelah, Nordin, Muslian, Khanif, & Jahan, 2011) اندازه گیری شد. نمونه برداری برای شاخص سطح برگ و بیوماس کل از ۳۲ روز بعد از کاشت به فواصل زمانی هر ده روز یکبار به روش تخریبی انجام شد (Seyed Sharifi & Golineghad, 2021).

جدول ۲- تجزیه واریانس تاثیر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای، سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی، محتوای آنتوسیانین و عملکرد دانه گندم

Table 2- Analysis of variance the effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on stomatal conductance, Na⁺ and K⁺ root and shoots, anthocyanin content and grain yield of wheat

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات														
		مراحل نمونه‌برداری هدایت روزنه‌ای					محتوای									
		Sampling stages of stomatal conductance		ظهور برگ		ظهور	محتوای پتاسیم	محتوای سدیم	محتوای پتاسیم	محتوای سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم	نسبت پتاسیم به سدیم				
S.O.V	d.f	پرچم	تورم غلاف	برگ پرچم	سنبله	Heading	K ⁺ root content	Na ⁺ shoots content	Na ⁺ root content	ریشه	ریشه	اندام هوایی	اندام هوایی	Grain per plant		
		Flag leaf emergenc	e	Booting							Na ⁺ /K ⁺ ratio in shoots	Na ⁺ /K ⁺ ratio in root				
تکرار	2	15.92*	20.48*	30.34*	898.99**	898.99**	898.99**	360.78**	901.14**	735.56**	31.38**	8.87**	15.28*	0.0000015*	1.22**	0.04*
شوری	3	437.39*	658.35**	99.73**	99.73**	99.73**	99.73**	30.03**	78.32**	75.91**	3.53**	3.47**	0.00012**	0.000012**	3.47**	2.172**
کود زیستی	3	85.75**	56.72**	64.63**	143.63**	143.63**	143.63**	26.52**	37.07**	60.44**	2.03**	0.196**	0.0000066**	0.0000011**	0.315**	0.274**
Bio fertilizer	2	35.12**	64.63**	143.63**	143.63**	143.63**	143.63**	26.52**	37.07**	60.44**	2.03**	0.196**	0.0000066**	0.0000011**	0.315**	0.274**
شوری × کود زیستی	9	2.62 ^{ns}	1.84 ^{ns}	6.9 ^{ns}	6.9 ^{ns}	6.9 ^{ns}	6.9 ^{ns}	4.85*	8.46*	2.81 ^{ns}	0.44**	0.013**	0.000001*	0.000001*	0.013**	0.25*
Salinity × biofertilizer	6	2.18 ^{ns}	5.3 ^{ns}	5.41 ^{ns}	5.41 ^{ns}	5.41 ^{ns}	5.41 ^{ns}	2.47 ^{ns}	2.48 ^{ns}	12.13*	1.76 ^{ns}	0.35**	0.0000004	0.0000004	0.015**	0.028*
شوری × پوترسین	6	2.06 ^{ns}	8.8 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	5.37*	2.31 ^{ns}	3.01 ^{ns}	11.52**	0.52**	0.0000019**	0.0000019**	0.005	0.027*
Putrescine × salinity	6	2.06 ^{ns}	8.8 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	5.37*	2.31 ^{ns}	3.01 ^{ns}	11.52**	0.52**	0.0000019**	0.0000019**	0.005	0.027*
پوترسین × کود زیستی	6	2.06 ^{ns}	8.8 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	5.37*	2.31 ^{ns}	3.01 ^{ns}	11.52**	0.52**	0.0000019**	0.0000019**	0.005	0.027*
Putrescine biofertilizer	6	2.06 ^{ns}	8.8 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.88 ^{ns}	5.37*	2.31 ^{ns}	3.01 ^{ns}	11.52**	0.52**	0.0000019**	0.0000019**	0.005	0.027*
کود زیستی × شوری × پوترسین	18	2.09 ^{ns}	1.85 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	3.93*	6.7	9.1*	6.88*	0.26**	0.00000018**	0.00000018**	0.021**	0.023**
Putrescine × Salinity × Biofertilizer	18	2.09 ^{ns}	1.85 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	2.54 ^{ns}	3.93*	6.7	9.1*	6.88*	0.26**	0.00000018**	0.00000018**	0.021**	0.023**
خطای آزمایشی	94	4.9	6.29	8.28	8.28	8.28	8.28	2.27	3.9	5.29	3.77	0.031	0.0000003	0.0000003	0.0030	0.01
ضرب تغییرات	C.V(%)	9.6	8.7	9.2	9.2	9.2	9.2	11.4	8.5	7.9	7.1	7.7	4.4	4.4	6.5	8.9

ns, * and ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.
ns, * and **: non-significant and significant at the 5% and 1% probability level, respectively.

نسبت دادند. همچنین احتمال داده می‌شود که مایکوریزا با تنظیم اسمزی گیاه میزبان و بهبود تماس ریشه با ذرات خاک، گیاه را قادر ساخته آب را از منافذ ریز خاک خارج کند (Ortas, Sari, Akpinar, 2011 & Yetisir). از این رو گیاهان همزیست با مایکوریزا نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی از هدایت روزنه‌ای بالاتری طی تنش شوری نسبت به گیاهان غیرمیکوریزایی برخوردارند (Auge, 2004).

به نظر می‌رسد با افزایش شوری پتانسیل آب در خاک کاهش پیدا کرده و انسداد روزنه‌ای اغلب یک واکنش سریع و اولیه گیاه نسبت به تنش شوری، می‌تواند ناشی از پتانسیل پائین آب، اثر مضره Na^+ بر روی سیگنال‌های ریشه و یا سلول‌های محافظ روزنه برگ باشد (Moradi & Abdelbagi, 2007). جمیل و همکاران (Jamil et al., 2007) دلیل کاهش فتوسنتز با افزایش تنش شوری را به هدایت روزنه‌ای پایین تر و کاهش فرآیندهای متابولیکی به‌ویژه در جذب کربن

جدول ۳- مقایسه میانگین تاثیر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر هدایت روزنه‌ای برگ پرچم

Table 3- Mean comparison the effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on stomata conductance of flag leaf

تیمارهای آزمایشی Experimental factors		هدایت روزنه‌ای Stomata conductance ($mmol.m^{-2}.s^{-1}$)		
		ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	تورم غلاف برگ پرچم Booting	ظهور سنبله Heading
سطوح شوری Salinity	عدم اعمال شوری Without salinity	36.68	33.93	27.42
	۴۰ میلی مولار 40 mM	34.13	30.28	24.11
	۸۰ میلی مولار 80 mM	29.49	27.46	21.79
	۱۲۰ میلی مولار 120 mM	25.4	23.84	19.22
	LSD5%	1.34	1.17	1.03
سطوح کودهای زیستی Biofertilizers levels	عدم کاربرد کود زیستی without biofertilizer	29.16	27.23	20.95
	کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم Both application of <i>Pseudomonas</i> with <i>Flavobacterium</i>	31.5	28.83	23.44
	کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم Application of <i>Mycorrhiza</i> with <i>Pseudomonas</i> and <i>Flavobacterium</i>	33.15	30.25	24.58
	کاربرد میکوریز Application of <i>Mycorrhiza</i>	31.86	29.21	23.57
	LSD5%	1.34	1.17	1.03
سطوح پوترسین Putrescine levels	عدم محلول پاشی no foliar application	29.54	27.71	22.23
	۰/۵ میلی مولار پوترسین 0.5 mM	31.79	28.88	23.25
	۱ میلی مولار پوترسین 1 mM	32.94	30.03	23.93
	LSD5%	1.16	1.01	0.89

میانگین‌های با حروف غیرمشابه در هر ستون و برای هر فاکتور اختلاف آماری معنی‌داری با هم دارند.

Means with similar letters in each column and each factor are not significantly different.

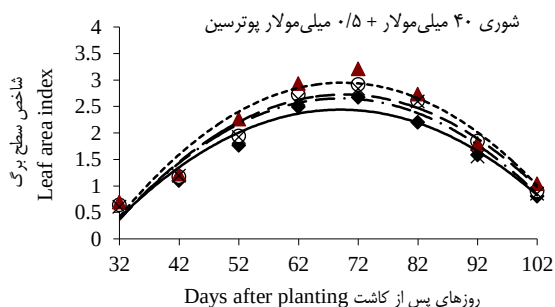
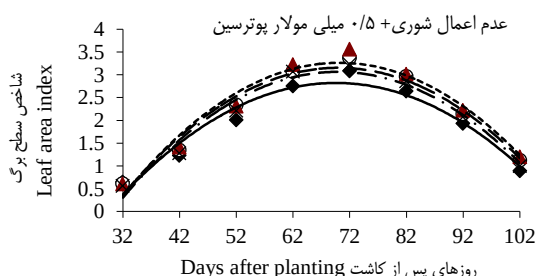
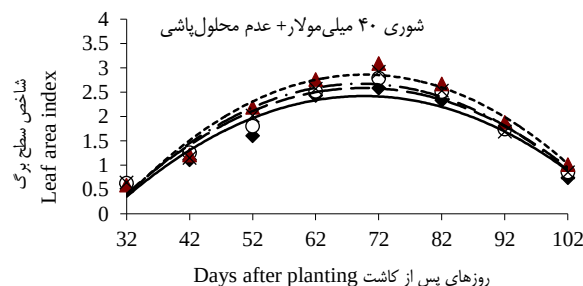
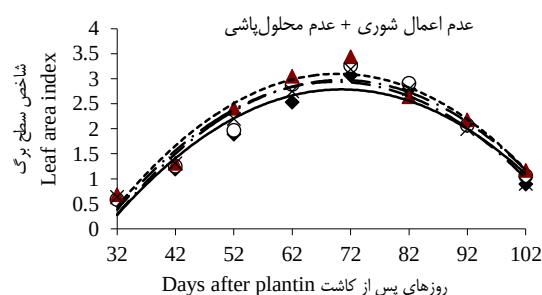
ریزش برگ‌ها روند کاهشی داشت (شکل ۱). کاهش سطح برگ یکی از اولین واکنش‌های گیاهان در برابر تنش شوری است. از این رو با افزایش سطح شوری، شاخص سطح برگ در تمامی ترکیبات تیماری با شدت بیشتری کاهش یافت (شکل ۱). کاربرد کودهای زیستی و

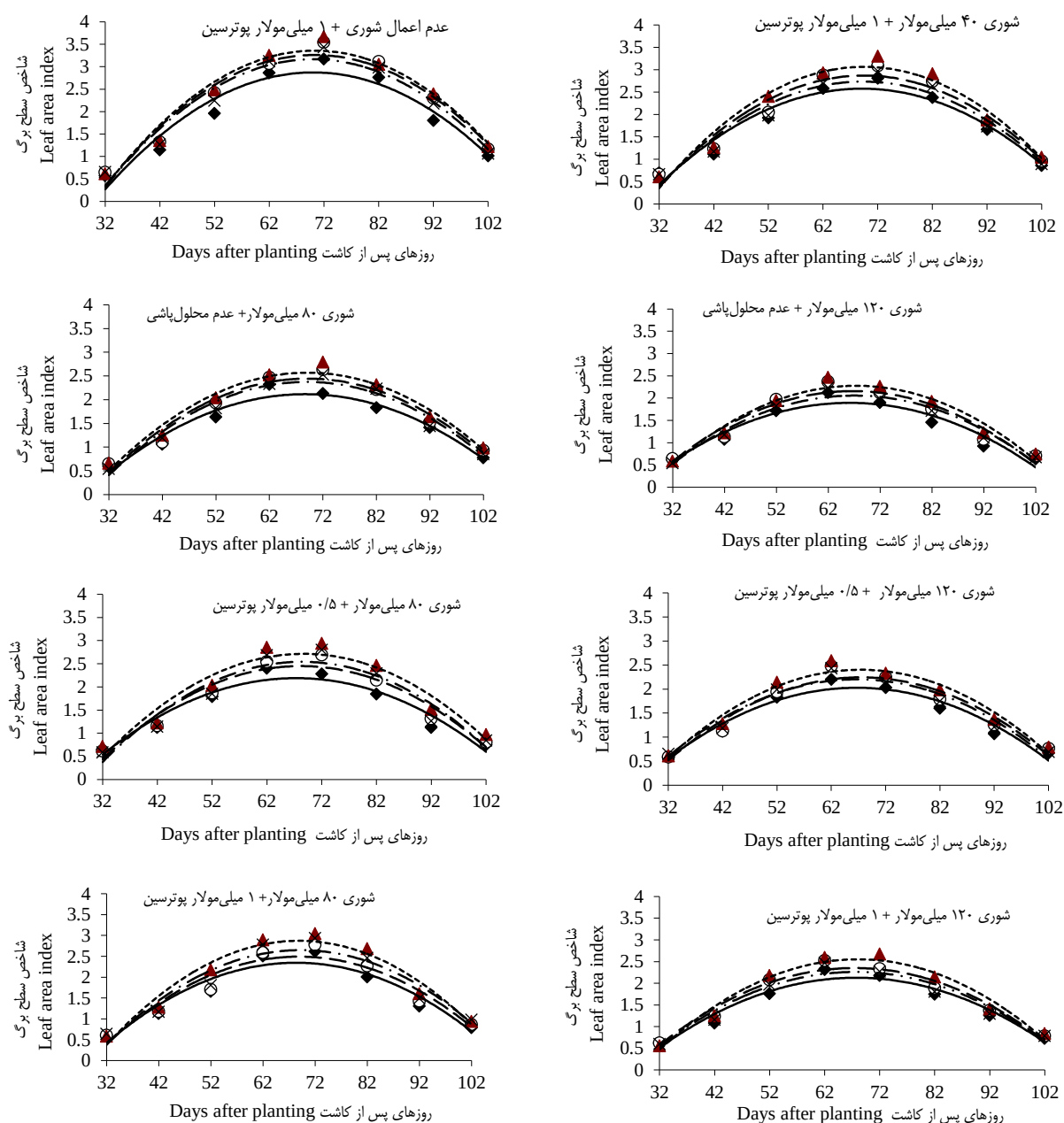
شاخص سطح برگ: روند تغییرات این شاخص در سطح شوری ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار تا ۶۲ روز پس از کاشت ولی در شرایط عدم اعمال شوری و شوری ۴۰ میلی مولار تا ۷۲ روز پس از کاشت افزایشی بود، سپس با گذشت زمان به دلیل پیری، خشک شدن و

(Boomsma & Vyn, 2008) علت افزایش سطح برگ تحت شرایط تنش شوری در گیاهان کلونیزه شده با کودهای زیستی را، به کاهش پیری برگ به واسطه‌ی افزایش تولید کلروفیل یا کاهش تخریب آن نسبت دادند.

بیوماس کل: روند تغییرات این شاخص نشان داد در کلیه ترکیبات تیماری این روند در ابتدا کند بود و پس از آن با سرعت زیادی افزایش و در سطح شوری ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار در ۸۲ روز پس از کاشت، و در شرایط عدم اعمال شوری و شوری ۴۰ میلی‌مولار در ۹۲ روز پس از کاشت در کلیه ترکیب‌های تیماری تجمع ماده خشک به حداکثر مقدار خود رسید. سپس به دلیل افزایش سن گیاه و پیری برگ‌ها، بیوماس کل کاهش یافت (شکل ۲). تلقیح بذر با کودهای زیستی و محلول‌پاشی پوترسین، موجب افزایش بیوماس کل نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین گردید. نتایج نشان داد بیش‌ترین بیوماس کل (۴/۵۲ گرم در بوته) در عدم اعمال شوری با کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین آن (۲/۶۱ گرم در بوته) در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) و عدم مصرف کودهای زیستی و عدم کاربرد پوترسین حاصل شد. بالا بودن بیوماس کل در این ترکیب تیماری را می‌توان به بالا بودن شاخص سطح برگ (شکل ۱) و محتوای کم سدیم در ریشه و اندام‌های هوایی (جدول ۹) در این ترکیبات تیماری نسبت داد.

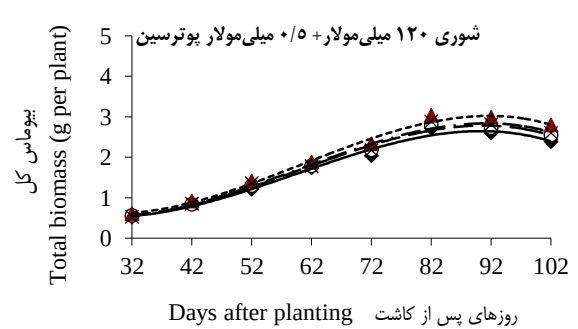
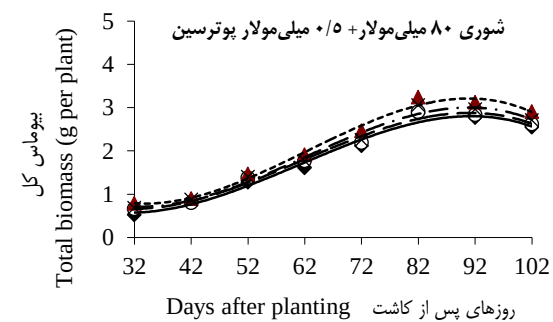
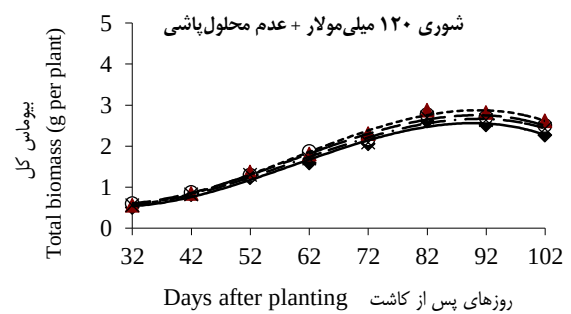
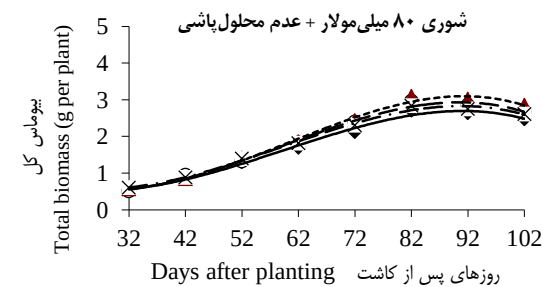
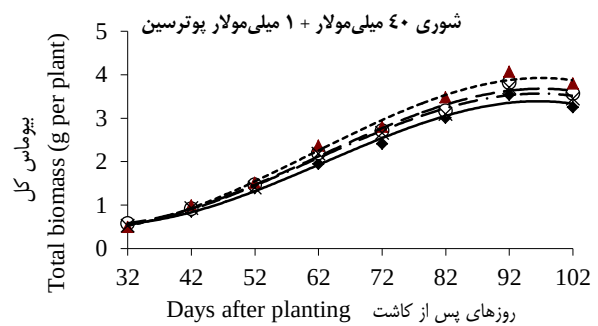
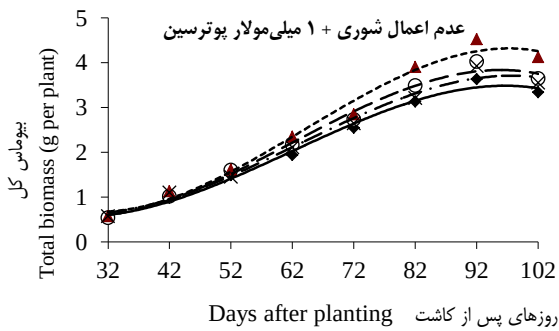
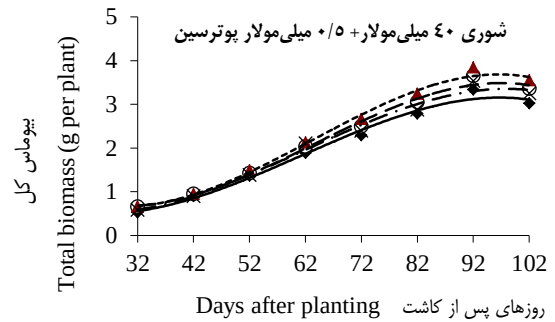
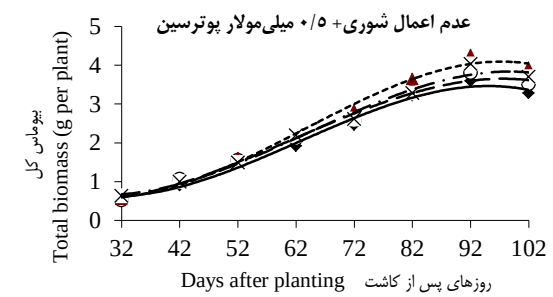
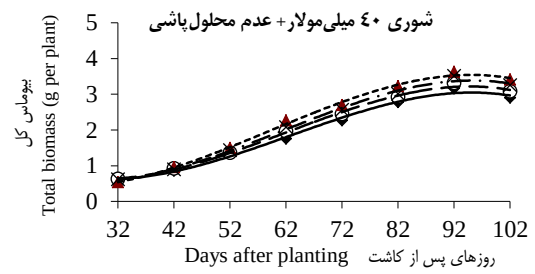
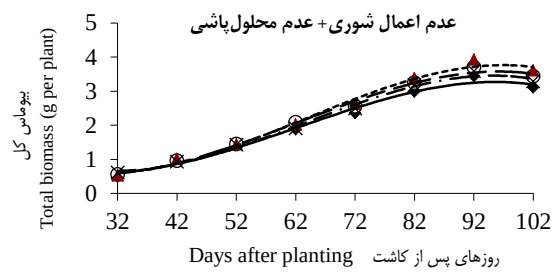
محلول‌پاشی پوترسین هم در حالت عدم اعمال شوری و هم در شرایط اعمال شوری‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار، موجب بهبود شاخص سطح برگ شد. بالاترین مقدار این شاخص (۳/۶۷) به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین و کمترین آن (۲/۱۲) در بالاترین سطح شوری و عدم کاربرد پوترسین و کودهای زیستی تعلق داشت (شکل ۱)، که با یافته‌های مرادی و سیدشریفی (Moradi & Seyed Sharifi, 2018) مطابقت دارد. آنان گزارش کردند که با افزایش شوری، شاخص سطح برگ کاهش یافته و روند عکسی در حالت تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد مشاهده شد. به نظر می‌رسد بخشی از کاهش سطح برگ با افزایش شوری ناشی از افزایش یون سدیم در ریشه و اندام‌های هوایی (جدول ۹) و کاهش هدایت روزنه‌ای (جدول ۳) مرتبط باشد که منجر به کاهش فتوسنتز می‌شود. به بیانی دیگر سمیت یونی حاصل از سدیم منجر به کاهش سطح برگ می‌شود ولی توانایی این باکتری‌ها در تولید هورمون‌های گیاهی منجر به بهبود این شاخص می‌شود. ماس و پاس (Mass & Poss, 1989) بیان داشتند که در تنش شدید، گیاه با کاهش سطح تعرقی خود و همچنین بستن روزنه‌ها در برابر تنش، واکنش نشان می‌دهد که نتیجه آن منجر به کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه میزان رشد و نمو گیاه خواهد شد. هادی و همکاران (Hadi et al., 2016) دلیل کاهش سطح برگ در حالت اعمال شوری نسبت به عدم اعمال آن را، به کاهش مواد فتوسنتزی برای رشد و توسعه سلول‌های برگ و افزایش پیری برگ در شرایط تنش نسبت دادند. بومسما و وین

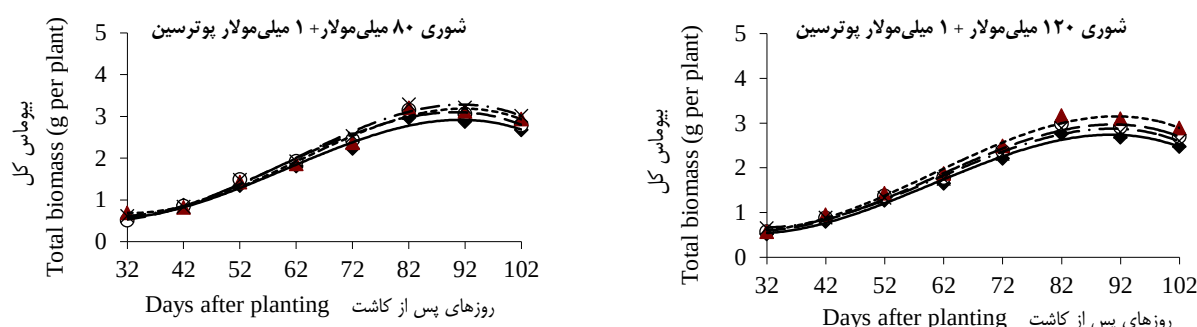




شکل ۱- تاثیر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر شاخص سطح برگ گندم

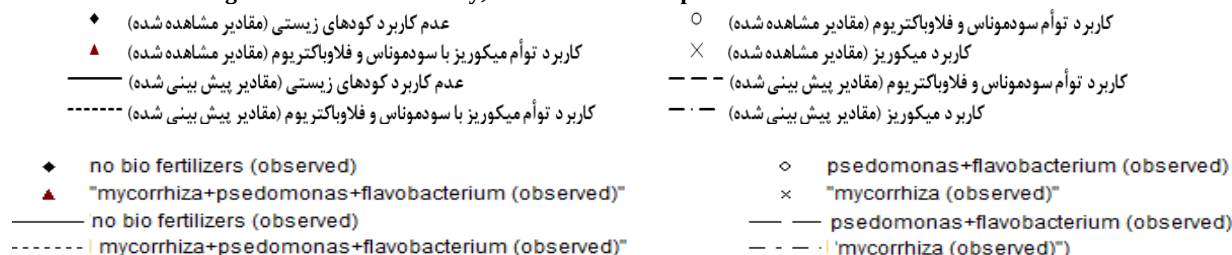
Figure 1- Effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on laf area index of wheat





شکل ۲- تاثیر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر بیوماس کل گندم

Figure 2- Effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on total biomass of wheat



(۶۹/۲۲، ۵۹/۷۶ و ۴۳/۹۴ درصد)، عدم کاربرد کودهای زیستی (۷۱/۲۹، ۵۹/۹۳ و ۴۵/۶ درصد) و عدم محلول پاشی پوترسین (۷۳/۳۶، ۶۱/۹۷ و ۴۷/۴۷ درصد) به ترتیب در مراحل ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله به دست آمد (جدول ۵). نتایج مشابهی توسط بنی اسد و همکاران (Baniasadi, Saffari, & Maghsoudi moud, 2015) گزارش شده است. آنان اظهار داشتند که تنش شوری موجب کاهش محتوای نسبی آب در گیاه همیشه بهار (*Calendula officinalis*) شد و استفاده از پوترسین در مقادیر بسیار کم، موجب افزایش این صفت شد. همچنین اثر ترکیب سطوح شوری و کودهای زیستی نشان داد که کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباكتريوم نسبت به عدم کاربرد در سطح شوری ۱۲۰ میلی مولار به ترتیب موجب افزایش ۵/۰۵، ۵/۳۶ و ۱۲/۹۲ درصدی محتوای نسبی آب به ترتیب در مرحله ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله شد (جدول ۶).

خیری زاده و همکاران (Kheirizadeh Arough et al., 2016) گزارش دادند تنش شوری محتوای نسبی آب برگ ها را در گیاه تریتی کاله (*Triticosecale*) کاهش داد. یکی از اثرات تنش شوری جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است، در نتیجه دلیل کاهش محتوای نسبی آب برگ را، می توان به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش جذب آب از ریشه ها در شرایط تنش نسبت داد (Colom & Vazzana, 2003).

در این زمینه راویکومار و همکاران (Ravikumar, Kathiresan, Ignatiammal, Selvam, & Shanthi, 2004) وزن اندام هوایی را به کاهش فتوسنتز در اثر کاهش سطح برگ، تجمع سدیم و کلر در اندام های هوایی و تخریب ساختمان کلروپلاست نسبت دادند. آچ و همکاران (Asch, Dingkuhn, & Droffling, 2000) اظهار داشتند که با گذشت زمان به دلیل افزایش تجمع املاح در اندام های گیاهی، خسارت ناشی از سمیت یون ها منجر به تخریب کلروفیل و رنگ پریدگی برگ ها در نهایت به کاهش بیوماس کل منجر می شود.

محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی: اثر شوری، کودهای زیستی و محلول پاشی با پوترسین و همچنین اثر ترکیب تیماری شوری در کود زیستی بر محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی معنی دار بود (جدول ۴).

محتوای نسبی آب: با افزایش سطح شوری، محتوای نسبی آب برگ پرچم کاهش یافت. مقایسه میانگین اثرات اصلی عامل های آزمایشی نشان داد که بیشترین محتوای نسبی آب برگ پرچم در شرایط عدم اعمال شوری (۷۸/۶۳، ۶۶/۷۳ و ۵۳/۶۶ درصد)، کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباكتريوم (۷۶/۱۱، ۶۵/۳۵ و ۵۱/۰۸ درصد) و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین (۷۵/۵۹، ۶۴/۲۲ و ۴۹/۵ درصد) به ترتیب در مرحله ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله و کمترین این مقادیر در بالاترین سطح شوری

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای نسبی آب و هدایت الکتریکی گندم

Table 4- Analysis of variance the effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on relative water content and electrical conductivity of wheat

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	M.S میانگین مربعات					
		مراحل نمونه برداری محتوای نسبی آب			مراحل نمونه برداری هدایت الکتریکی		
		Relative water content			Electrical conductivity of flag leaf		
		ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	مرحله تورم غلاف برگ پرچم Booting	مرحله ظهور سنبله Eading	ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	مرحله تورم غلاف برگ پرچم Booting	مرحله ظهور سنبله Heading
تکرار Replication	2	79.1**	61.97**	228.56**	46.12*	60.63*	124.76*
شوری Salinity	3	722.36**	319.78**	674.5**	1378.04**	4036.27**	8254.14**
کود زیستی Bio fertilizer	3	155.94**	186.63**	182.2**	473.6**	850.28**	1531.25**
پوترسین Putrescine	2	70.06**	60.88*	49.47	90.74**	714.28**	664.15**
شوری × کود زیستی Salinity × Biofertilizer	9	32.67*	26.11*	23.08*	29.31*	53.71**	108.96**
شوری × پوترسین Putrescine × Salinity	6	2.55 ^{ns}	1.98 ^{ns}	3.12 ^{ns}	3.93 ^{ns}	21.6 ^{ns}	25.08 ^{ns}
پوترسین × کود زیستی Putrescine × Biofertilizer	6	9.73 ^{ns}	21.44 ^{ns}	10.77 ^{ns}	14.07 ^{ns}	11.49 ^{ns}	32.13 ^{ns}
پوترسین × کود زیستی × شوری Putrescine × Salinity × Biofertilizer	18	5.5 ^{ns}	4.07 ^{ns}	7.22 ^{ns}	5.14 ^{ns}	11.99 ^{ns}	8.56 ^{ns}
خطای آزمایشی Error	94	13.47	12.79	11.07	13.91	19.3	38.74
C.V	-	4.94	5.67	6.85	5.32	5.21	5.9
ضریب تغییرات %	-	4.94	5.67	6.85	5.32	5.21	5.9

ns, ** و * به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد.

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

کاهش داده و به بهبود رشد گیاه کمک می کند (Zahir, Munir, Asghar, Arshad, & Shaharoona, 2008).

هدایت الکتریکی برگ پرچم: با افزایش سطح شوری، هدایت الکتریکی افزایش یافت. بر اساس نتایج مقایسه میانگین اثرات اصلی، حداکثر مقادیر هدایت الکتریکی (۷۶/۲۴، ۹۶/۲۵ و ۱۲۱/۷ میکروزیمنس بر سانتی متر) در بالاترین سطح شوری، عدم کاربرد کودهای زیستی (۷۴/۶۸، ۹۰/۱۹ و ۱۱۳/۶۸ میکروزیمنس بر سانتی متر) و عدم محلول پاشی پوترسین (۷۱/۳۷، ۸۸/۳۳ و ۱۰۹/۰۴ میکروزیمنس بر سانتی متر) و حداقل این مقادیر در حالت عدم اعمال شوری (۶۲/۶۴، ۷۱/۲ و ۸۶/۹۶ میکروزیمنس بر سانتی متر)، کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاووباکتریوم (۶۵/۸۳، ۷۸/۳ و ۹۸/۱۲ میکروزیمنس بر سانتی متر) و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین (۶۸/۶۲، ۸۰/۶۸ و ۱۰۱/۶۱ میکروزیمنس بر سانتی متر) به ترتیب در مرحله ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله حاصل شد (جدول ۷).

به نظر می رسد با افزایش سطح شوری، جذب آب توسط گیاه کاهش یافته و این کاهش موجب می شود تا گیاه نتواند محتوای آب برگ خود را حفظ کند و از این رو با گذشت زمان، محتوای نسبی آب برگ کاهش می یابد (Munns, James, & Lauchli, 2006). ولی کاربرد میکوریز در نتیجه ی فعالیت ریشه های تلقیح شده با میکوریز و جذب میزان بیشتری آب به واسطه تغییر در مورفولوژی ریشه و افزایش سطح جذب از طریق هیف های قارچ می تواند منجر به بهبود وضعیت آبی گیاه شود (Auge, 2004). در مطالعه بر روی نخود فرنگی (*Pisum sativum* L.) در سطوح شوری (صفر، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم) گزارش شد که شوری به علت عدم دسترسی به آب به طور معنی داری محتوای نسبی آب برگ ها را کاهش داده و منجر به بسته شدن روزنه ها، کاهش فتوسنتز و در نهایت کاهش بیوماس کل گیاه شد ولی تلقیح گیاهان با مایکوریزا موجب بهبود وضعیت محتوای نسبی آب گیاهان شد (Garg & Bhandari, 2015). به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی با تولید هورمون ها توسط این باکتری ها، اثرات بازدارنده و مضر تنش شوری را

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر اصلی شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای نسبی آب برگ پرچم

Table 5- Mean comparison the effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on relative water content flag leaf

مراحل نمونه برداری محتوای نسبی آب (درصد)		Sampling stages of relative water content		
ترکیب تیماری		ظهور برگ پرچم	تورم غلاف برگ	ظهور سنبله
		Flag leaf emergence	Booting پرچم	Heading
سطوح شوری salinity	no salinity عدم اعمال شوری	78.63	66.73	53.66
	40 mM ۴۰ میلی مولار	77.29	63.89	50.32
	80 mM ۸۰ میلی مولار	71.7	61.81	46.17
	120 mM ۱۲۰ میلی مولار	69.22	59.76	43.94
	LSD5%	1.71	1.67	1.55
سطوح کودهای زیستی Biofertilizers levels	عدم کاربرد کود زیستی without biofertilizer	71.29	59.93	45.6
	کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم Both application of <i>Pseudomonas</i> with <i>Flavobacterium</i>	75.12	63.77	48.77
	کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم Application of <i>Mycorrhiza</i> with <i>Pseudomonas</i> and <i>Flavobacterium</i>	76.11	65.35	51.08
	کاربرد میکوریز Application of <i>Mycorrhiza</i>	74.33	63.15	48.64
	LSD5%	1.71	1.67	1.55
سطوح پوترسین Putrescine levels	عدم محلول پاشی no foliar application	73.36	61.97	47.47
	0.5 mM ۰/۵ میلی مولار پوترسین	73.68	62.96	48.6
	1 mM ۱ میلی مولار پوترسین	75.59	64.22	49.5
	LSD5%	1.48	1.44	1.34

S₁, S₂, S₃ و S₄: به ترتیب عدم اعمال شوری، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار.

B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد میکوریز.

S₁, S₂, S₃ and S₄ are no salinity, salinity of 40, 80 and 120 Mm

B₁, B₂, B₃ and B₄ are no bio fertilizers, application both *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, mycorrhiza application,

میانگین های با حروف غیرمشابه در هر ستون و برای هر فاکتور اختلاف آماری معنی داری با هم دارند.

Means with similar letters in each column and each factor are not significantly different.

(Ashraf & McNielly, 2004) گزارش کردند که برخی از باکتری های PGPR تولید آگرو پلی ساکاریدهایی را می کنند که با کاتیون ها از جمله Na⁺ پیوند برقرار کرده و این موضوع موجب کاهش تجمع سدیم و اثرات منفی ناشی از آن در سلول شده و بدین ترتیب اثرات منفی شوری را کاهش داده و منجر به بهبود جراث غشا و افزایش رشد گیاه در مقایسه با شاهد در شرایط تنش شوری می شود. از این رو به نظر می رسد کاربرد کودهای زیستی موجب کاهش آسیب های اکسیداتیو ایجاد شده توسط شوری و در نتیجه کاهش نشت الکترولیتی می شود.

آنتوسیانین: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر شوری، کودهای زیستی و پوترسین و برهمکنش هر سه فاکتور مورد بررسی بر آنتوسیانین معنی دار بود (جدول ۲). مقایسه میانگین ها نشان داد بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی مولار) با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم همراه با محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین، میزان آنتوسیانین را ۲۲ درصد در مقایسه با عدم کاربرد

اثر ترکیب سطوح شوری و کودهای زیستی نشان داد که کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم نسبت به عدم کاربرد در سطح شوری ۱۲۰ میلی مولار مقدار هدایت الکتریکی را به ترتیب ۱۳/۶۵، ۱۱/۱ و ۱۶/۷۷ درصد در مرحله ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله کاهش داد (جدول ۸). به نظر می رسد در شرایط تنش های غیرزیستی از جمله تنش شوری، تولید رادیکال های آزاد منجر به پراکسیداسیون چربی های غشا در اندام های مختلف از جمله برگ های گندم شده و این امر کاهش پایداری غشا یا افزایش هدایت الکتریکی را به دنبال دارد (Beltrano, Montaldi, Bartoli, & Carbone, 1997). در حالی که کاربرد کودهای زیستی منجر به کاهش هدایت الکتریکی گردید (جدول ۷ و ۸). نتایج مشابهی نیز مبنی بر این که کاربرد کودهای زیستی موجب کاهش نشت الکترولیت ها در مقایسه با عدم کاربرد آن ها تحت شرایط تنش می شود توسط دیگر محققان گزارش شده است (Sandhya, Ali, Grover, Reddy, & Venkateswarlu, 2010). اشرف و همکاران

کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در همان سطح شوری افزایش داد (جدول ۹). آنتوسیانین‌ها به‌عنوان یک گروه از فلاونوئیدهای محلول در آب هستند که در یک نقطه پایانی در مسیر بیوسنتز فلاونوئیدها در سیتوپلاسم ساخته شده و دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بوده و می‌توانند به‌عنوان گیرنده رادیکال‌های آزاد عمل کرده و گیاهان را در برابر تنش‌های اکسیداتیو محافظت کنند (Wang et al., 2010).

به نظر می‌رسد ریشه گیاهان تلقیح‌شده با کودهای زیستی به دلیل توانایی ساخت و ترشح مواد بیولوژیک فعال مانند ویتامین‌های گروه B، بیوتین، اکسین و جیبرلین‌ها موجب افزایش محتوای ماده آلی و هیدرات کربن گیاه و در نتیجه افزایش آنتوسیانین می‌شوند (Rodriguez & Fraga, 1999).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری شوری و کودهای زیستی بر محتوای نسبی آب برگ پرچم

Table 6- Mean comparison of the effects of treatment compound salinity and biofertilizers on the relative water content of flag leaf

ترکیب تیماری Treatment compound		مراحل نمونه‌برداری محتوای نسبی آب برگ پرچم (درصد) Sampling stages of the relative water content of flag leaf		
		ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	تورم غلاف برگ پرچم Booting	ظهور سنبله Heading
S ₁	B ₁	76.55	64.33	50.78
	B ₂	80.45	68.97	55.77
	B ₃	80.81	69.06	56.33
	B ₄	76.7	64.57	51.78
S ₂	B ₁	75	61.19	46.68
	B ₂	79.91	64.61	48.82
	B ₃	78.06	66.08	54.08
	B ₄	76.21	63.68	51.71
S ₃	B ₁	66.14	56.06	44.08
	B ₂	71.43	61.81	47.58
	B ₃	74.69	65.02	47.8
	B ₄	74.55	64.37	45.23
S ₄	B ₁	67.47	58.12	40.85
	B ₂	68.68	59.67	42.92
	B ₃	70.89	61.24	46.13
	B ₄	69.85	59.99	45.85
		3.3	3.25	3.05

S₁, S₂, S₃ و S₄: به‌ترتیب عدم اعمال شوری، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار.

B₁, B₂, B₃ و B₄: به‌ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد میکوریز.

S₁, S₂, S₃ and S₄ are no salinity, with the salinity of 40, 80, and 120 Mm

B₁, B₂, B₃ and B₄ are no bio-fertilizers, application both *Pseudomonas* and *Flavobacterium*, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterium*, mycorrhiza application,

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different.

در حالت عدم اعمال شوری حاصل شد (جدول ۹). با افزایش شوری، محتوای پتاسیم ریشه کاهش یافت طوری که کمترین محتوای پتاسیم ریشه (۸/۰۴ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در بالاترین سطح شوری (۱۲۰ میلی‌مولار) در حالت عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین به دست آمد در حالی که بالاترین این مقادیر (۱۹/۹ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین تعلق داشت (جدول ۹). محتوای سدیم ریشه در سطوح شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در همان سطوح

مقادیر سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی: بر اساس نتایج

جدول تجزیه واریانس اثر سطوح شوری، کودهای زیستی و محلول‌پاشی پوترسین بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

محتوای سدیم و پتاسیم ریشه: با افزایش شوری، میزان

سدیم به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیش‌ترین محتوای سدیم ریشه (۳۶/۹۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در بالاترین سطح شوری و کمترین مقدار آن (۱۹/۳۸ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین

شوری، به ترتیب ۳۴/۹۱، ۳۲/۷۶ و ۲۴/۹۴ درصد کاهش یافت (جدول ۹).

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر هدایت الکتریکی برگ پرچم گندم

Table 7- Mean comparison the effects of salinity, and bio fertilizers on electrical conductivity Flag leaf of wheat

تیمارهای آزمایشی Experimental factors		هدایت الکتریکی ($\mu\text{s.cm}^{-1}$) Electrical conductivity		
		ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	تورم غلاف برگ پرچم Booting	ظهور سنبله Heading
سطوح شوری Salinity levels	عدم اعمال شوری no salinity	62.64	71.2	86.96
	۴۰ میلی مولار 40 mM	67.41	81.43	100.18
	۸۰ میلی مولار 80 mM	73.88	88	112.8
	۱۲۰ میلی مولار 120 mM	76.24	96.25	121.7
	LSD5%	1.74	2.05	2.91
سطوح کودهای زیستی Biofertilizers levels	عدم کاربرد کود زیستی without biofertilizer	74.68	90.19	113.68
	کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباكتريوم Both application of <i>Pseudomonas</i> with <i>Flavobacterium</i>	69.64	83.96	103.25
	کاربرد میکوریز با سودوموناس و فلاوباكتريوم Application of <i>Mycorrhiza</i> with <i>Pseudomonas</i> and <i>Flavobacterium</i>	65.83	78.3	98.12
	کاربرد میکوریز Application of <i>Mycorrhiza</i>	70.01	84.44	106.59
	LSD5%	1.74	2.05	2.91
سطوح پوترسین Putrescine levels	عدم محلول پاشی no foliar application	71.37	88.33	109.04
	۰/۵ میلی مولار پوترسین 0.5 mM	70.13	83.64	105.59
	۱ میلی مولار پوترسین 1 mM	68.62	80.68	101.61
	LSD5%	1.51	1.78	2.52

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون و برای هر فاکتور اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند
Means with similar letters in each column and each factor are not significantly different.

سدیم، منجر به کاهش جذب پتاسیم می‌شود. نتایج مشابهی نیز توسط چن و همکاران (Chen et al., 2005) مبنی بر این که شوری موجب افزایش مقدار سدیم در ریشه و اندام هوایی شده و نسبت سدیم به پتاسیم را در این اندام‌ها کاهش می‌دهد گزارش شده است. شیب (Shiyab, 2011) گزارش کرد که افزایش محتوای سدیم و کلر بر جذب رقابتی بسیاری از عناصر ضروری و انتخاب‌پذیری یونی در غشا اثر کرده و منجر به کاهش سایر عناصر غذایی از جمله پتاسیم در بافت گیاه می‌شود. کاربرد کودهای زیستی منجر به کاهش محتوای سدیم ریشه شد. در این راستا ندیم و همکاران (Nadeem, Zahir, Naveed, Arshad, & Shahzad, 2007) علت اصلی نسبت پایین محتوای سدیم در بذره‌های ذرت تلقیح‌شده با باکتری‌های محرک رشد در شرایط شوری را، به توانایی تولید ACC دامیناز نسبت دادند. الوارز و همکاران (Alvarez, Sueldo, & Barassi, 1996) اظهار داشتند که تلقیح با آزوسپریلیوم موجب بهبود رشد و استقرار بهتر گیاهچه‌های

مقادیر پتاسیم ریشه در سطوح شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباكتريوم و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین در همان سطوح شوری به ترتیب ۴۰، ۵۵/۸۳ و ۴۷/۷۶ درصد افزایش یافت (جدول ۹). به نظر می‌رسد یکی از دلایل کاهش جذب پتاسیم در شرایط شور، انتقال کاتیون‌های Na^+ و K^+ با یک پروتئین مشترک است که Na^+ برای ورود به درون سلول با K^+ رقابت می‌نماید (Parvaiz, & Satyawati, 2008). از طرفی با افزایش ورود سدیم از طریق آوند آبکشی و یا ناکافی بودن ورود سدیم به واکوئل‌های سلول‌های برگ، ممکن است افزایش مقادیر سدیم در آپوپلاست از ورود پتاسیم ممانعت کند و به این وسیله به‌طور غیرمستقیم مانع از بارگیری آوندهای آبکش شود. در این زمینه کلا و همکاران (Colla et al., 2008) اظهار داشتند که با افزایش شوری، رقابت در ورود درون سلولی دو یون پتاسیم و سدیم به دلیل تجمع

راستا مرادی و سید شریفی (Moradi & Seyed Sharifi 2018) گزارش کردند حداکثر سدیم در ریشه و اندام هوایی را در بالاترین سطح شوری در حالت عدم تلقیح بذر باکتری‌های محرک رشد و کم‌ترین آن در پایین‌ترین سطح شوری و تلقیح بذر با آزوسپریلیوم و سودوموناس گزارش کردند.

گندم رشد یافته تحت شرایط تنش اسمزی می‌شود و گیاهان تلقیح‌شده در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده، محتوای نسبی آب پروتوپلاستی بالاتری دارند که این امر احتمالاً به دلیل توسعه ریشه و جذب بهینه آب در ریشه‌ی گیاهان تلقیح‌شده در شرایط تنش اسمزی است که منجر به بهبود هدایت روزنه‌ای (جدول ۳) شده است. در این

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ترکیب تیماری شوری و کودهای زیستی بر هدایت الکتریکی برگ پرچم گندم

Table 8- Mean comparison the effects of salinity and bio fertilizers on electrical conductivity flag leaf of wheat

ترکیبات تیماری Treatment compound		مراحل نمونه‌برداری هدایت الکتریکی Sampling stages of electrical conductivity		
		ظهور برگ پرچم Flag leaf emergence	تورم غلاف برگ پرچم Booting	سنبله‌دهی Heading
S ₁	B ₁	64.78	78.71	90.2
	B ₂	63.48	72.14	83.75
	B ₃	59.03	65.71	83.56
	B ₄	63.26	68.25	90.02
S ₂	B ₁	73.83	88.55	108.92
	B ₂	65.65	83.52	99.25
	B ₃	61.24	72.97	91.03
	B ₄	68.91	80.68	101.52
S ₃	B ₁	78.04	91.83	122.56
	B ₂	72.71	87.24	114.43
	B ₃	70.83	83	104.23
	B ₄	73.94	89.93	110
S ₄	B ₁	82.08	101.68	132.73
	B ₂	76.71	92.93	115.58
	B ₃	72.22	91.52	113.66
	B ₄	73.94	98.88	124.84
LSD _{0.05}		3.41	5.02	6.14

S₁, S₂, S₃ و S₄: به ترتیب عدم اعمال شوری، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی‌مولار.

B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریز با سودوموناس و فلاوباکتریوم و کاربرد میکوریز.

S₁, S₂, S₃ and S₄ are no salinity, with the salinity of 40, 80, and 120 Mm

B₁, B₂, B₃ and B₄ are no bio-fertilizers, application of both *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, mycorrhiza application.

میانگین‌های با حروف مشترک در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different.

عدم کاربرد کودهای زیستی و پوترسین و بیشترین مقدار آن (۳۷/۷ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) به ترکیب تیماری عدم اعمال شوری با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین تعلق داشت (جدول ۹). با افزایش شوری، نسبت سدیم به پتاسیم در اندام هوایی و ریشه کاهش یافت ولی کاربرد پوترسین و کودهای زیستی موجب شد که علی‌رغم افزایش شوری، این نسبت در تمامی ترکیبات تیماری تا حدودی کاهش یابد (جدول ۹) که می‌تواند به نوعی بیانگر نقش موثر کودهای زیستی و پوترسین در تعدیل بخشی از اثرات ناشی از شوری باشد.

محتوای سدیم و پتاسیم اندام هوایی: محتوای سدیم

اندام هوایی تحت تاثیر تنش شوری افزایش یافت. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین مقادیر سدیم اندام هوایی (۳۱/۳۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در ترکیب تیماری عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول‌پاشی پوترسین در بالاترین سطح شوری و کمترین آن (۱۵/۰۳ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) با کاربرد توأم میکوریز، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول‌پاشی یک میلی‌مولار پوترسین در حالت عدم اعمال شوری به‌دست آمد (جدول ۹). نتایج نشان داد با افزایش سطح شوری، محتوای یون پتاسیم اندام هوایی کاهش یافت. کمترین مقادیر پتاسیم اندام هوایی (۲۱/۶۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) در بالاترین سطح شوری (اعمال ۱۲۰ میلی‌مولار شوری)،

جدول ۹- مقایسه میانگین اثر شوری، کودهای زیستی و پوترسین بر محتوای سدیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی و عملکرد دانه گندم

Table 9- Mean comparison the effects of salinity, bio fertilizers and putrescine on Na⁺ and K⁺ root and shoots and grain yield of wheat

ترکیب تیماری Treatment compound	آنتوسیانین Anthocyanin	سدیم ریشه (mg.g ⁻¹ .DW) Na ⁺ root	پتاسیم ریشه (mg.g ⁻¹ .DW) K ⁺ root	سدیم اندام هوایی (mg.g ⁻¹ .DW) Na shoot	پتاسیم اندام هوایی (mg.g ⁻¹ .DW) K ⁺ shoots	نسبت سدیم به پتاسیم ریشه Na ⁺ /K ⁺ ratio in root	نسبت سدیم به پتاسیم اندام هوایی Na ⁺ /K ⁺ ratio in shoots	عملکرد دانه تک بوته grain yield per plant (g)
S ₁ B ₁ P ₁	0.0107	23.6	15.01	19.19	30.83	1.58	0.626	1.23
S ₁ B ₂ P ₁	0.0123	20.79	17.11	15.72	32.79	1.22	0.483	1.37
S ₁ B ₃ P ₁	0.0122	22.9	16.75	17.45	35.72	1.37	0.493	1.39
S ₁ B ₄ P ₁	0.011	22.55	15.36	18.49	31.15	1.47	0.596	1.23
S ₁ B ₁ P ₂	0.011	21.85	15.36	18.84	32.14	1.43	0.59	1.29
S ₁ B ₂ P ₂	0.0122	19.74	18.85	18.49	32.71	1.05	0.57	1.38
S ₁ B ₃ P ₂	0.0117	22.55	17.1	16.07	33.44	1.32	0.483	1.67
S ₁ B ₄ P ₂	0.0114	20.79	16.41	18.15	34.75	1.27	0.526	1.48
S ₁ B ₁ P ₃	0.0116	22.9	15.36	18.84	31.8	1.5	0.596	1.27
S ₁ B ₂ P ₃	0.0113	21.84	18.85	15.37	34.1	1.16	0.453	1.53
S ₁ B ₃ P ₃	0.0128	19.38	19.19	15.03	37.7	1.01	0.40	1.86
S ₁ B ₄ P ₃	0.012	20.44	18.85	16.41	36.39	1.09	0.453	1.43
S ₂ B ₁ P ₁	0.0124	28.52	12.22	24.04	27.55	2.34	0.88	1.16
S ₂ B ₂ P ₁	0.0136	25.36	14.66	21.27	31.8	1.74	0.673	1.3
S ₂ B ₃ P ₁	0.0133	21.49	16.76	18.15	34.42	1.29	0.53	1.47
S ₂ B ₄ P ₁	0.0134	28.17	12.57	23.65	28.21	2.25	0.846	1.29
S ₂ B ₁ P ₂	0.0127	27.47	13.97	23.35	28.54	1.98	0.823	1.3
S ₂ B ₂ P ₂	0.0141	26.41	12.92	23.35	28.86	0.81	0.813	1.26
S ₂ B ₃ P ₂	0.0129	23.25	14.31	19.19	30.5	1.63	0.636	1.29
S ₂ B ₄ P ₂	0.0139	22.9	16.75	18.49	30.5	1.37	0.613	1.18
S ₂ B ₁ P ₃	0.0128	28.52	14.32	22.65	31.48	2	0.72	1.33
S ₂ B ₂ P ₃	0.1034	27.12	13.97	19.53	31.81	1.95	0.616	1.34
S ₂ B ₃ P ₃	0.0149	21.14	17.11	17.45	34.75	1.24	0.503	1.63
S ₂ B ₄ P ₃	0.0141	21.85	16.06	20.92	34.42	1.37	0.613	1.42
S ₃ B ₁ P ₁	0.0132	32.74	8.74	29.24	23.95	3.77	1.23	0.91
S ₃ B ₂ P ₁	0.0139	30.98	12.57	28.89	25.59	2.48	1.13	1.07
S ₃ B ₃ P ₁	0.0139	27.82	9.09	24.39	24.93	3.08	0.98	0.98
S ₃ B ₄ P ₁	0.1042	28.17	10.83	24.39	26.57	2.61	0.925	0.93
S ₃ B ₁ P ₂	0.0134	31.69	9.79	27.51	24.28	3.25	1.14	1
S ₃ B ₂ P ₂	0.0138	30.98	11.88	26.21	29.19	2.62	0.90	0.93
S ₃ B ₃ P ₂	0.0154	25	12.92	21.96	30.17	1.94	0.73	1.21
S ₃ B ₄ P ₂	0.0155	27.12	12.92	25.77	29.19	2.11	0.88	0.97
S ₃ B ₁ P ₃	0.0135	32.39	10.48	26.81	27.88	3.11	0.96	0.93
S ₃ B ₂ P ₃	0.0153	27.47	11.53	25.43	29.52	2.39	0.86	1.12
S ₃ B ₃ P ₃	0.0159	24.66	13.62	23.35	29.84	1.82	0.78	1.01
S ₃ B ₄ P ₃	0.0146	28.17	11.53	23.35	26.24	2.45	0.89	1.18
S ₄ B ₁ P ₁	0.015	36.96	8.04s	31.33	21.66	4.63	1.46	0.84
S ₄ B ₂ P ₁	0.016	32.74	10.14	29.91	23.63	3.25	1.27	0.92
S ₄ B ₃ P ₁	0.016	30.63	10.83	30.28	24.94	2.84	1.22	0.88
S ₄ B ₄ P ₁	0.0154	36.25	10.14	28.55	23.63	3.59	1.21	0.88
S ₄ B ₁ P ₂	0.0151	33.79	9.09	28.2	22.65	3.74	1.25	0.85
S ₄ B ₂ P ₂	0.0155	33.44	8.05s	26.47	21.99	4.18	1.21	0.88
S ₄ B ₃ P ₂	0.0174	33.09	10.48	27.51	25.26	3.18	1.09	1.03
S ₄ B ₄ P ₂	0.0167	34.85	10.14	30.28	21.99	3.46	1.38	0.89
S ₄ B ₁ P ₃	0.0164	33.09	11.53	29.94	22.97	2.88	1.31	0.86
S ₄ B ₂ P ₃	0.0155	34.5	9.78	26.81	23.96	3.55	1.12	0.93
S ₄ B ₃ P ₃	0.0183	29.58	11.88	25.77	26.57	2.5	0.97	1.08
S ₄ B ₄ P ₃	0.0161	30.98	10.48	29.24	23.63	2.97	1.24	0.94
LSD	0.001	3.14	2.42	3.2	3.73	0.285	0.0899	0.17

S₁, S₂, S₃ و S₄: به ترتیب عدم اعمال شوری، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار.

B₁, B₂, B₃ و B₄: به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد توأم سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد توأم میکوریزا با سودوموناس و فلاوباکتریوم، کاربرد میکوریزا

P₁, P₂ و P₃: به ترتیب عدم محلول پاشی، کاربرد ۰/۵ و ۱ میلی مولار پوترسین

S₁, S₂, S₃, and S₄ are no salinity, salinity of 40, 80 and 120 Mm

B₁, B₂, B₃, and B₄ are no bio fertilizers, application both *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, application of mycorrhiza with *Pseudomonas* and *Flavobacterim*, mycorrhiza application,

P₁, P₂, and P₃ are no foliar application, foliar application of 0.5 and 1 mM putrescine

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری با هم ندارند.

Means with similar letters in each column are not significantly different.

عملکرد تک بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر شوری، کودهای زیستی و محلول پاشی پوترسین و اثر ترکیب تیماری این سه عامل بر عملکرد دانه تک بوته، معنی دار شد (جدول ۲). مقایسه میانگین نشان داد بیشترین عملکرد تک بوته (۱/۸۶ گرم در بوته) در شرایط عدم اعمال شوری، کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی یک میلی مولار پوترسین و کمترین آن (۰/۸۴ گرم در بوته) در سطح شوری ۱۲۰ میلی مولار، عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین به دست آمد (جدول ۹). در سطوح شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار، کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی پوترسین عملکرد دانه را به ترتیب ۴۰/۵۱، ۳۲/۹۶ و ۲۸/۵۷ درصد در مقایسه با عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی افزایش داد (جدول ۴). به نظر می رسد کاربرد توأم میکوریزا با باکتری محرک رشد، اغلب جذب مواد مغذی غیر قابل دسترس را در گیاهان را تسهیل می کند و بنابراین موجب رشد گیاه می شود (Duponnois, Galiana, & Prin, 2008). قارچ میکوریزی و باکتری محرک رشد با بهبود تغذیه و رشد گیاهان در شرایط شور، موجب افزایش عملکرد می شوند. همچنین افزایش شاخص سطح برگ (شکل ۱) و بیوماس کل (شکل ۲) در حالت کاربرد کودهای زیستی و محلول پاشی پوترسین می تواند بخشی از افزایش عملکرد را توصیف نماید. در این زمینه حسین و همکاران (Hussein, Nadia, EL-Gereadly, & EL-Desuki, 2006) نشان دادند که مصرف پوترسین همه فعالیت های متابولیکی در گیاهان تحت تنش شوری را بهبود بخشیده و موجب مقاومت بیشتر و افزایش عملکرد گیاه نخود فرنگی تحت شرایط شوری شد. برخی محققان معتقدند کاربرد توأم میکوریزا با باکتری محرک رشد در افزایش عملکرد می تواند ناشی از در دسترس بودن زیاد نیتروژن در خاک به دلیل باکتری های محرک رشد و سنتز فیتوهورمون و ارتباط قارچ میکوریزا با باکتری های محرک رشد به دلیل سیستم هیفی میکوریزایی گسترده و تغییرات در فیزیولوژی و افزایش سیستم ریشه باشد که در نهایت موجب جذب بیشتر آب و مواد مغذی می شود (Zhu, Song, & Xu, 2010). به نظر می رسد که پوترسین با خاصیت آنتی اکسیدانی و مهار پراکسیداسیون لیپیدهای غشا و کاهش هدایت الکتریکی (جدول ۸ و ۹) و کاهش تولید رادیکال های آزاد و افزایش آنتوسیانین (جدول ۹)، اثرات تنش شوری را تعدیل نموده و از آسیب و مرگ سلول ها ممانعت به عمل می آورد (Hadi et al., 2016).

نتیجه گیری

شوری یکی از مهم ترین تنش های غیر زیستی موثر در کاهش

در سطوح شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار، محتوای سدیم اندام هوایی با کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی پوترسین نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین در همان سطوح شوری به ترتیب ۳۷/۷۶، ۳۳/۱۵ و ۲۱/۵۷ درصد کاهش یافت (جدول ۴). همچنین غلظت پتاسیم اندام هوایی در سطوح شوری ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ میلی مولار با کاربرد توأم میکوریزا، سودوموناس و فلاوباکتریوم و محلول پاشی پوترسین نسبت به عدم کاربرد کودهای زیستی و عدم محلول پاشی پوترسین در همان سطوح شوری به ترتیب ۲۶/۱۳، ۲۵/۹۷ و ۲۲/۶۶ درصد افزایش یافت (جدول ۹). کاهش غلظت پتاسیم بافت ممکن است نتیجه رقابت مستقیم بین سدیم و پتاسیم در جایگاه جذب پلاسما یا اثر سدیم بر انتقال پتاسیم در آوند چوبی و یا اثر سدیم بر جریان پتاسیم در ریشه باشد (He & Cramer, 1993). سدیم به عنوان یک عنصر ضروری برای گیاه در نظر گرفته نمی شود و تجمع سدیم در گیاه در شرایط شوری به کاهش کلسیم و پتاسیم در گیاه منجر می گردد. اثر سمیت سدیم کلرید ناشی از انباشتگی زیاد نمک در گیاه ممکن است تنها به دلیل اثرات مستقیم یون سدیم نباشد، بلکه به علت کاهش مقدار عناصر مغذی ضروری پتاسیم و کلسیم در گیاه باشد (Rengel, 1992). کایا و همکاران (Kaya, Akram, Ashraf, & Sonmez, 2013) بیان کردند که تنش شوری موجب افزایش سدیم و کاهش پتاسیم در بافت های ذرت می شود. تلقیح گیاه با میکوریزا موجب بهبود وضعیت تغذیه ای، از جمله افزایش غلظت پتاسیم و کاهش غلظت سدیم، در بافت برگ می شود (Rabie & Almadini, 2005). در نتیجه میزان آب برگ و انتقال عناصر غذایی به گیاه افزایش می یابد (Hammer et al., 2011). این وضعیت به افزایش انتقال آسمیلات به مخزن منجر می شود و از فشار و شدت شوری کاسته و در نهایت رشد و تولید را افزایش می دهد (Colla et al., 2008). قارچ میکوریزا با تعدیل اثرات مخرب تنش شوری، جذب پتاسیم را افزایش می دهد و از انتقال سدیم به اندام هوایی جلوگیری می کند (Giri, Kapoor, & Mukerji, 2007). در پژوهشی جذب پتاسیم در گیاهان تلقیح شده با میکوریزا حتی در شوری بالا (۹/۵ دسی زیمنس بر متر) نیز افزایش یافت و موجب افزایش نسبت پتاسیم به سدیم در ریشه و اندام هوایی شد (Giri et al., 2007). در مطالعه ال هیندی و همکاران (Elhindi, El-Din, & Elgorban, 2016) بر روی گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum*) در سه سطح شوری (صفر، ۵ و ۱۰ دسی زیمنس بر متر کلرید سدیم) گزارش کردند که نسبت پتاسیم به سدیم با کاربرد میکوریزا به طور معنی داری افزایش یافت که نشان از افزایش پتاسیم تحت شرایط شوری با کاربرد میکوریزا دارد.

پتاسیم در ریشه و اندام‌های هوایی، منجر به بهبود عملکرد دانه حتی در بالاترین سطح از شوری شد. از این رو کاربرد کودهای زیستی و پوترسین می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد گندم تحت شرایط شوری توصیه شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از پایان‌نامه دکتری نویسنده اول مقاله می‌باشد که نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از یکایک همکاران ارجمند در دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی اعلام می‌دارند.

عملکرد است که اساساً به دلیل غلظت بیش از حد یون‌های سدیم و یا کمبود پتاسیم منجر به کاهش هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود. در چنین شرایطی یکی از راه‌کارهای مناسب برای بهبود عملکرد دانه استفاده از کودهای زیستی (همانند میکوریزا و باکتری‌های محرک رشد) و همچنین استفاده از برخی تنظیم‌کننده‌های رشدی همچون پوترسین است. در این بررسی کاربرد توام میکوریزا با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی پوترسین در تمامی سطوح شوری با افزایش هدایت روزنه‌ای در هر سه مرحله نمونه‌برداری (مراحل ظهور برگ پرچم، تورم غلاف برگ پرچم و ظهور سنبله) و کاهش محتوای سدیم و افزایش محتوای

References

1. Alvarez, M. I., Sueldo, R. J., & Barassi, C. A. (1996). Effect of Azospirillum on coleoptile growth in wheat seedling under water stress. *Cereal Research Communication*, 24, 101-107.
2. Asch, F., Dingkuhn, M., & Droffling, K. (2000). Salinity increases CO₂ assimilation but reduces growth in field growth irrigated rice. *Plant Soil*, 218, 1-10. <https://doi.org/10.1023/A:1014953504021>
3. Ashraf, M., & McNelly, T. (2004). Salinity tolerance in Brassica oil seeds. *Critical Reviews in Plant*, 34, 34-45. <https://doi.org/10.1080/07352680490433286>
4. Atiya, A. M., Poortvliet, E., Stromberg, R., & Yngve, A. (2011). Polyamines in foods: development of a food database. *Food Nutrition Research*, 14(55), 1-15. <https://doi.org/10.3402/fnr.v55i0.5572>
5. Auge, R. M. (2004). Arbuscular mycorrhizae and soil/plant water relations. *Canadian Journal of Soil Science*, 84, 373-381.
6. Baniyadi, F., Saffari, V. R., & Maghsoudi moud, A. (2015). Effect of putrescine on some physiological and morphological characteristics of pot marigold (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Envirometal Stresses in Crop Science*, 8(1), 73-82. <https://doi.org/10.22077/escs.2015.202>
7. Bashan, Y., Ivanony, Y. H., & Saad, A. (1989). Nonspecific response in plant growth, yield and root colonization of non-cereal crop plant to inoculation with Azospirillum brasilense. *Canadian Journal of Botany*, 67, 1317-1324. <https://doi.org/10.1139/b89-175>
8. Beltrano, J., Montaldi, E., Bartoli, C., & Carbone, A. (1997). Emission of water stress ethylene in wheat (*Triticum aestivum* L.) ears: Effects of rewatering. *Plant Growth Regulation*, 21, 121-126.
9. Boomsma, C. R., & Vyn, T. J. (2008). Maize drought tolerance: Potential improvements through arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Field Crops Research*, 108, 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.03.002>
10. Chelah, M. K. B., Nordin, M. N. B., Musliania, M. I., Khanif, Y. M., & Jahan, M. S. (2011). Composting increases BRIS soil health and sustains rice production on BRIS soil. *Scienceasia*, 37, 291-295. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2011.37.291>
11. Chen, Z., Newman, I., Zhuo, M., Mendham, N., Zhang, G., & Shabala, S. (2005) Screening plants for salt tolerance by measuring K⁺ flux: a case study for barely. *Plant Cell and Environment*, 28, 1230-1246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01364.x>
12. Colla, G., Roupheal, Y., Cardarelli, M., Tullio, M., Carlos, M. R., & Elvira, R. (2008). Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration. *Biology and Fertility of Soils*, 44, 501-509. <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0232-8>
13. Colom, M. R., & Vazzana, C. (2003). Photosynthesis and PSII functionality of drought resistant and drought sensitive weeping lovegrass plant. *Environmental and Experimental Botany*, 49, 135-144.
14. Cuartero, J., Bolarin, M. C., Asins, M. J., & Moreno, V. (2006). Increasing salt tolerance in tomato. *Journal of Experimental Botany*, 57, 1045-1058. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj102>
15. Duponnois, R., Galiana, A., & Prin, Y. (2008). The Mycorrhizosphere effect: A multitrophic interaction complex improves mycorrhizal symbiosis and plant growth. In: Siddiqui Z.A., Akhtar M.S., Futai K. (eds) *Mycorrhizae: Sustainable Agriculture and forestry*, Dordrecht: Springer.
16. Elhindi, K. M., El-Din, A. S., & Elgorban, A. M. (2016). The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating saltinduced adverse effects in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal of Biological Science*, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.010>
17. Garg, N., & Bhandari, P. (2015). Silicon nutrition and mycorrhizal inoculations improve growth, nutrient status, K⁺/Na⁺ ratio and yield of *Cicer arietinum* L. genotypes under salinity stress. *Plant Growth Regulation*, 371-378.

- <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0099-x>
18. Giri, B., Kapoor, R., & Mukerji, K. G. (2007). Improved tolerance of *Acacia nilotica* to salt stress by arbuscular mycorrhiza, *Glomus fasciculatum* may be partly related to elevated K/Na ratios in root and shoot tissues. *Microbial Ecology*, 54, 753-760. <https://doi.org/10.1007/s00248-007-9239-9>
 19. Glick, B. R., Penrose, D., & Wendo, M. (2001). Bacterial promotion of plant growth. *Biotechnology Advance*, 19, 135-138. [https://doi.org/10.1016/s0734-9750\(00\)00065-3](https://doi.org/10.1016/s0734-9750(00)00065-3)
 20. Grattan, S. R., & Grieve, C. M. (1999). Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Journal of Horticultural Science*, 78, 127-157.
 21. Hadi, H., Seyed Sharifi, R., & Namvar, A. (2016). *Phytoprotectants and Abiotic Stresses*. Urmia University press. 342p.
 22. Hagh Bahari, M., & Seyed Sharifi, S. (2013). Influence of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, grain filling rate and period of wheat in different levels of soil salinity. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 65-75. <https://doi.org/10.22077/escs.2013.138>
 23. Hammer, E. C., Nasr, H., Pallon, J., Olsson, P. A., & Wallander, H. (2011). Elemental composition of arbuscular mycorrhizal fungi at high salinity. *Mycorrhiza*, 21, 117-129. <https://doi.org/10.1007/s00572-010-0316-4>
 24. Hanafy Ahmed, A. H., Darwish, E., Hamoda, S. A. F., & Alobaidy, M. G. (2013). Effect of putrescine and humic acid on growth, yield and chemical composition of cotton plants grown under saline soil conditions. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 13, 479-497. <https://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2013.13.04.1965>
 25. He, T., & Cramer, G. R. (1993). Salt tolerance of rapid cycling Brassica species in relation to K⁺ /Na⁺ ratio and selectivity at the whole plant and callus levels. *Journal of Plant Nutrition*, 16, 1263-1277.
 26. Hussein, M. M., Nadia, H. M., EL-Gereadly, & EL-Desuki, M. (2006). Role of putrescine in resistance to salinity of Pea plants (*Pisum sativum* L.). *Journal of Applied Science Research*, 2(9), 598-604.
 27. Jamil, M., Rehman, S., Jae Lee, K., Man Kim, J., Kim, H. S., & Rha, E. S. (2007). Salinity reduced growth PS₂ Photo chemistry and chlorophyll content in Radish. *Science Agriculture*, 64, 111-118. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162007000200002>
 28. Kafi, M., & Stewart, D. A. (1998). Effect of salinity on growth and yield of nine types of wheat. *Agronomy Food Science*, 12(1), 77-85.
 29. Karlidag, H., Esitken, A., Yildirim, E., Figen-Donmez, M., & Turan, M. (2011). Effects of plant growth promoting bacteria on yield, growth, leaf water content, membrane permeability and ionic composition of strawberry under saline conditions. *Journal of Plant Nutrition*, 23, 157-174. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.531356>
 30. Kaya, C., Akram, N., Ashraf, M., & Sonmez, O. (2018). Exogenous application of humic acid mitigates salinity stress in maize (*Zea mays* L.) plants by improving some key physico-biochemical attributes. *Cereal Research Communications*, 46(1), 67-78. <https://doi.org/10.1556/0806.45.2017.064>
 31. 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. *Notula Botanica Horticultural Agro Cluj-Napoca*, 44(1), 116-124. <https://doi.org/10.15835/nbha44110224>
 32. Mass, E. V., & Poss, J. A. (1989). Salt sensitivity of wheat at various growth stages. *Irrigation Science* 10(1), 29-40.
 33. Moradi, F., & Abdelbagi, M. I. (2007). Response of photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ROS-scavenging systems to salt stress during seeding and reproductive stages in rice. *Annals Botany*, 1-13. <https://doi.org/10.1093/aob/mcm052>
 34. Moradi, L., & Seyed Sharifi, R. (2018). Response of antioxidant enzymes, chlorophyll content and leaf area index of Rye to seed inoculation with plant growth promoting bacteria under salinity conditions. *Crop Physiology Journal*, 7(38), 77-93.
 35. Munns, R., James, R. A., & Lauchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal Experimental Botany*, 57, 1025-1043. <https://doi.org/10.1093/jxb/erj100>
 36. Nadeem, S. M., Zahir, Z. A., Naveed, M., Arshad, M., & Shahzad, S. M. (2006). Variation in growth and ion uptake of maize due to inoculation with plant growth promoting rhizobacteria under salt stress. *Soil and Environment*, 25, 78-84.
 37. Ortas, I., Sari, N., Akpinar, C., & Yetisir, H. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128(2), 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.014>
 38. Parvaiz, A., & Satyawati, S. (2008). Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant, Soil and Environment*, 54, 89-99.
 39. 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>
 40. Ravikumar, S., Kathiresan, K., Ignatiammal, S. T. M., Selvam, M. B., & Shanthi, S. (2004). Nitrogen fixation

- Azotobacters from mangrove habitat and their utility as marine biofertilizers. *Journal of Experimental Biology*, 15, 157-160. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.05.020>
41. Rabie, A. M., & Almadini, G. H. (2005). Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of *Vicia faba* plants under salinity stress. *African Journal of Biotechnology*, 4(3), 210-222.
42. Rengel, Z. (1992). The role of calcium in salt toxicity. *Plant, Cell and Environment*, 15, 625-632. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1992.tb01004.x>
43. Rodriguez, H., & Fraga, R. (1999). Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, 17, 319-339. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(99\)00014-2](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(99)00014-2)
44. Sandhya, V., Ali, S. K. Z., Grover, M., Reddy, G., & Venkateswarlu, B. (2010). Effect of plant growth promoting *Pseudomonas* spp. on compatible solutes, antioxidant status and plant growth of maize under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 62, 21-30.
45. Seyed Sharifi, R., & Golineghad, E. (2021). *Evaluation Agronomic and Morphophysiological Traits of Crop Plants*. University of Mohaghegh Ardabili press. 400 pp.
46. Sfakianaki, M., Sfichi, L., & Kotzabasis, K. (2006). The involvement of LHCII-associated polyamines in the response of the photosynthetic apparatus to low temperature. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 84, 181-188. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2006.03.003>
47. Shiyab, S. (2011). Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on macro and micro elements and protein content of hot pepper (*Capsicum annum* L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 9, 350-356.
48. Talaat, I. M., Bekheta, M. A., & Mahgoub, M. H. (2005). Physiological response of periwinkle plants (*Catharanthus roseus* L.) to tryptophan and putrescine. *International Journal of Agriculture and Biology*, 7, 210-213.
49. Wang, H., Ju, X., Wei, Y., Li, B., Zhao, L., & Hu, K. (2010) Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and high-intensity irrigation rates in North China Plain. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1646-1654. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.05.022>
50. Wu, S. C., Cao, Z. H., Li, Z. G., Cheung, K. C., & Wong, M. H. (2005). Effects of bio fertilizer containing N-fixers, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*, 125, 155-166. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.07.003>
51. Zahir, Z. A., Munir, A., Asghar, H. N., Arshad, M., & Shaharoona, B. (2008). Effectiveness of rhizobacteria containing ACC-deaminase for growth promotion of peas (*Pisum sativum*) under drought conditions. *Journal of Microbiology Biotechnology*, 18, 958-963.
52. Zhu, X., Song, F., & Xu, H. (2010). Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20, 325-332.



Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa Genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) to the Application of Potassium and Zinc Chelates under Drought Stress Conditions

Y. Zahmatkesh¹, M. Pessarakli^{2*}, A. Souhani³

Received: 11-08-2022
Revised: 09-11-2022
Accepted: 27-11-2022

How to cite this article:

Zahmatkesh, Y., Pessarakli, M., & Souhani darbani, A. (2023). Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa Genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) to the Application of Potassium and Zinc Chelates under Drought Stress Conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 21(2), 243-264. (in Persian with English abstract).
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78159.1191>

Introduction

Since the development of crop cultivation and their yield depend on irrigation and since drought is one of the features of our country, one of the solutions to deal with these problems is the implementation of applied research in the field of stress-resistant plants cultivation such as quinoa. Also, considering the important role of potassium and zinc elements in the plant, providing a sufficient amount of these elements under drought stress can be effective in increasing the plant's resistance to this type of stress. Considering the genetic differences of plants and their different reactions in the face of environmental stress such as drought stress, and different fertilization of genotypes, it seems necessary to carry out this research to investigate the application of potassium and zinc chelates on the morpho-physiological and yield indicators of three quinoa genotypes under drought stress conditions in Razavi Khorasan climate.

Materials and Methods

This study was conducted to study the morpho-physiological and yield responses of three quinoa genotypes to foliar application of zinc and potassium chelates under drought stress conditions in a research educational farm - Faculty of Agriculture of Islamic Azad University, Mashhad branch located in Golbahar during two crop years 2018-19 and 2019-20. The experiment was a factorial split plot in the form of a basic randomized complete block design with three replications. Drought stress at four levels as the main plots (normal irrigation as a control treatment, 75% of crop capacity, 50% of crop capacity, and 25% of crop capacity) and as the sub-plots, the combination of quinoa cultivars at three levels (Q26, Q29, and Titicaca) and foliar spraying were tested at four levels (no foliar spraying as a control, 100% zinc chelate, 100% potassium chelate and 50% combination of zinc and potassium chelates). Planting was done in the middle of May in both years. To measure the photosynthetic pigments after 10% flowering, sampling was obtained from the young terminal leaves separately from each plot. Analysis of the obtained data was done using SAS 9.2 software. The mean comparison of the evaluated traits was done using Duncan's multiple range test at 5% probability level.

Results and Discussion

The growth and yield indicators and photosynthetic pigments decreased with the increase in stress intensity. Results also showed that the combined foliar spray treatment resulted in higher height, plant weight, number of seeds per spike, seed, and biological yield than other fertilizer treatments. Although different varieties had different reactions to different traits, the highest plant weight, number of seeds per spike, thousand seed weight, seed yield, and chlorophyll a and b were obtained in the Q26 variety. The highest plant height and biological yield were obtained in the Tricaca variety and combined foliar application under non-stressed conditions, and for

1- Ph.D. Student of Crop Physiology, Islamic Azad University, Damghan Branch, Iran

2- Professor, Department of Agriculture, University of Arizona, USA

3- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

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

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78159.1191>

plant weight, number of seeds per spike, seed yield, and chlorophyll b traits were observed in the G26 variety and combined foliar application under non-stressed conditions. Also, the highest amount of harvest index and chlorophyll *a* were obtained in the treatment without stress and Q26 variety and 100% Zn foliar application. On the other hand, the highest 1000 seeds weight and carotenoids were obtained in 100% K foliar application and Q26 and Tricaca cultivars under no stress, respectively. In the second year of the experiment, the growth and yield of the plant increased significantly compared to the first year under different levels of irrigation and also different levels of foliar spraying.

Conclusion

In general, in this experiment, the yield of the quinoa plant is reduced by reducing the amount of water consumed and as a result, the occurrence of drought stress, but with the use of foliar spraying, especially combined foliar spraying, the adverse effects of drought stress on the performance of this plant can be reduced to an optimal extent. It seems that in the region in question, the difference in rainfall and evaporation, and transpiration in the two years of the experiment had a significant effect on the studied traits so that in the first year compared to the second year, the limitation of water resources was more effective in reducing plant growth and yield. However, using appropriate amounts of combined and separate foliar spraying to increase the plant's ability to absorb water more effectively is a suitable method to increase the yield of different quinoa cultivars under drought stress.

Keywords: Biological yield, Crop capacity, Photosynthetic pigments, Seed yield

مقاله پژوهشی

جلد ۲۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۲، ص ۲۶۴-۲۴۳

پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی ژنوتیپ‌های کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd) به کاربرد کلات پتاس و روی تحت شرایط تنش خشکی

یاسر زحمتکش^۱، محمد پسرکلی^{۲*}، علیرضا سوهانی دربانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۶

چکیده

به منظور مطالعه پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی سه ژنوتیپ کینوا به محلول‌پاشی کلات‌های روی و پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی در مزرعه آموزشی پژوهشی- دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد واقع در گلپار در طی دو سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ و ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تنش خشکی در چهار سطح در کرت‌های اصلی (آبیاری معمول به عنوان تیمار شاهد، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و در کرت‌های فرعی ترکیب تیماری ارقام گیاه کینوا در سه سطح (Q26، Q29 و Titicaca) و محلول‌پاشی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد، کلات روی ۱۰۰ درصد، کلات پتاس ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد تلفیق کلات روی و پتاس) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش بر میزان شاخص‌های رشدی و عملکردی و رنگیزه‌های فتوسنتزی کاسته شد. همچنین نتایج نشان داد تیمار محلول‌پاشی ترکیبی نسبت به دیگر تیمارها ارتفاع، وزن بوته، تعداد دانه، عملکرد دانه و بیولوژیک بیشتری داشتند. هرچند ارقام مختلف نسبت به صفات مختلف واکنش متفاوتی داشتند ولی بیشترین وزن بوته، تعداد دانه، وزن هزاردانه، عملکرد دانه و کلروفیل a و b در رقم Q26 به دست آمد. همچنین در سال دوم آزمایش در شرایط سطوح مختلف آبیاری و همین‌طور سطوح مختلف محلول‌پاشی رشد و عملکرد گیاه به طور قابل توجهی نسبت به سال اول افزایش داشت. به طور کلی می‌توان اظهار داشت که کاربرد کودهای محلول‌پاشی توانست اثرات تنش خشکی را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: رنگیزه‌های فتوسنتزی، عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، ظرفیت زراعی

مقدمه

حاشیه‌ای را دارد (Jacobsen, Liu, & Jensen, 2009). این گیاه ۷ اسید آمینه ضروری دارد، سرشار از ویتامین و امگا ۹ می‌باشد. میزان اسید آمینه لیزین دانه‌های این گیاه بالاتر از گندم می‌باشد و برای تعادل غذایی انسان مطلوب می‌باشد کینوا از نظر سدیم فقیر بوده ولی از نظر کلسیم، فسفر، منیزیم، پتاسیم، آهن، مس، روی نسبت به گندم و جو ذرت برتری دارد. از نظر چربی و کربوهیدرات و ویتامین نیز از گندم غنی‌تر می‌باشد. کینوا حاوی مواد معدنی فوق‌العاده‌ای با خواص آنتی‌اکسیدانی می‌باشد (Jamali & Sharifan, 2018).

با توجه به کمبود آب و کاهش نزولات آسمانی، یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های تولیدکنندگان محصولات کشاورزی عدم توانایی تامین آب مورد نیاز برای رشد گیاهان می‌باشد. تنش‌های محیطی اعم از زنده و غیرزنده همواره از عوامل اصلی کاهش تولید محصولات زراعی و از موانع اصلی رسیدن به پتانسیل عملکرد محصولات مختلف بوده‌اند. تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده تولید محصولات در

گیاه کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Wild از خانواده Amaranthaceae و زیر خانواده Chenopodiaceae گیاهی شورزیست اختیاری، دارای دانه‌های خوراکی سرشار از پروتئین است (Jacobsen et al., 2005; Adolf, Shabala, Andersen, 2012; Razzaghi, & Jacobsen, 2012). این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزنده مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان می‌دهد و همچنین به خوبی قابلیت رشد در خاک‌های

۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دامغان، ایران

۲- استاد گروه کشاورزی، دانشگاه آریزونا، آمریکا

۳- استادیار دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، ایران

(*) نویسنده مسئول: Email: pessarklim@gmail.com
<https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.78159.1191>

کشور ما به حساب می‌آید، یکی از راهکارهای مقابله با این مشکلات، اجرای تحقیقات کاربردی در زمینه کشت و کار گیاهان مقاوم به تنش همچون کینوا می‌باشد. همچنین با توجه به نقش مهم عنصر پتاسیم و روی در گیاه، فراهم ساختن مقدار کافی از این عناصر در شرایط تنش خشکی، می‌تواند در افزایش مقاومت گیاه به این نوع تنش موثر واقع گردد. با توجه به تفاوت‌های ژنتیکی گیاهان و واکنش‌های متفاوت آن‌ها در مواجهه با تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، و کودپذیری متفاوت ژنوتیپ‌ها، انجام این پژوهش با هدف بررسی کاربرد کلات‌های پتاسیم و روی بر شاخص‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی سه ژنوتیپ کینوا تحت شرایط تنش خشکی در اقلیم خراسان رضوی ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به منظور مطالعه پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژیکی و عملکردی سه ژنوتیپ کینوا به محلول‌پاشی کلات‌های روی و پتاسیم تحت شرایط تنش خشکی در مزرعه آموزشی پژوهشی- دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد واقع در گلپه‌ار (با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۳ دقیقه و عرض جغرافیایی ۸۰ درجه و ۸۴ دقیقه) در طی دو سال زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹ انجام شد. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک بوده و بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد که در فاصله سه کیلومتری این مزرعه قرار دارد میانگین حرارت سالانه آن حدود ۱۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد میانگین دمای گرم‌ترین ماه سال ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین سردترین ماه سال ۱/۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. داده‌های هواشناسی طی دوره اجرای پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. قبل از اجرای آزمایش، به منظور بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی، از خاک مزرعه نمونه‌برداری شد (جدول ۲).

آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود. تنش خشکی در چهار سطح در کرت‌های اصلی (آبیاری معمول به عنوان تیمار شاهد، ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) و در کرت‌های فرعی ترکیب تیماری ارقام گیاه کینوا در سه سطح (q26، q29 و Titicaca) و محلول‌پاشی در چهار سطح (عدم محلول‌پاشی به عنوان شاهد، کلات روی ۱۰۰ درصد، کلات پتاس ۱۰۰ درصد و ۵۰ درصد تلفیق کلات روی و پتاس) مورد آزمایش قرار گرفت. هر کرت شامل شش ردیف کاشت و با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتی‌متر و طول سه متر در نظر گرفته شد. بین کرت‌های اصلی چهار ردیف نکاشت در نظر گرفته شد.

سیستم‌های کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید (Abarshahr, Rabiei, & Samizadeh-Lahigi, 2011). تنش خشکی در حقیقت کاهش پتانسیل آب خاک است. در چنین شرایطی گیاه به منظور ادامه جذب آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله کربوهیدرات محلول و پرولین، پتانسیل اسمزی خود را کاهش می‌دهد و به عبارت دیگر تنظیم اسمزی صورت می‌گیرد. در فرآیند تنظیم اسمزی، تورژسانس و فرایندهای وابسته به آن تحت شرایط کمبود آب ادامه می‌یابد. از این رو تنظیم اسمزی به توسعه سلولی و رشد گیاه در تنش آبی کمک می‌کند. تحمل به خشکی صفت پیچیده‌ای است که ظهور آن به عوامل مختلفی از جمله ویژگی‌های مورفولوژی، فیزیولوژی و بیوشیمیایی و برهمکنش بین آن‌ها بستگی دارد (Adebayo et al., 2014).

مصرف پتاسیم می‌تواند مقاومت گیاهان را به خشکی افزایش دهد، چون این عنصر در فیزیولوژی و متابولیسم گیاه نه تنها از نظر مقدار موجود در بافت‌های گیاهی، بلکه از نظر وظایف فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مهم‌ترین کاتیون است (Shekofteh & Dehghani, 2016). اگرچه پتاسیم در ساختار شیمیایی گیاه نقش ندارد، اما یکی از عناصر ضروری و مورد نیاز گیاه است و در بسیاری از فعالیت‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی نقش اساسی داشته و در حفظ پتانسیل اسمزی و جذب آب موثر است. کوددهی با استفاده از کودهای پتاسیم موجب افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های کم‌آبی و شوری شده و سطح تحمل آن‌ها را نسبت به آفات و بیماری‌های مختلف بالا می‌برد (Shekofteh & Dehghani, 2016).

عناصر کم‌مصرف برای رشد طبیعی گیاهان مورد نیاز هستند و ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی دخالت دارند (Ravi, Channal, Hebsur, 2008). عنصر کم‌مصرف روی تأثیر زیادی در کاهش اثرات سوء تنش خشکی در گیاهان زراعی دارند. با کاهش میزان رطوبت خاک، تحرک عناصر روی و آهن رد خاک کاهش یافته و با توجه به محدودیت رشد ریشه، گیاه به‌طور فزاینده‌ای با کمبود این عناصر مواجه می‌گردد (Jalil Shesh Bahre & Movahedi, 2012). در پژوهشی محققان گزارش کردند که محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف مانند آهن و روی در شرایط تنش خشکی عملکرد آفتابگردان را با بهبود بازده فتوشیمیایی و غلظت سبزینه، افزایش داد (Babaeian, Heidari, & Ghanbari, 2008). علاوه بر آن گزارش شده است که، روی میزان فتوسنتز و دوام سطح برگ را افزایش می‌دهد و در نتیجه آن میزان تولید آسمیلات‌ها افزایش می‌یابد (Yousefi, 2012).

از آنجا که توسعه کشت محصولات زراعی و میزان عملکرد آن به آبیاری وابسته است و با توجه به این که خشکی از ویژگی‌های بارز

جدول ۱- آمار هواشناسی (ماهانه) ایستگاه سینوپتیک مشهد طی دوره آزمایش در سال‌های ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹
Table 1- Meteorological statistics (monthly) of Mashhad Synoptic Station during the experimental period in 2018-19 and 2019-20

Month	میزان بارندگی Rainfall (mm)		دمای حداقل T _{Min} (°C)		دمای حداکثر T _{Max} (°C)		ساعات آفتابی Sunshine duration	
	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20	2018-19	2019-20
September	2.32	0.12	11.6	9.7	26.2	24.6	9.25	8.84
October	17.85	6.3	4.01	7.3	15.4	22.7	5.52	8.02
November	8.37	2.56	1.47	-0.13	12	12.01	5.1	5.99
December	5.4	44.97	-0.96	-0.03	8.92	13.5	4.84	5.94
January	6.8	22.96	0.54	-0.69	11.98	12.02	6.49	6.06
February	41.53	54.93	4.72	7.5	16.7	17.5	6.49	4.38
March	32.9	37.75	6.88	8.98	16.65	20.6	5.25	5.62
April	37.37	41.86	13.75	12.9	25.5	25.9	8.30	7.76
May	0.5	18.11	19.06	18.2	35.4	32.8	12.6	10.94
June	4.03	0.01	20.74	22.7	34.7	37.8	11.64	12.59
July	0.3	0	20.79	21.3	34.7	35.3	11.60	11.91
August	0.21	0.11	15.16	15.6	29.7	31.2	10.67	10.67

جدول ۲- نتایج تجزیه شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی (۰-۳۰) سانتی‌متری

Table 2- Selected properties of the top soil (0-30 cm) of the experimental site

Year	N (%)	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	Organic matter (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH
2018-19	0.06	12.6	256	0.58	2.22	7.2
2019-20	0.05	12.1	248	0.56	2.20	7.2

که در این رابطه، V: حجم آب آبیاری بر حسب مترمکعب، FC: درصد رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی، θ_m : درصد رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، Pb: وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌مترمکعب)، D_{root}: عمق توسعه ریشه بر حسب متر، A: مساحت آبیاری شده بر حسب مترمربع، E_i: راندمان آبیاری می‌باشد. محلول‌پاشی کلات‌های پتاسیم و روی (از منبع کودهای کلاته شرکت خضراء با غلظت توصیه شده شرکت سازنده که به‌ترتیب برای ۱۰ و ۳ در هزار برای پتاسیم و روی خواهد بود) در دو مرحله ۱۰ و ۱۵ برگ و پس از اعمال تنش خشکی انجام شد.

بعد از اعمال تیمارهای آزمایش، برای اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی بعد از مرحله گلدهی نمونه‌گیری از برگ‌های جوان انتهایی به‌منظور اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیکی جداگانه از هر کرت انجام شد. میزان کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها به روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شدند. در این روش مقدار ۰/۵ گرم از ماده تر گیاهی را در هاون ریخته و سپس توسط نیتروژن مایع خرد شدند. ۲۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد را به نمونه اضافه کرده و در دستگاه سانتریفیوژ ۶۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ده دقیقه قرار داده شد. عصاره فوقانی جدا شده حاصل از سانتریفیوژ به بالن شیشه‌ای منتقل شد. مقداری از نمونه داخل بالن را در کووت اسپکتروفتومتر ریخته و سپس به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳ نانومتر برای کلروفیل a، ۶۴۵ نانومتر برای کلروفیل b و ۴۷۰ نانومتر برای کاروتنوئیدها، مقدار جذب قرائت شد.

فاصله بین هر دو بلوک هم دو متر بود. کاشت در هر دو سال در اواسط اردیبهشت ماه صورت گرفت. پس از کشت بلافاصله آبیاری به روش آبیاری قطره‌ای و با استفاده از لوله‌های تیپ انجام و برای اطمینان از سبز شدن مطلوب بذور آبیاری هفت روز بعد تکرار شد. در مرحله دو تا هشت برگ، بوته‌های اضافی تنک شدند.

برای اعمال تنش خشکی، ابتدا ظرفیت زراعی مزرعه تعیین شد. برای این کار، کرتی به ابعاد ۲×۲ m تهیه و به‌طور کامل از آب پر شد. سپس روی آن با پلاستیک محصور تا خاک کاملاً اشباع شد. پس از مدت ۲۴ ساعت که آب موجود در خلل و فرج‌های درشت خاک توسط نیروی ثقل خارج شد، پلاستیک برداشته شد. در این هنگام، نمونه‌ای از خاک تهیه، پس از توزین در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شد. سپس نمونه را با ترازوی دقیق وزن و میزان رطوبت تبخیر شده محاسبه شد (Ghavamsaeidi noghabi, Shahidi, & Homami, 2021).

به‌منظور تعیین درصد رطوبت وزنی خاک در هنگام ظرفیت زراعی از رابطه (۱) استفاده شد.

$$W_m = W_2 - W_1 / W_1 \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه، W_m: رطوبت وزنی خاک (درصد)، W₂: وزن خاک مرطوب (گرم)، W₁: وزن خاک خشک (گرم) می‌باشد.

جهت اعمال تیمار آبیاری، حجم آب مصرفی مورد نیاز از طریق رابطه (۲) محاسبه شد.

$$V = ((FC - \theta_m) \times Pb \times D_{root} \times A) / E_i \quad (2)$$

وزن بوته: تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول پاشی و رقم و همچنین برهمکنش دوگانه سال $\times$ تنش خشکی، تنش خشکی $\times$ رقم، محلول پاشی $\times$ رقم و سال $\times$ محلول پاشی و برهمکنش سه گانه تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم و همچنین سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی و اثر سال $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم و برهمکنش چهارگانه سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم (جدول ۳). نتایج نشان داد در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول وزن بوته بیشتری به دست آمد (جدول ۴). ارقام مختلف نسبت به تنش خشکی و محلول پاشی واکنش متفاوتی داشتند. هرچند محلول پاشی اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان شاخص وزن بوته کاسته شد. بیشترین میزان وزن بوته در شرایط عدم تنش و محلول پاشی ترکیبی در رقم Q26 به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی 100 k در رقم Q29 حاصل شد (جدول ۶).

شاخص سطح برگ: تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول پاشی و رقم و برهمکنش دوگانه سال $\times$ تنش خشکی، تنش خشکی $\times$ رقم، محلول پاشی $\times$ رقم و سال $\times$ محلول پاشی و برهمکنش سه گانه تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم، سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی و سال $\times$ محلول پاشی و برهمکنش چهارگانه سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم (جدول ۴). نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش بر شاخص سطح برگ کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۱۰۰ درصد و 100 Zn و رقم Q29 به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد و محلول پاشی 100 k و رقم Q29 گزارش شد (جدول ۷).

دلیل اصلی تفاوت بین سال‌های آزمایشی از نظر تأثیر بر صفات مورد بررسی در این آزمایش را می‌توان شرایط متغیر آب و هوایی به‌ویژه در طول دوره رشد و نمو گیاهان ذکر نمود. آمار هواشناسی دوره مذکور در طول سال‌های آزمایشی در جدول ۱ آمده است. با در نظر گرفتن این که در سال دوم آزمایش (۲۳۰ میلی‌متر) میزان بارندگی بیش از سال اول آزمایش بود بنابراین برتر بودن اکثر صفات مورد بررسی در سال دوم منطقی به نظر می‌رسد. در سال اول آزمایش کاهش میزان بارندگی و افزایش دما در این سال و همچنین اعمال تنش خشکی بر شدت کاهش آب دسترس افزود. از طرف دیگر، با توجه به این که ارقام کینوا از نظر مراحل مختلف فنولوژیکی دارای تفاوت می‌باشند و از خصوصیات رشد و حجم بوته متفاوتی برخوردارند

Chlorophyll a = $(19/3 \times A663 - 0/86 \times A645) V/100W$
Chlorophyll b = $(19/3 \times A645 - 3/6 \times A663) V/100W$
Carotenoids = $100(A470) - 3/27(mg \text{ chl } a) - 104(mg \text{ chl } b)/227$

Chlorophyll stability index = $(\text{Total Chl under stress} / \text{Total Chl under control}) \times 100$

$V =$ حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از

سانتریفیوژ)

$A =$ جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

$W =$ وزن تر نمونه بر حسب گرم

به منظور اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد شامل ارتفاع بوته (متر)، سطح برگ (Leaf area meter)، وزن خشک اندام هوایی (بعد از خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون با استفاده از ترازو)، تعداد دانه در خوشه و وزن هزاردانه (ترازو) تعداد سه بوته در هر کرت به صورت تصادفی انتخاب و صفات فوق بر روی آن‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. جهت اندازه‌گیری عملکرد در واحد سطح، عملکرد بیولوژیک و محاسبه شاخص برداشت (عملکرد دانه به عملکرد بیولوژیک در ۱۰۰)، پس از حذف یک متر از ابتدا و انتهای هر کرت، کل گیاهان ۲ ردیف میانی برداشت شدند و وزن خشک کل بوته‌ها (بعد از خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد داخل آون با استفاده از ترازو) به همراه وزن دانه ثبت شد.

تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار 9.2 SAS انجام شد. مقایسه میانگین صفات مورد ارزیابی با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد انجام صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

خصوصیات رویشی

ارتفاع بوته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، محلول پاشی، رقم (p ≤ 0.01) و برهمکنش دوگانه سال $\times$ تنش خشکی، تنش خشکی $\times$ رقم، محلول پاشی $\times$ رقم و سال $\times$ محلول پاشی (p ≤ 0.01) و سه گانه تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم، سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی و سال $\times$ محلول پاشی و برهمکنش چهارگانه سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول پاشی $\times$ رقم (p ≤ 0.01) بر روی صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بودند (جدول ۳). نتایج نشان داد در تمام ارقام، هرچند محلول پاشی باعث باعث افزایش ارتفاع بوته شد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان این شاخص کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در شرایط بدون تنش و رقم Tircace و در حضور محلول پاشی ترکیبی 50 K+ Zn به دست آمد که نسبت به کمترین میزان این شاخص که در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و رقم Q26 و عدم استفاده از کود به میزان ۶۷ سانتی‌متر دارای ارتفاع بوته بیشتری بود (جدول ۵).

لذا می‌توان گفت این ارقام در شرایط تنش و عدم تنش از لحاظ خصوصیات رشدی ارتفاع و سطح برگ با هم تفاوت دارند. نتایج آزمایشات کشتکار و همکاران (Keshtkar, Aien, Naghavii, & Najafi Nezhad, 2021) بر روی ارقام مختلف کینوا در شرایط تنش خشکی و محلول‌پاشی جاسمونیک اسید نشان داد ارقام از نظر خصوصیات رویشی دارای تفاوت چشمگیری می‌باشند. خادمیان و همکاران (Khademian, Ghassemi, & Asghari, 2019) در آزمایش خود گزارش دادند که اثر متقابل تیمارهای محلول‌پاشی در تنش کمبود آب بر ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و در نهایت وزن بوته گلرنگ معنی‌دار بود، به‌طوری که که بیشترین خصوصیات رویشی گلرنگ در تیمار بدون تنش به همراه استفاده از

محلول‌پاشی کود پتاسه حاصل گردید. از اولین نشانه‌های کمبود آب، کاهش فشار آماس و در نتیجه کاهش رشد و توسعه سلول به‌ویژه در ساقه و برگ‌هاست (Parkash & Singh, 2020). با کاهش رشد سلول، اندازه اندام محدود می‌شود و به همین دلیل اولین اثر محسوس کم‌آبی بر گیاهان را می‌توان با توجه اندازه کوچک‌تر برگ‌ها و ارتفاع کمتر گیاهان تشخیص داد. ارتفاع بوته مانند هر اندام رویشی یا زایشی دیگر شدیداً تحت تاثیر عناصر غذایی و آب قرار می‌گیرد. دسترسی گیاه به آب و عناصر غذایی کافی، به‌خصوص پتاسیم در افزایش خصوصیات رویشی گیاه بسیار موثر می‌باشد (Campelo, Teixeira, Moreira, & Lacerda, 2019).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد و عملکرد کینوا تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 3- Variance analysis of morphological traits, yield components, and yield of quinoa under the influence of different treatments

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean square)							
		ارتفاع بوته Plant height	وزن بوته Plant weight	شاخص سطح برگ LAI	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per spike	وزن هزاردانه Weight of 1000 seeds	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص برداشت Harvest index
سال (Y) (Year)	1	41.6 ^{ns}	1043 ^{**}	2.54 ^{**}	6693531 ^{**}	6.01 ^{**}	3579123 ^{**}	42540422 ^{**}	1120 ^{**}
خطای سال (Rep) (year)	4	329	431	0.51	370232	0.031	53295	3296870	463
تنش خشکی (Irrigation regime) (S)	3	9459 ^{**}	2859 ^{**}	2.47 ^{**}	5725275 ^{**}	0.836 ^{**}	6340835 ^{**}	16442638 ^{**}	861 ^{**}
Y * S	3	3582 ^{**}	18.9 ^{**}	0.01 ^{ns}	332928 ^{ns}	0.032 [*]	92762 [*]	292128 ^{ns}	134 [*]
خطای (Y) S Rep	12	80.5	21.4	0.02	364529	0.019	34393	99592	43.5
محلول‌پاشی (Foliar) (F) (spray)	3	4252 ^{**}	872 ^{**}	2.76 ^{**}	5986109 ^{**}	0.201 ^{**}	4220124 ^{**}	18528713 ^{**}	500 ^{**}
رقم (C) (Cultivar)	2	694.2 ^{**}	2751 ^{**}	3.23 ^{**}	6430022 ^{**}	2.57 ^{**}	520538 ^{**}	1006304 ^{**}	77.3 ^{ns}
S * F	9	92.7 ^{ns}	3716 ^{**}	3.04 ^{**}	1544350 ^{**}	0.990 ^{**}	88779 ^{**}	1875758 ^{**}	469 ^{**}
S * C	6	325 ^{**}	1448 ^{**}	11.7 ^{**}	13776340 ^{**}	3.73 ^{**}	660862 ^{**}	4165889 ^{**}	597 ^{**}
F * C	6	834 ^{**}	173 ^{**}	3.36 ^{**}	1355946 ^{**}	1.03 ^{**}	156632 ^{**}	2721701 ^{**}	301 ^{**}
S * F * C	18	351 ^{**}	741 ^{**}	4.20 ^{**}	1899775 ^{**}	0.795 ^{**}	94269 ^{**}	2319243 ^{**}	446 ^{**}
Y * F	3	2575 ^{**}	195 ^{**}	3.09 ^{**}	620091 [*]	0.018 ^{ns}	865600 ^{**}	5233655 ^{**}	164 [*]
Y * C	2	46.1 ^{ns}	27.9 ^{ns}	0.02 ^{ns}	307422 ^{ns}	0.104 ^{**}	92025 ^{**}	11090 ^{ns}	318 ^{**}
Y * S * F	9	62.3 ^{ns}	1244 ^{**}	5.20 ^{**}	1197649 ^{**}	0.167 ^{**}	270651 ^{**}	2769524 ^{**}	437 ^{**}
Y * S * C	6	459 ^{**}	8.46 ^{ns}	0.05 ^{ns}	122179 ^{ns}	0.047 ^{**}	713875 ^{**}	82091 ^{ns}	636 ^{**}
Y * F * C	6	19.3 ^{ns}	2937 ^{**}	1.99 ^{**}	1988590 ^{**}	0.115 ^{**}	205849 ^{**}	5563628 ^{**}	874 ^{**}
Y * S * F * C	18	158 ^{**}	2529 ^{**}	2.09 ^{**}	821012 ^{**}	0.119 ^{**}	160238 ^{**}	3280208 ^{**}	173 ^{**}
خطای کل (Total) (error)	176	62.7	15.3	0.03	193425	0.010	16436	110934	43.2
ضریب تغییرات (Coefficient of variation)		10.3	12.9	10.4	10.3	4.3	8.8	9.9	14.6

ns و * و ** به ترتیب بیانگر تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و عدم تفاوت معنی‌دار می‌باشند.

ns, *, **: non-significant, significant at p = 0.05 and p = 0.01, respectively

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر صفات مختلف

Table 4- Comparison of the average main effect of the year on different traits

سال Year	وزن بوته Plant weight (g)	شاخص سطح برگ LAI	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per spike	وزن هزاردانه Weight of 1000 seeds	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Yield Biological (kg.ha ⁻¹)	شاخص برداشت Harvest index (%)
2018-19	28.4 ^b	1.47 ^b	4121 ^a	2.21 ^b	1339 ^b	2992 ^b	47.0 ^a
2019-20	32.2 ^a	1.66 ^a	4426 ^b	2.50 ^a	1562 ^a	3760 ^a	43.0 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤0.05)
Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۵- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر ارتفاع بوته گیاه کینوا

Table 5- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa plant height

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	ارتفاع بوته Plant height (cm)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	ارتفاع بوته Plant height (cm)
FC 25	Control	Tircace	66.6 ^{o-t}	FC 75	Control	Tircace	86.9 ^{e-g}
		Q29	55.7 ^{uv}			Q29	56.0 ^{uv}
		Q26	38.8 ^w			Q26	76.5 ^{g-o}
	100 K	Tircace	73.5 ^{i-q}		100 K	Tircace	83.5 ^{e-j}
		Q29	71.2 ^{k-r}			Q29	79.4 ^{f-l}
		Q26	72.5 ^{j-q}			Q26	86.7 ^{e-g}
	100 Zn	Tircace	61.2 ^{r-u}		100 Zn	Tircace	76.5 ^{g-o}
		Q29	60.2 ^{s-u}			Q29	86.2 ^{e-g}
		Q26	58.6 ^{tu}			Q26	74.5 ^{h-p}
	50 K+ Zn	Tircace	64.3 ^{p-u}		50 K+ Zn	Tircace	97.8 ^{a-d}
		Q29	69.4 ^{l-s}			Q29	81.2 ^{f-k}
		Q26	76.7 ^{g-o}			Q26	93.6 ^{c-e}
FC 50	Control	Tircace	78.1 ^{f-m}	FC 100	Control	Tircace	84.9 ^{e-h}
		Q29	46.6 ^{vw}			Q29	80.6 ^{f-k}
		Q26	65.0 ^{p-u}			Q26	80.4 ^{f-k}
	100 K	Tircace	74.5 ^{h-p}		100 K	Tircace	81.0 ^{f-k}
		Q29	68.0 ^{m-t}			Q29	99.1 ^{a-c}
		Q26	84.0 ^{e-i}			Q26	94.3 ^{b-e}
	100 Zn	Tircace	67.0 ^{n-t}		100 Zn	Tircace	87.2 ^{e-g}
		Q29	77.7 ^{f-n}			Q29	84.6 ^{e-h}
		Q26	63.5 ^{q-u}			Q26	92.2 ^{c-e}
	50 K+ Zn	Tircace	88.4 ^{d-f}		50 K+ Zn	Tircace	105.5 ^a
		Q29	71.0 ^{k-r}			Q29	104.0 ^{ab}
		Q26	83.4 ^{e-j}			Q26	92.5 ^{c-e}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤0.05)
Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

پتاسیم به‌عنوان یک عامل ایجادکننده فشار اسمزی و سهم در تورم سلولی و موثر بر توسعه سلول اشاره کرده و تاکید کرده‌اند که حضور این عنصر برای توسعه برگ و رشد اندام هوایی گیاه ضروری است (Azizabadi, Golchin, & Delavar, 2014). از طرف دیگر، استفاده از عنصر روی با توجه به تاثیر بر ساخت کلروفیل و افزایش تنظیم‌کننده‌های رشد، سبب افزایش فتوسنتز برگ‌ها شده که باعث افزایش خصوصیات رویشی ارتفاع، وزن بوته و سطح برگ شده است.

اگرچه پتاسیم در ساختمان هیچ‌کدام از ترکیبات مهم گیاهی مانند پروتئین‌ها، چربی‌ها و قندها شرکت ندارند، اما به‌عنوان مهم‌ترین فعال‌کننده آنزیم‌های گیاهی نقش مهمی در ساخته شدن این ترکیبات دارد. پتاسیم در فعال کردن آنزیم‌های احیاکننده گاز کربنیک نقش مهمی ایفا می‌کند. به همین دلیل کمبود آن باعث کاهش سوخت و ساز گیاه شده، در نتیجه رشد اندام هوایی، سطح برگ و در ادامه وزن بوته کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، برخی از پژوهشگران به نقش

بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاهان در شرایط تنش مرتبط دانست. در واقع محلول‌پاشی با بهبود رشد گیاه به کاهش اثرات منفی تنش خشکی کمک کرد (Azab, 2016).

در پژوهشی علت بهبود ارتفاع گیاه ذرت (*Zea mays*) محلول‌پاشی شده با روی، بهبود فتوسنتز عنوان شد (Lamochi & Sakinejad, 2019). به نظر می‌رسد که اختلاف ارتفاع، وزن بوته و سطح برگ گیاه بین تیمارها را می‌توان به تأثیر مثبت محلول‌پاشی در

جدول ۶- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر ارتفاع بوته کینوا

Table 6- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa plant weight

خشکی	کود	رقم	ارتفاع بوته	خشکی	کود	رقم	ارتفاع بوته
Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	Plant weight (g)	Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	plant weight (g)
FC 25	Control	Tircace	31.5 ^{g-i}	FC 75	Control	Tircace	59.8 ^b
		Q29	14.6 ^{o-q}			Q29	34.3 ^{fg}
		Q26	5.69 st			Q26	26.8 ^{i-l}
	100 K	Tircace	25.3 ^{t-m}		100 K	Tircace	31.8 ^{f-i}
		Q29	3.64 ^t			Q29	30.4 ^{g-j}
		Q26	24.3 ^{lm}			Q26	29.8 ^{g-k}
	100 Zn	Tircace	66.1 ^a		100 Zn	Tircace	31.3 ^{g-i}
		Q29	47.9 ^e			Q29	12.7 ^{p-r}
		Q26	23.4 ^{lm}			Q26	14.7 ^{o-q}
	50 K+ Zn	Tircace	26.5 ^{i-l}		50 K+ Zn	Tircace	29.9 ^{g-k}
		Q29	3.69 ^t			Q29	30.5 ^{g-j}
		Q26	17.9 ^{no}			Q26	31.0 ^{g-i}
FC 50	Control	Tircace	21.2 ^{mn}	FC 100	Control	Tircace	15.7 ^{op}
		Q29	16.2 ^{op}			Q29	10.5 ^{qr}
		Q26	33.9 ^{fg}			Q26	36.7 ^f
	100 K	Tircace	32.8 ^{f-h}		100 K	Tircace	54.0 ^{cd}
		Q29	28.0 ^{h-l}			Q29	51.2 ^{de}
		Q26	25.2 ^{j-m}			Q26	59.3 ^b
	100 Zn	Tircace	24.8 ^{k-m}		100 Zn	Tircace	25.6 ^{j-m}
		Q29	9.31 ^{rs}			Q29	12.8 ^{p-r}
		Q26	56.9 ^{bc}			Q26	31.5 ^{g-i}
	50 K+ Zn	Tircace	31.7 ^{f-i}		50 K+ Zn	Tircace	49.6 ^{de}
		Q29	28.4 ^{h-l}			Q29	56.2 ^{bc}
		Q26	24.1 ^{lm}			Q26	64.7 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

اجزای عملکرد

تعداد دانه در خوشه: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم و همچنین برهمکنش دوگانه سال × محلول‌پاشی ($p \leq 0.05$)، تنش خشکی × رقم، محلول‌پاشی × رقم و سال × محلول‌پاشی و برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم و همچنین سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی و اثر × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم (جدول ۳). نتایج نشان داد در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول به میزان ۷ درصد تعداد دانه در خوشه بیشتری به‌دست آمد (جدول ۴). هرچند ارقام در شرایط سطوح مختلف تنش و محلول‌پاشی واکنش متفاوتی داشتند ولی با افزایش تنش خشکی بر میزان این شاخص کاسته شد، هرچند استفاده از محلول‌پاشی اثرات شدید تنش

خشکی را تعدیل کرد. نتایج نشان داد بیشترین میزان این شاخص در شرایط ظرفیت زراعی صددرصد و محلول‌پاشی ترکیبی و رقم Q26 به‌دست آمد و نسبت به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی 100 Zn و رقم Tircace به میزان ۱۵۶ درصد تعداد دانه در خوشه بیشتری را دارا بود (جدول ۸).

وزن هزاردانه: تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم و همچنین برهمکنش دوگانه سال × تنش خشکی ($p \leq 0.05$)، تنش خشکی × رقم، محلول‌پاشی × رقم و سال × رقم و برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم و همچنین سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی و اثر سال × محلول‌پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی وزن بوته معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد در

ظرفیت زراعی و 100 k و رقم Q26 به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول پاشی 100 k و رقم Tircace گزارش شد که تفاوت بیشترین و کمترین میزان این شاخص برابر با ۱۲۰ درصد می باشد (جدول ۹).

سال دوم نسبت به سال اول آزمایش به میزان ۱۴ درصد وزن هزاردانه بیشتری را دارا بود (جدول ۴). مقایسه میانگین صفات نشان داد استفاده از محلول پاشی در شرایط عدم تنش به طور چشمگیری باعث بهبود وزن هزاردانه شد. با افزایش شدت تنش بر میزان وزن هزاردانه کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۱۰۰ درصد

جدول ۷- برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم بر شاخص سطح برگ گیاه کینوا

Table 7- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa LAI

خشکی	کود	رقم	شاخص سطح برگ	خشکی	کود	رقم	شاخص سطح برگ
Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	LAI	Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	LAI
FC 25	Control	Tircace	1.51 ^{l-p}	FC 75	Control	Tircace	0.482 ^{vw}
		Q29	0.451 ^{wx}			Q29	1.15 ^f
		Q26	1.49 ^{m-p}			Q26	1.54 ^{k-p}
	100 K	Tircace	1.84 ^{b-j}		100 K	Tircace	1.44 ^{n-q}
		Q29	1.61 ^{k-o}			Q29	0.771 ^{s-u}
		Q26	1.27 ^{qr}			Q26	2.14 ^{fg}
	100 Zn	Tircace	1.16 ^r		100 Zn	Tircace	0.853 st
		Q29	0.68 ^{s-v}			Q29	1.39 ^{pq}
		Q26	2.07 ^{fg}			Q26	1.65 ^{j-n}
	50 K+ Zn	Tircace	1.75 ^{i-k}		50 K+ Zn	Tircace	1.41 ^{o-q}
		Q29	1.53 ^{l-p}			Q29	0.734 ^{s-u}
		Q26	1.26 ^{qr}			Q26	2.26 ^f
FC 50	Control	Tircace	4.16 ^b	FC 100	Control	Tircace	0.891 ^s
		Q29	0.269 ^x			Q29	1.67 ^{i-m}
		Q26	0.673 ^{t-v}			Q26	1.09 ^f
	100 K	Tircace	2.47 ^e		100 K	Tircace	2.45 ^e
		Q29	1.47 ^{m-q}			Q29	1.96 ^{gh}
		Q26	0.744 ^{s-u}			Q26	2.08 ^{fg}
	100 Zn	Tircace	1.72 ^{i-l}		100 Zn	Tircace	0.852 st
		Q29	0.556 ^{u-w}			Q29	4.57 ^a
		Q26	0.630 ^{u-w}			Q26	2.90 ^c
	50 K+ Zn	Tircace	2.69 ^d		50 K+ Zn	Tircace	2.45 ^e
		Q29	1.62 ^{k-o}			Q29	1.86 ^{hi}
		Q26	0.715 ^{s-u}			Q26	2.18 ^f

میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

ترکیبات کودی جهت محلول پاشی به کار رود، گیاه دارای کانوپی بزرگتری می شود که قادر است مخزن زایشی بزرگتری را نیز تغذیه نماید و به میزان کافی ماده خشک به آن اختصاص دهد (Casamali, 2019). در آزمایش خود بیشترین تعداد دانه در خوشه گیاه ارزن را در تیمار محلول پاشی عناصر ریزمغذی و آبیاری گزارش دادند. با انجام آبیاری معمول به همراه تغذیه عناصر ماکرو و میکرو، تسهیم و تخصیص مواد فتوسنتزی به گل ها و دانه ها نسبت به شرایط تنش خشکی و عدم استفاده از کود بهتر بوده و باعث حفظ تعداد خوشه در بوته شده است. این نتایج نشان دهنده ی آسیب پذیری این صفت از عامل تنش خشکی و کمک محلول پاشی به بهبود این شرایط می باشد. از طرف دیگر، در شرایط تنش فوستتر گیاه در واحد سطح

یکی از دلایل مؤثر در کاهش اجزای عملکرد در رژیم های کم آبیاری، کاهش دوره گرده افشانی و نتیجتاً کاهش تعداد دانه می باشد. در واقع با کاهش رطوبت و تنش خشکی طی مراحل زایشی، جوانه های مولد گل تحت تأثیر خشکی قرار گرفته و ریزش گل ها باعث کاهش تشکیل خوشه می شود. در گزارش فرخیان و همکاران (Farokhian, Tohidi-Nejad, & Mohammadi-Nejad, 2021) مشاهده شد که تیمار محلول پاشی کودهای پتاسه بیشترین تعداد غلاف در بوته کنجد (*Sesamum indicum*) را تولید نمود. این محققان گزارش دادند که در بررسی برهمکنش عامل محلول پاشی و تنش خشکی بیشترین تعداد غلاف در بوته در تیمار محلول پتاسه در تیمار آبیاری کامل و کمترین تعداد غلاف در بوته در تیمار بدون محلول پاشی در تیمار عدم آبیاری به دست آمد (Farokhian et al., 2021). هرچه آب آبیاری بیشتر شود و به همراه آن نیز سطوح متعادل

کاربرد محلول‌پاشی و بنابراین تولید هورمون‌های محرک رشد و افزایش قابلیت دسترسی به عناصر غذایی و آب با افزایش طول دوره رشدی گیاه امکان تداوم بیشتر دوره پر شدن دانه را فراهم می‌سازند (Seyed Sharifi, Namvar, & Seyed Sharifi, 2017). بابائی و همکاران (Babaei, Seyed Sharifi, Pirzad, & Khalilzadeh, 2017) نیز علت افزایش حداکثر وزن دانه گندم را در شرایط کاربرد محلول‌پاشی عناصر میکرو و ماکرو بهبود وضعیت ریشه، افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و همچنین افزایش محتوای کلروفیل نسبت دادند (Babaei et al., 2017).

برگ به دلیل بسته شدن روزنه‌های برگ و کاهش سرعت تبادل دی‌اکسید کربن و محدودیت گسترش برگ‌ها، کاهش می‌یابد (Verma et al., 2020) و این امر منجر به کاهش مولفه‌های پر شدن دانه می‌گردد. اختلال در انتقال کربوهیدرات‌ها می‌تواند مهم‌ترین دلیل کاهش وزن دانه در این شرایط باشد. همچنین وزن دانه به مقدار زیادی وابسته به دوره پر شدن دانه است و تنش‌های محیطی موجب کوتاه شدن طول دوره پر شدن دانه می‌شوند و بنابراین منجر به کاهش وزن دانه می‌گردند (Giunta, Mefleh, Pruneddu, & Motzo, 2021). اما محققان اظهار داشتند در چنین شرایطی

جدول ۸- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر تعداد دانه در خوشه گیاه کینوا

Table 8- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Number seeds per spike

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per spike	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	تعداد دانه در خوشه Number of seeds per spike
FC 25	Control	Tircace	3025 ^{f-t}	FC 75	Control	Tircace	4977 ^{d-h}
		Q29	3656 ^{n-q}			Q29	3365 ^{q-s}
		Q26	3641 ^{n-g}			Q26	4426 ^{h-l}
	100 K	Tircace	2845 st		100 K	Tircace	4782 ^{e-j}
		Q29	3961 ^{l-q}			Q29	4319 ^{i-m}
		Q26	4849 ^{e-i}			Q26	3436 ^{p-r}
	100 Zn	Tircace	2504 ^t		100 Zn	Tircace	4883 ^{e-i}
		Q29	4802 ^{e-j}			Q29	3894 ^{l-q}
		Q26	5718 ^b			Q26	3558 ^{p-r}
	50 K+ Zn	Tircace	3621 ^{o-q}		50 K+ Zn	Tircace	5514 ^{b-d}
		Q29	4340 ^{i-m}			Q29	3980 ^{k-q}
		Q26	4344 ^{i-m}			Q26	5024 ^{c-g}
FC 50	Control	Tircace	3380 ^{q-s}	FC 100	Control	Tircace	3702 ^{n-q}
		Q29	3642 ^{n-q}			Q29	3427 ^{p-r}
		Q26	3902 ^{l-q}			Q26	5106 ^{c-f}
	100 K	Tircace	4585 ^{f-k}		100 K	Tircace	5601 ^{bc}
		Q29	5246 ^{b-e}			Q29	3673 ^{n-q}
		Q26	4172 ^{k-o}			Q26	5498 ^{b-d}
	100 Zn	Tircace	4355 ^{i-m}		100 Zn	Tircace	4456 ^{g-l}
		Q29	5045 ^{c-f}			Q29	4035 ^{k-p}
		Q26	3449 ^{p-r}			Q26	5230 ^{b-e}
	50 K+ Zn	Tircace	3801 ^{m-q}		50 K+ Zn	Tircace	4236 ⁱ⁻ⁿ
		Q29	4321 ^{i-m}			Q29	4013 ^{k-p}
		Q26	4393 ^{h-m}			Q26	6406 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

عملکرد

عملکرد دانه: اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم و همچنین برهمکنش دوگانه سال × تنش خشکی ($p \leq 0.05$)، تنش خشکی × رقم، محلول‌پاشی × رقم، سال × محلول‌پاشی و سال × رقم و برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم و همچنین سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی، سال × تنش خشکی × رقم و اثر سال × محلول‌پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال ×

تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی عملکرد دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج سال‌های مختلف نشان داد در سال دوم نسبت به سال اول به میزان ۱۷ درصد عملکرد دانه بیشتری تولید شد (جدول ۴). نتایج نشان داد در شرایط عدم تنش استفاده از محلول‌پاشی ترکیبی در ارقام مختلف باعث افزایش عملکرد دانه شد ولی با افزایش شدت تنش، هرچند محلول‌پاشی اثرات منفی تنش را کاهش داد ولی بر میزان عملکرد دانه کاسته شد. مقایسه میانگین صفات نشان داد بیشترین عملکرد دانه در شرایط ظرفیت زراعی ۱۰۰

درصد و محلول پاشی ترکیبی و در رقم Q26 به دست آمد که نسبت به تیمار ظرفیت زراعی ۲۵ درصد و شاهد بدون کود در رقم Tircace به

جدول ۹- برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم بر وزن هزاردانه گیاه کینوا
Table 9- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa weight of 1000 seeds

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	وزن هزاردانه Weight of 1000 seeds (g)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	وزن هزاردانه Weight of 1000 seeds (g)
FC 25	Control	Tircace	1.89 ^{qr}	FC 75	Control	Tircace	2.53 ^{h-j}
		Q29	2.53 ^{g-j}			Q29	2.01 ^{pq}
		Q26	2.76 ^{ef}			Q26	2.45 ^{t-k}
	100 K	Tircace	1.49 ^u		100 K	Tircace	2.57 ^{g-i}
		Q29	2.42 ^{j-l}			Q29	2.21 ^{mn}
		Q26	2.93 ^{bc}			Q26	1.76 st
	100 Zn	Tircace	1.49 ^u		100 Zn	Tircace	2.59 ^{gh}
		Q29	2.42 ^{j-l}			Q29	2.17 ^{no}
		Q26	2.89 ^{b-d}			Q26	1.96 ^{p-r}
	50 K+ Zn	Tircace	2.02 ^{pq}		50 K+ Zn	Tircace	3.28 ^a
		Q29	2.08 ^{op}			Q29	2.09 ^{op}
		Q26	1.86 ^{rs}			Q26	3.37 ^a
FC 50	Control	Tircace	1.66 ^t	FC 100	Control	Tircace	1.90 ^{qr}
		Q29	2.59 ^{gh}			Q29	2.01 ^{pq}
		Q26	1.89 ^{qr}			Q26	3.33 ^a
	100 K	Tircace	2.41 ^{j-l}		100 K	Tircace	2.63 ^{gh}
		Q29	2.77 ^{d-f}			Q29	2.06 ^{op}
		Q26	2.04 ^{op}			Q26	2.85 ^{b-e}
	100 Zn	Tircace	2.43 ^{j-l}		100 Zn	Tircace	2.66 ^{fg}
		Q29	2.79 ^{de}			Q29	2.02 ^{pq}
		Q26	2.07 ^{op}			Q26	2.81 ^{c-e}
	50 K+ Zn	Tircace	2.31 ^{lm}		50 K+ Zn	Tircace	2.40 ^{kl}
		Q29	1.90 ^{qr}			Q29	2.03 ^p
		Q26	2.79 ^{de}			Q26	2.96 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

شاخص برداشت: اثرات اصلی سال، تنش خشکی و

محلول پاشی و همچنین برهمکنش دوگانه سال × تنش خشکی و سال × محلول پاشی ($p \leq 0.05$)، تنش خشکی × رقم، محلول پاشی × رقم و سال × رقم و برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × سال × رقم و همچنین سال × تنش خشکی × محلول پاشی، سال × تنش خشکی × رقم و اثر سال × محلول پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج نشان داد در سال اول نسبت به سال دوم آزمایش به میزان ۹ درصد شاخص برداشت بیشتری را دارا بود (جدول ۴). مقایسه میانگین صفات نشان داد استفاده از محلول پاشی در شرایط عدم تنش به طور چشمگیری باعث بهبود شاخص برداشت شد. با افزایش شدت تنش بر شاخص برداشت کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی و 100 Zn و رقم Q26 به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد و شاهد بدون کود در رقم Q29

عملکرد بیولوژیک: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد

اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول پاشی و رقم و برهمکنش دوگانه سال × تنش خشکی، تنش خشکی × محلول پاشی، تنش خشکی × رقم، محلول پاشی × رقم و سال × محلول پاشی و برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم، سال × تنش خشکی × محلول پاشی و سال × محلول پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی عملکرد بیولوژیک معنی‌دار بود. نتایج نشان داد سال دوم آزمایش نسبت به سال اول به میزان ۲۶ درصد عملکرد بیولوژیک بیشتری تولید کرد (جدول ۴). نتایج نشان داد هرچند با افزایش شدت تنش بر عملکرد بیولوژیک کاسته شد ولی با اعمال محلول پاشی اثرات منفی تنش را کاهش دادند. بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۱۰۰ درصد و 50 K+ Zn و رقم Tircace به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد و شاهد بدون کود در رقم Q29 گزارش شد (جدول ۱۱).

گزارش شد (جدول ۱۲).

طبق نتایج محققان کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی متأثر از کاهش اجزای عملکرد از قبیل وزن هزاردانه و تعداد خوشه است. خشکی در طی مرحله پر شدن دانه معمولاً وزن هزاردانه را کاهش می‌دهد که این امر احتمالاً به دلیل کاهش مواد پرورده برای رشد دانه‌ها است. کاهش تولید مواد پرورده نیز به کاهش فرآیند فتوسنتز مربوط می‌شود که با بسته شدن روزنه‌ها مرتبط است و باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود (Keshtkar et al., 2021). کاربرد پتاس و روی سبب بهبود عملکرد دانه تحت شرایط تنش و عدم وجود تنش، نسبت به عدم کاربرد آن‌ها شد که این افزایش به دلیل افزایش معنی‌دار وزن هزار دانه است. به نظر می‌رسد اگرچه تنش خشکی سبب کاهش عملکرد گیاه شده اما محلول‌پاشی سبب می‌گردد تا تأثیرات منفی تنش خشکی بر رشد گیاه کاهش یافته و رشد و عملکرد گیاه و تولید متابولیت‌های ثانویه به میزان قابل توجهی افزایش یابد. کودهای پتاسه و ریز مغذی روی در تمام جنبه‌های چرخه حیات گیاه کاربرد دارد و می‌توانند بر واکنش‌های گیاه اثر عمیقی داشته باشند (Creelman & Mullet, 2008). از طرف دیگر، عموماً کمبود آب سبب کاهش تولید مواد پرورده و در نتیجه باعث کاهش اندام‌های رویشی و اندام‌های زایشی می‌شود که نهایتاً می‌تواند منجر به کاهش عملکرد زیستی گیاه در شرایط محدودیت آب گردد (Wang, Jiang, Chen, Tian, & Lv, 2021). چنگ و همکاران (۲۰۲۱) کم‌آبایی را در مراحل مختلف رشد ذرت اعمال و گزارش کردند که کمبود شدید آب در مراحل اولیه رشد منجر به کاهش ماده خشک گیاه می‌گردد (Cheng, Wang, Fan, Zhang, & Wang, 2021). کمبود رطوبت از طریق کاهش تولید و افزایش پیری برگ‌ها، شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. در پژوهشی دیگر با اعمال تنش خشکی در مرحله رشد رویشی خلر کاهش معنی‌داری در عملکرد بیولوژیک گیاه مشاهده شد و بالاترین عملکرد بیولوژیکی در شرایط بدون تنش حاصل شد (Talukdar, 2013). به نظر می‌رسد افزایش عملکرد بیولوژیک در تیمار آبیاری مطلوب، به دلیل گسترش بیشتر و طول دوره سبزمانی زیادتر برگ‌ها بوده، که منجر به ایجاد مبدأ فیزیولوژیک بزرگ‌تری می‌گردد. همچنین، پژوهشگران معتقدند که از مرحله گلدهی تا رسیدن دانه، ظرفیت فتوسنتزی به ویژگی‌های برگ پرچم شامل سرعت فتوسنتز، کارایی آنزیم رابیسکو، غلظت کلروفیل و مساحت آن بستگی دارد احتمالاً کاربرد کود پتاسه و روی در طی تنش خشکی سبب افزایش ظرفیت فتوسنتزی و در نهایت افزایش عملکرد بیولوژیک می‌شود (Swiatek, Azmi, Witters, & Van Onckelen, 2003). افزایش عملکرد بیولوژیک توسط محلول‌پاشی پتاسه در پژوهش‌های دیگر نیز گزارش شده است (Sofy, Sharaf, & Fouda, 2016). از آنجایی که یکی از اجزای محاسبه شاخص برداشت عملکرد دانه است،

تغییرات شاخص برداشت وابستگی زیادی به تغییرات عملکرد دانه دارد. لیکن، بر اساس معادله شاخص برداشت چون تنش خشکی اثر کاهشی بارزی بر عملکرد بیولوژیک داشته، در حالی که تأثیر آن بر عملکرد دانه به‌طور نسبی کمتر بوده است، لذا شاخص برداشت در این شرایط کاهش کمتری نشان داده است (Farokhian et al., 2021). از دلایل کاهش عملکرد دانه در اثر تنش کم‌آبی کوتاه شدن دوره رشد و تسریع پیری برگ‌هاست. البته کاهش سطح فتوسنتزکننده، تولید اسیمیلات فتوسنتزی و نهایتاً رشد کمتر گیاه در شرایط تنش‌زا، می‌تواند به کاهش عملکرد اقتصادی و متعاقب آن در کاهش شاخص برداشت مؤثر باشد (Fahad et al., 2017).

میزان بارندگی بیشتر و کاهش تبخیر و تعرق در سال دوم کمک فرایندهای در افزایش میزان عملکرد بیولوژیک و دانه و در نتیجه شاخص برداشت داشت. پژوهش‌های مختلف نیز مؤید این مطلب است که در سال‌های پر باران عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان افزایش یافته است (Waraich, Ahmad, Ashraf, Saifullah, & Ahmad, 2011). کاهش عملکرد مهم‌ترین چالش در کشاورزی در شرایط کمبود بارندگی است. در گیاهان، خشکی می‌تواند باعث کاهش سرعت فتوسنتزی، محتوای کلروفیل، هدایت روزنه‌ای، میزان تعرق و محتوای نسبی آب برگ و تخریب برخی فرایندهای فیزیولوژیکی شود که در نهایت باعث کاهش رشد و نمو گیاه می‌شود (Waraich et al., 2011).

رنگیزه‌های فتوسنتزی

کلروفیل a: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی تنش خشکی، محلول‌پاشی ($p \leq 0.01$)، رقم ($p \leq 0.05$) و برهمکنش دوگانه تنش خشکی $\times$ محلول‌پاشی، تنش خشکی $\times$ رقم، محلول‌پاشی $\times$ رقم ($p \leq 0.01$) و سه‌گانه تنش خشکی $\times$ محلول‌پاشی $\times$ رقم، سال $\times$ تنش خشکی $\times$ رقم، سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول‌پاشی، سال $\times$ تنش خشکی $\times$ رقم و سال $\times$ محلول‌پاشی $\times$ رقم ($p \leq 0.01$) و برهمکنش چهارگانه سال $\times$ تنش خشکی $\times$ محلول‌پاشی $\times$ رقم ($p \leq 0.01$) بر روی کلروفیل a معنی‌دار بودند (جدول ۱۳). نتایج نشان داد در تمام ارقام، هرچند محلول‌پاشی باعث افزایش کلروفیل a شد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان این شاخص کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در شرایط بدون تنش و رقم Q26 و در حضور محلول‌پاشی 100 Zn به‌دست آمد که نسبت به کمترین میزان این شاخص که در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و رقم Tircace و محلول‌پاشی 100 k به میزان ۲۲۳ درصد دارای کلروفیل a بیشتری بود (جدول ۱۴).

جدول ۱۰- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم بر عملکرد دانه گیاه کینوا

Table 10- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Seed yield

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	عملکرد دانه Seed yield (kg.ha ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	660 ^q	FC 75	Control	Tircace	1224 ^{k-n}
		Q29	700 ^q			Q29	997 ^{op}
		Q26	1075 ^{no}			Q26	1393 ^{b-k}
	100 K	Tircace	1256 ^{i-m}		100 K	Tircace	1815 ^{b-d}
		Q29	1083 ^{m-o}			Q29	1878 ^{bc}
		Q26	1529 ^{f-h}			Q26	1489 ^{f-h}
	100 Zn	Tircace	871 ^p		100 Zn	Tircace	1660 ^{d-f}
		Q29	1143 ^{l-o}			Q29	1624 ^{e-g}
		Q26	1232 ^{k-n}			Q26	1309 ^{i-l}
	50 K+ Zn	Tircace	1050 ^o		50 K+ Zn	Tircace	1743 ^{c-e}
		Q29	1103 ^{m-o}			Q29	1736 ^{c-e}
		Q26	1547 ^{f-h}			Q26	1870 ^{bc}
FC 50	Control	Tircace	1126 ^{m-o}	FC 100	Control	Tircace	1250 ^{j-m}
		Q29	1007 ^{op}			Q29	1297 ^{j-l}
		Q26	1084 ^{m-o}			Q26	1483 ^{gh}
	100 K	Tircace	1627 ^{e-g}		100 K	Tircace	1868 ^{bc}
		Q29	1626 ^{e-g}			Q29	1802 ^{b-d}
		Q26	1389 ^{b-k}			Q26	2233 ^a
	100 Zn	Tircace	1470 ^{g-i}		100 Zn	Tircace	1532 ^{f-h}
		Q29	1411 ^{h-j}			Q29	1858 ^{bc}
		Q26	1110 ^{m-o}			Q26	2176 ^a
	50 K+ Zn	Tircace	1540 ^{f-h}		50 K+ Zn	Tircace	1836 ^{bc}
		Q29	1298 ^{j-l}			Q29	1950 ^b
		Q26	1373 ^{b-k}			Q26	2268 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤0.05)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۱- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم بر عملکرد بیولوژیک گیاه کینوا

Table 11- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Biological yield

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	2200 ^{uv}	FC 75	Control	Tircace	2496 ^{s-u}
		Q29	1918 ^v			Q29	2635 ^{q-t}
		Q26	1972 ^v			Q26	2989 ^{m-r}
	100 K	Tircace	2982 ^{m-r}		100 K	Tircace	3273 ^{j-o}
		Q29	2903 ^{n-s}			Q29	5752 ^a
		Q26	2700 ^{q-t}			Q26	3872 ^{d-g}
	100 Zn	Tircace	2560 ^{r-u}		100 Zn	Tircace	2823 ^{o-s}
		Q29	1949 ^v			Q29	4690 ^b
		Q26	3009 ^{m-r}			Q26	2582 ^{r-u}
	50 K+ Zn	Tircace	3559 ^{f-k}		50 K+ Zn	Tircace	3449 ^{g-l}
		Q29	2883 ^{o-s}			Q29	3095 ^{l-q}
		Q26	3749 ^{d-i}			Q26	4125 ^{cd}
FC 50	Control	Tircace	2776 ^{p-s}	FC 100	Control	Tircace	2786 ^{p-s}
		Q29	2729 ^{q-t}			Q29	2940 ^{n-s}
		Q26	2300 ^{t-v}			Q26	4798 ^b
	100 K	Tircace	3415 ^{h-m}		100 K	Tircace	3668 ^{e-j}
		Q29	4071 ^{c-e}			Q29	3938 ^{d-f}
		Q26	3635 ^{e-k}			Q26	4456 ^{bc}
	100 Zn	Tircace	3347 ⁱ⁻ⁿ		100 Zn	Tircace	4124 ^{cd}
		Q29	2970 ^{m-r}			Q29	3590 ^{f-k}
		Q26	3207 ^{k-p}			Q26	3479 ^{g-l}
	50 K+ Zn	Tircace	4004 ^{d-f}		50 K+ Zn	Tircace	5391 ^a
		Q29	3847 ^{d-h}			Q29	4012 ^{d-f}
		Q26	3780 ^{d-i}			Q26	4625 ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤0.05)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۲- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر شاخص برداشت گیاه کینوا
Table 12-Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa harvest index

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	شاخص برداشت Harvest index (%)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	شاخص برداشت Harvest index (%)
FC 25	Control	Tircace	30.2 st	FC 75	Control	Tircace	49.6 ^{c-k}
		Q29	26.4 ^t			Q29	38.4 ^{m-s}
		Q26	47.6 ^{e-m}			Q26	46.8 ^{f-n}
	100 K	Tircace	42.1 ^{i-p}		100 K	Tircace	56.7 ^{a-d}
		Q29	38.5 ^{m-s}			Q29	40.2 ^{l-q}
		Q26	58.5 ^{a-c}			Q26	41.5 ^{j-p}
	100 Zn	Tircace	35.5 ^{o-s}		100 Zn	Tircace	59.9 ^{ab}
		Q29	59.9 ^{ab}			Q29	38.6 ^{m-s}
		Q26	43.2 ^{h-o}			Q26	51.3 ^{b-i}
	50 K+ Zn	Tircace	30.4 ^{r-t}		50 K+ Zn	Tircace	52.0 ^{b-h}
		Q29	39.5 ^{m-r}			Q29	59.3 ^{ab}
		Q26	39.6 ^{m-q}			Q26	46.0 ^{f-n}
FC 50	Control	Tircace	40.9 ^{k-p}	FC 100	Control	Tircace	45.7 ^{f-n}
		Q29	52.0 ^{b-h}			Q29	44.1 ^{f-o}
		Q26	56.2 ^{a-e}			Q26	31.2 ^{q-t}
	100 K	Tircace	50.3 ^{c-j}		100 K	Tircace	52.7 ^{b-g}
		Q29	42.2 ^{i-p}			Q29	46.0 ^{f-n}
		Q26	38.6 ^{m-s}			Q26	53.3 ^{b-f}
	100 Zn	Tircace	44.9 ^{f-n}		100 Zn	Tircace	38.0 ^{n-s}
		Q29	51.8 ^{b-h}			Q29	51.9 ^{b-h}
		Q26	35.0 ^{o-s}			Q26	63.3 ^a
	50 K+ Zn	Tircace	39.4 ^{m-r}		50 K+ Zn	Tircace	43.9 ^{g-o}
		Q29	33.7 ^{p-t}			Q29	49.0 ^{d-l}
		Q26	35.7 ^{o-s}			Q26	49.1 ^{d-l}

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)
Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

سال × محلول‌پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی کاروتنوئید معنی‌دار بودند (جدول ۱۳). نتایج نشان داد در تمام ارقام، هرچند محلول‌پاشی باعث افزایش کاروتنوئید شد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان این شاخص کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در شرایط بدون تنش و رقم Tircace و در حضور محلول‌پاشی 100 k به‌دست آمد که نسبت به کمترین میزان این شاخص که در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و رقم Tircace و شاهد بدون کود به میزان دو برابر دارای کاروتنوئید بیشتری بود (جدول ۱۷).

نسبت کلروفیل a/b: نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول‌پاشی و برهمکنش دوگانه سال × تنش خشکی، تنش خشکی × محلول‌پاشی، تنش خشکی × رقم، محلول‌پاشی × رقم و سال × محلول‌پاشی و سه‌گانه سال × تنش خشکی × رقم، سال × تنش خشکی × رقم، سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی، سال × تنش خشکی × رقم و سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی نسبت کلروفیل a/b معنی‌دار بود (جدول ۱۳). نتایج نشان داد سال اول آزمایش نسبت به سال دوم به میزان ۲۶

کلروفیل b: تجزیه واریانس صفات نشان داد اثرات اصلی سال، تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم و همچنین برهمکنش دوگانه تنش خشکی × محلول‌پاشی، تنش خشکی × رقم و محلول‌پاشی × رقم و برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم و همچنین سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی ($p \leq 0.01$) بر روی کلروفیل b معنی‌دار بود (جدول ۱۳). نتایج نشان داد در سال دوم آزمایش نسبت به سال اول به میزان ۱۹ درصد کلروفیل b بیشتری به‌دست آمد (جدول ۱۵). ارقام مختلف نسبت به تنش خشکی و محلول‌پاشی واکنش متفاوتی داشتند. هرچند محلول‌پاشی اثرات منفی تنش خشکی را کاهش داد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان شاخص کلروفیل b کاسته شد. بیشترین میزان کلروفیل b در شرایط عدم تنش و محلول‌پاشی ترکیبی در رقم Q26 به‌دست آمد و کمترین میزان این شاخص در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و محلول‌پاشی 100 k در رقم Tircace حاصل شد (جدول ۱۶).

کاروتنوئید: اثرات اصلی تنش خشکی، محلول‌پاشی و رقم و برهمکنش دوگانه تنش خشکی × محلول‌پاشی، تنش خشکی × رقم، محلول‌پاشی × رقم و سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم، سال × تنش خشکی × محلول‌پاشی، سال × تنش خشکی × رقم و

درصد نسبت کلروفیل a/b بیشتری تولید کرد (جدول ۱۵). نتایج نشان داد بیشترین میزان این شاخص در تیمار ۵۰ درصد و 50 K+ Zn و رقم Tircace به دست آمد و کمترین میزان این شاخص در ظرفیت زراعی ۲۵ درصد و محلول پاشی ترکیبی در رقم Q26 گزارش شد (جدول ۱۸).

مجموع کلروفیل: با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثرات اصلی تنش خشکی، محلول پاشی و رقم و برهمکنش دوگانه تنش خشکی × محلول پاشی و تنش خشکی × رقم و سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم، سال × تنش خشکی × محلول پاشی، سال × تنش خشکی × رقم و سال × محلول پاشی × رقم و برهمکنش چهارگانه سال × تنش خشکی × محلول پاشی × رقم ($p \leq 0.01$) بر روی مجموع کلروفیل معنی دار بودند (جدول ۱۳). نتایج نشان داد در تمام ارقام، هرچند محلول پاشی باعث باعث افزایش کلروفیل a شد ولی با افزایش شدت تنش بر میزان این شاخص کاسته شد. بیشترین میزان این شاخص در شرایط ۷۵ درصد ظرفیت زراعی و رقم Q29 و در حضور محلول پاشی 100 k به دست آمد که نسبت به کمترین میزان این شاخص که در تیمار تنش ۲۵ درصد ظرفیت زراعی و رقم Tircace و محلول پاشی 100 k به میزان ۱۱۲ درصد دارای مجموع

کلروفیل بیشتری بود (جدول ۱۹).

یکی از اثرات تنش خشکی بر عملکرد گیاه، کاهش فتوسنتز است. ساده ترین برآورد کاهش فتوسنتز، اندازه گیری کمی مقادیر کلروفیل و کاروتنوئیدها است. کلروفیل ها در غشای تیلاکوئید گیاهان عالی با پلی پتیدهای خاص ترکیب می شوند تا مجتمع رنگدانه-پروتئین را تشکیل دهند (Aliyeva et al., 2019). تغییرات در مجموعه رنگدانه-پروتئین منجر به تغییر در مقدار کلروفیل در غشای تیلاکوئید می شود (Karlický, Kmecová Materová, & Kurasová, 2021). کمپلکس رنگدانه-پروتئین با شرایط محیطی تغییر می کند، در نتیجه مقدار کلروفیل نیز در پاسخ به تغییرات محیطی تغییر می کند. تنش خشکی یکی از شرایط محیطی موثر بر تغییرات محتوای کلروفیل است که می تواند محتوای کلروفیل را به دلیل اختلال در مسیرهای بیوسنتز کلروفیل و تنش اکسیداتیو ناشی از انواع مختلف گونه های فعال اکسیژن کاهش دهد (Yang et al., 2021). علاوه بر این، تنش خشکی که بر وضعیت آب بافت ها تأثیر می گذارد، تأثیر منفی بر فرآیندهای توسعه کلروپلاست دارد و سرعت تجمع کلروفیل در کلروپلاست ها را کاهش می دهد (Hameed et al., 2021).

جدول ۱۳- تجزیه واریانس رنگی های فتوسنتزی کینوا تحت تاثیر تیمارهای مختلف

Table 13-Variance analysis of quinoa photosynthetic pigments under the influence of different treatments

منابع تغییر Source of Variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات				
		a کلروفیل Chlorophyll a	b کلروفیل Chlorophyll b	کارتنوئید Carotenoids	نسبت a/b a/b ratio	مجموع کلروفیل Total chlorophyll
سال (Y) (Year)	1	0.169 ^{ns}	0.089 ^{**}	0.304 ^{**}	235 ^{**}	0.189 ^{ns}
خطای سال (Rep year)	4	1.458	0.009	0.112	19.7	2.09
تنش خشکی (S) (Irrigation regime)	3	2.282 ^{**}	0.012 ^{**}	0.035 ^{**}	35.4 ^{**}	3.23 ^{**}
Y * S	3	0.034 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0001 ^{ns}	3.84 ^{**}	0.034 ^{ns}
خطای S Rep (Y)	12	0.003	0.0001	0.0002	0.528	0.003
محلول پاشی (F) (Foliar spray)	3	1.127 ^{**}	0.013 ^{**}	0.092 ^{**}	21 ^{**}	2.18 ^{**}
رقم (C) (Cultivar)	2	0.198 [*]	0.006 ^{**}	0.254 ^{**}	1.1 ^{ns}	0.592 ^{**}
S * F	9	0.761 ^{**}	0.025 ^{**}	0.055 ^{**}	50.6 ^{**}	0.939 ^{**}
S * C	6	0.573 ^{**}	0.040 ^{**}	0.017 ^{**}	44 ^{**}	0.672 ^{**}
F * C	6	0.334 ^{**}	0.023 ^{**}	0.118 ^{**}	19.3 ^{**}	0.113 ^{ns}
S * F * C	18	0.474 ^{**}	0.028 ^{**}	0.044 ^{**}	28.4 ^{**}	0.535 ^{**}
Y * F	3	0.052 ^{ns}	0.002 ^{ns}	0.006 ^{ns}	9.75 ^{**}	0.099 ^{ns}
Y * C	2	0.0002 ^{ns}	0.000001 ^{ns}	0.0000004 ^{ns}	0.055 ^{ns}	0.0003 ^{ns}
Y * S * F	9	0.903 ^{**}	0.000001 ^{ns}	0.031 ^{**}	40.5 ^{**}	0.882 ^{**}
Y * S * C	6	0.184 ^{**}	0.000001 ^{ns}	0.001 ^{**}	4.41 ^{**}	0.184 ^{**}
Y * F * C	6	0.159 ^{**}	0.000001 ^{ns}	0.038 ^{**}	7.80 ^{**}	0.351 ^{**}
Y * S * F * C	18	0.364 ^{**}	0.000001 ^{ns}	0.030 ^{**}	8.58 ^{**}	0.397 ^{**}
خطای کل (Total error)	176	0.048	0.001	0.002	0.851	0.063
ضریب تغییرات (Coefficient of variation)		14.6	13.4	9.0	11.7	11.1

میانگین های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۴- برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر کلروفیل a گیاه کینوا

Table 14- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Chlorophyll a

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.gfw ⁻¹)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	کلروفیل a Chlorophyll a (mg.gfw ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	1.54 ^{d-f}	FC 75	Control	Tircace	1.38 ^{e-i}
		Q29	1.61 ^{c-e}			Q29	1.37 ^{e-i}
		Q26	1.15 ^{h-j}			Q26	1.38 ^{e-h}
	100 K	Tircace	0.676 ^k		100 K	Tircace	1.51 ^{b-g}
		Q29	0.877 ^{jk}			Q29	2.03 ^{ab}
		Q26	2.09 ^a			Q26	1.72 ^{cd}
	100 Zn	Tircace	1.15 ^{h-j}		100 Zn	Tircace	1.67 ^{c-e}
		Q29	1.11 ^{h-j}			Q29	1.74 ^{b-d}
		Q26	1.49 ^{d-g}			Q26	1.24 ^{f-i}
	50 K+ Zn	Tircace	1.15 ^{h-j}		50 K+ Zn	Tircace	1.78 ^{b-d}
		Q29	1.11 ^{h-j}			Q29	1.88 ^{a-c}
		Q26	1.49 ^{d-g}			Q26	2.16 ^a
FC 50	Control	Tircace	1.23 ^{g-i}	FC 100	Control	Tircace	1.38 ^{e-i}
		Q29	1.07 ^{h-j}			Q29	1.37 ^{e-i}
		Q26	1.15 ^{h-j}			Q26	1.38 ^{e-h}
	100 K	Tircace	1.37 ^{e-i}		100 K	Tircace	1.51 ^{d-g}
		Q29	1.58 ^{c-e}			Q29	2.03 ^{ab}
		Q26	1.07 ^{ij}			Q26	1.72 ^{cd}
	100 Zn	Tircace	1.77 ^{b-d}		100 Zn	Tircace	1.78 ^{b-d}
		Q29	1.59 ^{c-e}			Q29	1.88 ^{a-c}
		Q26	1.58 ^{c-e}			Q26	2.16 ^a
	50 K+ Zn	Tircace	1.77 ^{b-d}		50 K+ Zn	Tircace	1.67 ^{c-e}
		Q29	1.59 ^{c-e}			Q29	1.74 ^{b-d}
		Q26	1.58 ^{c-e}			Q26	1.24 ^{f-i}

 میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۵- مقایسه میانگین اثر اصلی سال بر صفات مختلف

Table 15- Comparison of the average main effect of the year on different traits

سال Year	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.gfw ⁻¹)	کارتنوئید Carotenoids (mg.gfw ⁻¹)	نسبت کلروفیل a/b Chlorophyll a/b ratio
2018-19	0.189 ^b	0.515 ^b	8.79 ^a
2019-20	0.224 ^a	0.580 ^a	6.98 ^b

 میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

احتمالی فعالیت آنزیم کلروفیل‌آز و تشکیل کلروفیل (Waraich, Ahmad, Halim, & Aziz, 2012) می‌تواند قابل‌توجه باشد. از آنجایی که میزان کلروفیل با فراهمی کودها در ارتباط است (Mohseni, Esmaeili, Pirdashti, Abbasi, & Nasiri, 2020)، به‌نظر می‌رسد که در تیمارهای مصرف کود پتاسیم، مواد لازم جهت ساخت کلروفیل بیشتر در اختیار گیاه بوده و میزان کلروفیل در آنها بیشتر از تیمارهای عدم مصرف این کودها است (Moemeni, Ghobadi, Jalali-Honarmand, & Shekaari, 2015). همچنین

در نتایج این آزمایش کاهش محتوای کلروفیل در اثر تنش خشکی مشاهده شد. مشابه نتایج تحقیق حاضر، در آزمایش حق‌شناس و همکاران (Haghshenas, Nazarideljou, & Shokoohian, 2020)، گزارش شد که پس از اعمال تنش، میزان کلروفیل کل و کلروفیل a در توت‌فرنگی کاهش یافت. همچنین مشاهده شد که کاربرد محلول‌پاشی پتاس و روی موجب افزایش شاخص کلروفیل برگ در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی شدند که با توجه به نقش این عناصر در افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی، کاهش

گزارش گردید که پتاسیم با بهبود هدایت روزنه‌ای در شرایط تنش و ممانعت از تجزیه کلروفیل توسط تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند نقش مؤثری در افزایش محتوی کلروفیل در شرایط تنش داشته باشد (Alavi Matin, Rahnema, & Meskarbashi, 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش به‌وضوح نشان داد که کاربرد ترکیبی محلول‌پاشی پتاس و روی و اعمال تنش خشکی در شرایط آب و هوایی دو سال آزمایش تمامی صفات مورد بررسی در این آزمایش را تحت تأثیر قرار داد. به‌طوری‌که ترکیب تیمارهای محلول‌پاشی ترکیبی (50 K+ Zn) در ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی بیشترین میزان ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و وزن خشک گیاه تولید نمود. در همین

جدول ۱۶- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر کلروفیل b گیاه کینوا

Table 16- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Chlorophyll b

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.gfw ⁻¹)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	کلروفیل b Chlorophyll b (mg.gfw ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	0.201 ^{f-i}	FC 75	Control	Tircace	0.191 ^{g-j}
		Q29	0.148 ^{k-n}			Q29	0.222 ^{fg}
		Q26	0.213 ^{f-h}			Q26	0.159 ^{j-m}
	100 K	Tircace	0.118 ⁿ		100 K	Tircace	0.184 ^{h-k}
		Q29	0.198 ^{f-i}			Q29	0.309 ^{cd}
		Q26	0.230 ^f			Q26	0.179 ^{h-k}
	100 Zn	Tircace	0.179 ^{h-k}		100 Zn	Tircace	0.320 ^c
		Q29	0.179 ^{h-k}			Q29	0.211 ^{f-h}
		Q26	0.220 ^{fg}			Q26	0.131 ^{mn}
	50 K+ Zn	Tircace	0.213 ^{f-h}		50 K+ Zn	Tircace	0.175 ^{h-k}
		Q29	0.211 ^{f-h}			Q29	0.368 ^b
		Q26	0.190 ^{g-j}			Q26	0.179 ^{h-k}
FC 50	Control	Tircace	0.276 ^{de}	FC 100	Control	Tircace	0.170 ^{i-l}
		Q29	0.200 ^{f-i}			Q29	0.130 ^{mn}
		Q26	0.209 ^{f-h}			Q26	0.140 ^{l-n}
	100 K	Tircace	0.187 ^{g-j}		100 K	Tircace	0.228 ^f
		Q29	0.182 ^{h-k}			Q29	0.271 ^e
		Q26	0.151 ^{k-n}			Q26	0.209 ^{f-h}
	100 Zn	Tircace	0.168 ^{i-l}		100 Zn	Tircace	0.235 ^f
		Q29	0.171 ^{i-l}			Q29	0.209 ^{f-h}
		Q26	0.391 ^b			Q26	0.218 ^{fg}
	50 K+ Zn	Tircace	0.145 ⁱ⁻ⁿ		50 K+ Zn	Tircace	0.173 ^{i-l}
		Q29	0.148 ^{k-n}			Q29	0.170 ^{i-l}
		Q26	0.163 ^{i-m}			Q26	0.431 ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند (p≤0.05)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

تیمار نیز بیشترین عملکرد بذر و عملکرد بیولوژیک مشاهده گردید. در این آزمایش هرچند با کاهش میزان آب مصرفی و به تبع آن بروز تنش خشکی از عملکرد گیاه کینوا کاسته می‌شود اما با مصرف محلول‌پاشی، به‌ویژه محلول‌پاشی ترکیبی می‌توان تا حد مطلوبی از بروز اثرات سوء تنش خشکی بر عملکرد این گیاه کاست. به نظر می‌رسد در منطقه مورد نظر تفاوت میزان بارندگی و تبخیر و تعرق در دو سال آزمایش تأثیر قابل توجهی بر صفات مورد بررسی گذاشت به‌طوری‌که در سال اول کاهش محدودیت منابع آبی در کاهش رشد گیاه و عملکرد آن نسبت به سال دوم مؤثر بود با این حال استفاده از مقادیر مناسب محلول‌پاشی ترکیبی و جداگانه به منظور افزایش توانایی گیاه در جذب مؤثرتر آب، روش مناسبی برای افزایش عملکرد ارقام مختلف کینوا می‌باشد.

جدول ۱۷- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر کارتنوئید گیاه کینوا

Table 17- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Carotenoids

خشکی	کود	رقم	کارتنوئید	خشکی	کود	رقم	کارتنوئید
Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	Carotenoids (mg.gfw ⁻¹)	Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	Carotenoids (mg.gfw ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	0.228 ^p	FC 75	Control	Tircace	0.454 ^{l-n}
		Q29	0.525 ^{h-k}			Q29	0.666 ^{a-c}
		Q26	0.430 ^{mn}			Q26	0.632 ^{a-f}
	100 K	Tircace	0.596 ^{d-g}		100 K	Tircace	0.657 ^{a-d}
		Q29	0.490 ^{k-m}			Q29	0.603 ^{c-g}
		Q26	0.312 ^o			Q26	0.528 ^{h-k}
	100 Zn	Tircace	0.486 ^{k-m}		100 Zn	Tircace	0.584 ^{e-h}
		Q29	0.648 ^{a-e}			Q29	0.653 ^{a-d}
		Q26	0.588 ^{d-h}			Q26	0.502 ^{i-l}
	50 K+ Zn	Tircace	0.572 ^{f-i}		50 K+ Zn	Tircace	0.585 ^{e-h}
		Q29	0.681 ^{ab}			Q29	0.654 ^{a-d}
		Q26	0.559 ^{g-j}			Q26	0.502 ^{i-l}
FC 50	Control	Tircace	0.455 ^{l-n}	FC 100	Control	Tircace	0.494 ^{j-m}
		Q29	0.526 ^{h-k}			Q29	0.516 ^{j-l}
		Q26	0.428 ^{mn}			Q26	0.635 ^{a-f}
	100 K	Tircace	0.592 ^{d-g}		100 K	Tircace	0.683 ^a
		Q29	0.489 ^{k-m}			Q29	0.617 ^{b-g}
		Q26	0.312 ^o			Q26	0.638 ^{a-f}
	100 Zn	Tircace	0.572 ^{f-i}		100 Zn	Tircace	0.567 ^{g-i}
		Q29	0.681 ^{ab}			Q29	0.634 ^{a-f}
		Q26	0.561 ^{g-j}			Q26	0.416 ⁿ
	50 K+ Zn	Tircace	0.485 ^{k-m}		50 K+ Zn	Tircace	0.567 ^{g-i}
		Q29	0.648 ^{a-e}			Q29	0.636 ^{a-f}
		Q26	0.589 ^{d-h}			Q26	0.416 ⁿ

 میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۸- برهمکنش سه‌گانه تنش خشکی × محلول‌پاشی × رقم بر نسبت کلروفیل a/b گیاه کینوا

Table 18- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Chlorophyll a/b ratio

خشکی	کود	رقم	نسبت کلروفیل a/b	خشکی	کود	رقم	نسبت کلروفیل a/b
Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	Chlorophyll a/b ratio	Irrigation regime	Fertilizer	Cultivar	Chlorophyll a/b ratio
FC 25	Control	Tircace	7.64 ^p	FC 75	Control	Tircace	7.23 ^{n-r}
		Q29	11.1 ^{cd}			Q29	6.23 ^{q-t}
		Q26	5.32 ^{a-u}			Q26	8.69 ^{h-l}
	100 K	Tircace	6.03 ^{t-t}		100 K	Tircace	8.11 ^{k-o}
		Q29	4.56 ^{uv}			Q29	6.71 ^{p-r}
		Q26	9.15 ^{t-k}			Q26	9.70 ^{e-i}
	100 Zn	Tircace	6.51 ^{p-s}		100 Zn	Tircace	5.23 ^{tu}
		Q29	6.62 ^{p-r}			Q29	8.52 ^{j-m}
		Q26	7.06 ^{o-r}			Q26	9.36 ^{f-j}
	50 K+ Zn	Tircace	5.42 ^{s-u}		50 K+ Zn	Tircace	10.2 ^{d-f}
		Q29	5.35 ^{s-u}			Q29	5.12 ^{t-v}
		Q26	7.59 ^{t-p}			Q26	12.4 ^{ab}
FC 50	Control	Tircace	4.43 ^{uv}	FC 100	Control	Tircace	8.14 ^{k-o}
		Q29	5.40 ^{s-u}			Q29	10.82 ^{e-e}
		Q26	5.43 ^{s-u}			Q26	9.98 ^{d-g}
	100 K	Tircace	7.42 ^{m-q}		100 K	Tircace	6.83 ^{p-r}
		Q29	8.93 ^{g-k}			Q29	7.53 ^{l-p}
		Q26	7.06 ^{o-r}			Q26	8.32 ^{j-n}
	100 Zn	Tircace	10.3 ^{c-f}		100 Zn	Tircace	7.70 ^{l-p}
		Q29	9.38 ^{f-j}			Q29	9.20 ^{f-k}
		Q26	3.98 ^v			Q26	9.88 ^{e-h}
	50 K+ Zn	Tircace	13.2 ^a		50 K+ Zn	Tircace	9.84 ^{e-h}
		Q29	11.4 ^{bc}			Q29	10.32 ^{c-f}
		Q26	10.3 ^{c-f}			Q26	2.87 ^w

 میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند ($p \leq 0.05$)

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

جدول ۱۹- برهمکنش سه گانه تنش خشکی × محلول پاشی × رقم بر مجموع کلروفیل گیاه کینوا

Table 19- Triple interaction of drought stress × foliar spray × cultivar on quinoa Total chlorophyll

خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	مجموع کلروفیل Total chlorophyll (mg.gfw ⁻¹)	خشکی Irrigation regime	کود Fertilizer	رقم Cultivar	مجموع کلروفیل Total chlorophyll (mg.gfw ⁻¹)
FC 25	Control	Tircace	2.19 ^{h-p}	FC 75	Control	Tircace	1.80 ^{q-s}
		Q29	2.28 ^{g-n}			Q29	2.25 ^{g-o}
		Q26	1.79 ^{q-s}			Q26	2.17 ^{i-p}
	100 K	Tircace	1.39 ^t		100 K	Tircace	2.35 ^{f-l}
		Q29	1.57 ^{r-t}			Q29	2.94 ^a
		Q26	2.64 ^{a-f}			Q26	2.42 ^{e-k}
	100 Zn	Tircace	1.81 ^{q-s}		100 Zn	Tircace	2.58 ^{c-g}
		Q29	1.94 ^{n-q}			Q29	2.60 ^{b-g}
		Q26	2.30 ^{f-m}			Q26	1.87 ^{p-r}
	50 K+ Zn	Tircace	1.93 ^{o-q}		50 K+ Zn	Tircace	2.55 ^{d-g}
		Q29	2.01 ^{l-q}			Q29	2.90 ^{a-c}
		Q26	2.25 ^{g-o}			Q26	2.85 ^{a-d}
FC 50	Control	Tircace	1.96 ^{m-q}	FC 100	Control	Tircace	2.04 ^{l-q}
		Q29	1.80 ^{q-s}			Q29	2.01 ^{l-q}
		Q26	1.78 ^{q-s}			Q26	2.16 ^{i-p}
	100 K	Tircace	2.15 ^{j-p}		100 K	Tircace	2.42 ^{e-k}
		Q29	2.26 ^{g-o}			Q29	2.92 ^{ab}
		Q26	1.54 st			Q26	2.56 ^{d-g}
	100 Zn	Tircace	2.51 ^{d-i}		100 Zn	Tircace	2.59 ^{c-g}
		Q29	2.45 ^{e-j}			Q29	2.72 ^{a-e}
		Q26	2.53 ^{d-h}			Q26	2.80 ^{a-d}
	50 K+ Zn	Tircace	2.40 ^{e-k}		50 K+ Zn	Tircace	2.42 ^{e-k}
		Q29	2.39 ^{e-k}			Q29	2.54 ^{d-h}
		Q26	2.33 ^{f-l}			Q26	2.08 ^{k-q}

(p≤0.05) میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means with similar letters are not significantly different at 5% of probability

References

1. Abarshahr, M., Rabiei, B., & Samizadeh-Lahigi, H. (2011). Assessing genetic diversity of rice varieties under drought stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 3, 114-123.
2. Adebayo, M. A., Menkir, A., Blay, E., Gracen, V., Danquah, E., & Hearne, S. (2014). Genetic analysis of drought tolerance in adapted × exotic crosses of maize inbred lines under managed stress conditions. *Euphytica*, 196, 261-270.
3. Adolf, V. I., Shabala, S., Andersen, M. N., Razzaghi, F., & Jacobsen, S. E. (2012). Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil*, 357(1-2), 117-129.
4. Alavi Matin, S., Rahnama, A., & Meskarbashi, M. (2015). Effects of type and rate of potassium fertilizer on agronomic and physiological traits of two durum wheat varieties under salt stress. *Cereal Research*, 5(2), 177-187. (in Persian with English abstract).
5. Aliyeva, N. Kh., Gafarova, E. E., Aliyeva, D. R., Suleymanov, S. Y., Rzayev, F. H., & Gasimov, E. K. (2019). The effect of salt (NaCl) stress on the ultrastructure of mesophyll and bundle sheath cell chloroplasts and the activity of superoxide dismutase in maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, 1(74), 96-104.
6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
7. Azab, E. (2016). Effect of Water Stress and Biological Fertilization on Maize Growth, Chemical Composition and Productivity in Calcareous Soil. *American Journal of Plant Physiology*, 11, 1-11.
8. Azizabadi, E., Golchin, A., & Delavar, M. (2014). Effect of potassium and drought stress on growth indices and mineral content of safflower leaf. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 5(3), 65-80. (in Persian with English abstract).
9. Babaei, Kh., Seyed Sharifi, R., Pirzad, P., & Khalilzadeh, R. (2017). Effects of bio fertilizer and nano Zn-Fe oxide on physiological traits, antioxidant enzymes activity and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under salinity stress. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 381-389. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1371798>

10. Babaeian, M., Heidari, M., & Ghanbari, A. (2008). Effects of foliar micronutrient application on osmotic adjustments, grain yield and yield components in sunflower (Alster cultivar) under water stress at three stages. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 40(12), 119-129.
11. Campelo, D. H., Teixeira, A. S., Moreira, L. C. J., & Lacerda, C. F. (2019). Growth, production and water and nitrogen use efficiency of maize under water depths and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 23(10), 747-753. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10>
12. Casamali, B., van Iersel, M. W., & Chavez, D. J. (2021). Plant Growth and Physiological Responses to Improved Irrigation and Fertilization Management for Young Peach Trees in the Southeastern United States, *HortScience horts*, 56(3), 336-346. Retrieved Apr 19, 2022, from <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/56/3/article-p336.xml>
13. Cheng, M., Wang, H., Fan, J., Zhang, F., & Wang, X. (2021). Effects of Soil Water Deficit at Different Growth Stages on Maize Growth, Yield, and Water Use Efficiency under Alternate Partial Root-Zone Irrigation. *Water*, 13, 148. <https://doi.org/10.3390/w13020148>
14. Creelman, R. A., & Mullet, J. E. (2008). Biosynthesis and action of Jasmonates in plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 48, 355-381.
15. Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., Sadia, S., Nasim, W., Adkins, S., Saud, S., Ihsan, M. Z., Alharby, H., Wu, C., Wang, D., & Huang, J. (2017) Crop Production under Drought and Heat Stress: Plant Responses and Management Options. *Frontiers in Plant Science*, 1147. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
16. Farokhian, Sh., Tohidi-Nejad, E., & Mohammadi-Nejad, Gh. (2021). Studying the effect of bio-fertilizers on the yield components of Sesame (*Sesamum indicum*) genotypes under drought stress condition. *Central Asian Journal of Plant Science Innovation*, 1(1), 32-38. <https://doi.org/10.22034/CAJPSI.2021.01.04>
17. Ghavamsaeidi noghabi, S., Shahidi, A., & Homami, H. (2021). Estimation of Water Requirement and Crop Coefficient for Hemp at Different Growth Stages in Birjand Plain. *Journal of Water Research in Agriculture*, 34(4), 563-573. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/jwra.2021.122794>.
18. Giunta, F., Mefleh, M., Pruneddu, G., & Motzo, R. (2021). Role of Nitrogen Uptake and Grain Number on the Determination of Grain Nitrogen Content in Old Durum Wheat Cultivars. *Agronomy*, 11, 42. <https://doi.org/10.3390/agronomy11010042>
19. Haghshenas, M., Nazarideljou, M. J., & Shokoohian, A. (2020). Phytochemical and Quality Attributes of Strawberry Fruit under Osmotic Stress of Nutrient Solution and Foliar Application of Putrescine and Salicylic Acid. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 7(3), 263-278. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.298283.347>
20. Hameed, A., Ahmed, M. Z., Hussain, T., Aziz, I., Ahmad, N., Gul, B., & Nielsen, B. L. (2021). Effects of Salinity Stress on Chloroplast Structure and Function. *Cells*, 10(8), 2023. <https://doi.org/10.3390/cells10082023>. PMID: 34440792; PMCID: PMC8395010.
21. Jacobsen, S. E., Liu, F., & Jensen, C. R. (2009). Does root-sourced ABA play a role for regulation of stomata under drought in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Scientia Horticulturae*, 122(2), 281-287.
22. Jacobsen, S. E., Monteros, C., Christiansen, J. L., Bravo, L. A., Corcuera, L. J., & Mujica, A. (2005). Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to frost at various phenological stages. *European Journal of Agronomy*, 22, 131-139.
23. Jalil Shesh Bahre, M., & Movahedi Dehnavi, M. (2012). Effect of zinc and iron foliar application on soybean seed vigor grown under drought stress. *Electronic Journal Crop Production*, 5 (1), 19-35.
24. Jamali, S., & Sharifan, H. (2018). Investigation the effect of different Salinity levels on Yield and Yield components of Quinoa (Cv. Titicaca). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2), 251-266. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/jwsc.2018.13721.2841>
25. Karlický, V., Kmecová Materová, Z., & Kurasová, I. (2021). Accumulation of geranylgeranylated chlorophylls in the pigment-protein complexes of *Arabidopsis thaliana* acclimated to green light: effects on the organization of light-harvesting complex II and photosystem II functions. *Photosynthesis Research*, 149, 233-252. <https://doi.org/10.1007/s11120-021-00827-1>
26. Keshtkar, A., Aien, A., Naghavi, H., & Najafi Nezhad, H. (2021). Effect of foliar application of jasmonic acid and drought stress on yield and some agronomic and physiologic traits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) cultivars. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(2), 403-414. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2402.1711>
27. Khademian, R., Ghassemi, S., & Asghari, B. (2019). Bio-fertilizer Improves Physio-biochemical Characteristics and Grain Yield of Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) under Drought Stress. *Russian Agricultural Sciences*, 45, 458-463. <https://doi.org/10.3103/S1068367419050124>
28. Lamochi, S., & Sakinejad, T. (2019). Evaluation Seed Yield, Its Components and Morphological Traits of Corn in Response of Consume Super Absorbent Polymers and Nitroxin. *Journal of Crop Nutrition Science*, 5(1), 18-32.
29. Moemeni, F., Ghobadi, M., Jalali-Honarmand, S., & Shekaari, P. (2015). The response of physiological

- characteristics of chickpea to K and Zn fertilizers under dryland farming and supplementary irrigation conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 3(9), 71-84. (in Persian with English abstract).
30. Mohseni, S. H., Esmaili, M. A., Pirdashti, H., Abbasi, R., & Nasiri, M. (2020). Effect of potassium fertilizers on chlorophyll florescence and photosynthetic pigments in rice (*Oryza sativa* L. var. Tarom Hashemi) in regulated deficit irrigation condition. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35), 1-22. (in Persian with English abstract).
 31. Parkash, V., & Singh, S. (2020). A Review on Potential Plant-Based Water Stress Indicators for Vegetable Crops. *Sustainability*, 12, 3945. <https://doi.org/10.3390/su12103945>
 32. Ravi, S., Channal, H. T., Hebsur, N. S., Patil, B. N., & Dharmatti, P. R. (2008). Effect of sulphur, zinc and iron nutrition on growth, yield, nutrient uptake and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Karnataka Journal Agriculture Science*, 32, 382-385.
 33. Salehinia, P. (2019). *The effect of camel manure and manganese sulfate on yield and yield components of foxtail millet*. Master's Thesis, agrotechnology major, agroecology, Faculty of Agriculture, Birjand University. (in Persian with English abstract).
 34. Seyed Sharifi, R., Namvar, A., & Seyed Sharifi, R. (2017). Grain filling and fatty acid composition of safflower fertilized with integrated nitrogen fertilizer and biofertilizers. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52(04), 236-243. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2017000400003>
 35. Shekofteh, H., & Dehghani Fatehabad, R. (2016). Effect of Water Stress and Potassium on Yield and Yield Components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 8(2), 167-178. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22084/ppt.2016.1863>
 36. Sofy, M. R., Sharaf, A. E. M., & Fouda, H. M. (2016). Stimulatory effect of hormones, vitamin C on growth, yield and some metabolic, activities of Chenopodium quinoa plants in Egypt. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology*, 10, 2329-9029.
 37. Swiatek, A., Azmi, A., Witters, E., & Van Onckelen, H. (2003). Stress Messengers Jsmonic acid and Abccisic acid negatively regulate plant cell cycle. *Journal of Plant Physiology*, 172-178.
 38. Talukdar, D. (2013). Comparative morpho-physiological and biochemical responses of lentil and grass pea genotypes under water stress. *Journal of Natural Science, Biology and Medicine*, 4(2), 396-402. <https://doi.org/10.4103/0976-9668.116983>
 39. Verma, K. K., Song, X. P., Zeng, Y., Li, D. M., Guo, D. J., Rajput, V. D., Chen, G. L., Barakhov, A., & Minkina, T. M. (2020). Characteristics of Leaf Stomata and Their Relationship with Photosynthesis in *Saccharum officinarum* Under Drought and Silicon Application. *ACS Omega*, 5, 37, 24145-2415. <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c03820>
 40. Wang, Q., Jiang, L., Chen, Y., Tian, X., & Lv, G. (2021). Abiotic stress-by-competition interactions drive hormone and nutrient changes to regulate Suaeda salsa growth. *Global Ecology and Conservation*, 31, e01845. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01845>
 41. Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Saifullah, & Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 61(4), 291-304. <https://doi.org/10.1080/09064710.2010.491954>
 42. Waraich2012, E. A., Ahmad, R., Halim, A., & Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: A review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 221-244.
 43. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response Mechanism of Plants to Drought Stress. *Horticulturae*, 7, 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
 44. Yousefi, M. (2012). Impact of Zn and Mn foliar application on yield of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) under two irrigation regimes. *International Journal of Agriculture: Research and Review*, 2(3), 102-107.

Contents

Research Articles

Assessment of Photosynthetic Traits of Kabuli-type Chickpea Genotypes under Salinity Stress	127
Z. Nasiri, J. Nabati, A. Nezami, M. Kafi	
Evaluation of the Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions	143
M. Nouri, M. Jahan, H. R. Khazaei, M. Nassiri-Mahallati, K. Shojaei	
Evaluating the Sustainability of Canola Agroecosystems Using Energy Analysis, Carbon Footprint, and Greenhouse Gases	159
H. R. Shahhoseini, S. Lotfi, H. Kazemi, B. Kamkar	
Evaluation of Heterosis and Heritability of Quantitative Traits and Grouping of New Cultivars and Genotypes of Fennel (<i>Foeniculum vulgare</i>. Mill)	173
A. Akbari, A. Izadi-Darbandi, H. Ramshini, M. Ebrahimi	
Agro-ecological Zoning of Iran for Plant Production	189
E. Paravar, A. Soltani, E. Zeinali, H. Kazemi, A. Dadrasi	
The Effects of Some Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (<i>Triticosecale</i> Wittmack) under Water Limitation Condition	203
F. Aghaei, R. Seyed Sharifi, S. Farzaneh	
Effects of Putrescine and Biofertilizers on Content of Na⁺ and K⁺ Root and Shoots, Stomatal Conductance, Leaf Area Index and Yield of Wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) under Salinity Stress	221
A. Mohseni Mohammadjanlou, R. Seyed Sharifi, S. Alipour	
Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa Genotypes (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) to the Application of Potassium and Zinc Chelates under Drought Stress Conditions	243
Y. Zahmatkesh, M. Pessarakli, A. Souhani	

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 21

No. 2

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 Ecophysiology	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
Raei, 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	John Innes Centre, Norwich Research Park, Norwich, UK
Bazrgar, A.B.	Ecological Modeling	School of Environmental Sciences, University of Guelph, Canada

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.21 No.2

2023

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

- Assessment of Photosynthetic Traits of Kabuli-type Chickpea Genotypes under Salinity Stress** 127
Z. Nasiri, J. Nabati, A. Nezami, M. Kafi
- Evaluation of the Effect of Nitrogen Consumption and Use Efficiency on Yield and Yield Components of Two Potato Cultivars under Quchan Conditions** 143
M. Nouri, M. Jahan, H. R. Khazaei, M. Nassiri-Mahallati, K. Shojaei
- Evaluating the Sustainability of Canola Agroecosystems Using Energy Analysis, Carbon Footprint, and Greenhouse Gases**..... 159
H. R. Shahhoseini, S. Lotfi, H. Kazemi, B. Kamkar
- Evaluation of Heterosis and Heritability of Quantitative Traits and Grouping of New Cultivars and Genotypes of Fennel (*Foeniculum vulgare*. Mill)** 173
A. Akbari, A. Izadi-Darbandi, H. Ramshini, M. Ebrahimi
- Agro-ecological Zoning of Iran for Plant Production** 189
E. Paravar, A. Soltani, E. Zeinali, H. Kazemi, A. Dadrasi
- The Effects of Some Biofertilizers and Nano Iron-Silicon Oxide on Yield and Grain Filling Components of Triticale (*Triticosecale* Wittmack) under Water Limitation Condition** 203
F. Aghaei, R. Seyed Sharifi, S. Farzaneh
- Effects of Putrescine and Biofertilizers on Content of Na⁺ and K⁺ Root and Shoots, Stomatal Conductance, Leaf Area Index and Yield of Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Salinity Stress** 221
A. Mohseni Mohammadjanlou, R. Seyed Sharifi, S. Alipour
- Morpho-physiological and Yield Responses of Quinoa Genotypes (*Chenopodium quinoa* Willd) to the Application of Potassium and Zinc Chelates under Drought Stress Conditions**..... 243
Y. Zahmatkesh, M. Pessarakli, A. Souhani