



عنوان مقالات

مقالات پژوهشی

تعیین برخی صفات مورفوفیزیولوژیک موثر بر نسبت ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare L.*)... ۱۲۳
رسول نجیب، محمد فارسی، محمد زارع مهرجردی، نسرین مشتاقی

اثر محلول پاشی با اسید سالیسیلیک بر شاخص های فیزیولوژیکی و القای تحمل به گرمای انتهای فصل کینوا (*Chenopodium quinoa L.*) در شرایط آب و هوایی اهواز... ۱۳۹
سیمنا قلمباز، حبیب اله روشنفکر، افراسیاب راهنما قهنفرخی، علی منصفی

تأثیر منبع تامین نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ های گشنیز (*Coriandrum sativum L.*) در شرایط رقابت با علف های هرز... ۱۵۷
فاطمه علانی، سعیده ملکی فراهانی، حسن حبیبی، محمدحسین فتوکیان، مصطفی خدادادی

تأثیر تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa Willd.*) در دو منطقه پیرچند و سریشه... ۱۷۱
فرزانه گلستانی فر، سهراب محمودی، حمیدرضا فلاحتی، علی شهیدی

تأثیر تلقیح با باکتری های محرک رشد و نانو ذرات بر فرآیند انتقال ماده خشک و عملکرد تریتی کاله تحت رژیم های آبیاری... ۱۹۹
فاطمه آقایی، رئوف سیدشریفی، سلیم فرزانه

ارزیابی خصوصیات زراعی و عملکرد توده های مختلف بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica Fisch. et Mey*) جمع آوری شده از مناطق مختلف کشور ایران... ۲۱۳
بهنام قلی زاده خواجه، جلیل شفق کلوانق، سعید زهتاب سلماسی، محمد مقدم واحد، مینا امانی

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط کوشیا (*Kochia scoparia L.*) و لویا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata*)... ۲۲۹
اسماعیل میش مست، مهدی دهمرده، محمد گلوی، عیسی خمیری

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 ۱۴۰۳

شماره ۲

جلد ۲۲

صاحب امتیاز:	دانشگاه فردوسی مشهد
مدیر مسئول:	پرویز رضوانی مقدم
سردبیر:	حمیدرضا خزاعی
	استاد- آگرواکولوژی (دانشگاه فردوسی مشهد)
	استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)

اعضای هیئت تحریریه:

استاد- آکوفیزیولوژی گیاهان زراعی و علف های هرز (دانشگاه تربیت مدرس، تهران)	مجید آقاعلیخانی
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه صنعتی اصفهان)	پرویز احسان زاده
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه شیراز)	یحیی امام
استاد- ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)	عبدالرضا باقری
استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)	محمدعلی بهدانی
استاد- مدل سازی سیستم های کشاورزی (دانشگاه فردوسی مشهد)	محمد بنایان اول
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)	مجید جامی الاحمدی
استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تبریز)	یعقوب راعی
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)	حمیدرضا خزاعی
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه تهران)	حمید رحیمیان مشهدی
دانشیار- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه بیرجند)	غلامرضا زمانی
استاد- اکولوژی گیاهان زراعی (مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی)	احمد زارع فیض آبادی
استاد- ژنتیک و اصلاح نباتات (دانشگاه فردوسی مشهد)	فرج اله شهریاری احمدی
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)	محمد کافی
استاد- فیزیولوژی گیاهان زراعی (دانشگاه فردوسی مشهد)	احمد نظامی
مدل سازی گیاهی (مرکز مطالعات کشاورزی بنیاد لاینیتر (زالف)، آلمان)	احسان عیشی رضایی
فیزیولوژی گیاهی محیطی (مرکز جان اینس، نورویچ، انگلیس)	اعظم لشکری
مدل سازی اکولوژیک (دانشکده علوم محیطی، دانشگاه گوتلف، کانادا)	امیربهبهزاد بذرگر

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:

(ISC)، (SID)، (MAGRAN)، (DOAJ)، (CABI)، (AGRIS)، (EBSCO)، (CIVILICA)، (GoogleScholar)

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مندرجات

مقالات پژوهشی

- ۱۲۳ تعیین برخی صفات مورفوفیزیولوژیک موثر بر نسبت ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare* L.)
رسول نجیب، محمد فارسی، محمد زارع مهرجردی، نسرین مشتاقی
- ۱۳۹ اثر محلول پاشی با اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و القای تحمل به گرمای انتهای فصل کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز
سیما قلمباز، حبیب اله روشنفکر، افراسیاب راهنما قهفرخی، علی منصفی
- ۱۵۷ تاثیر منبع تامین نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط رقابت با علف‌های هرز
فاطمه علائی، سعیده ملکی فراهانی، حسن حبیبی، محمدحسین فتوکیان، مصطفی خدادادی
- ۱۷۱ تأثیر تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در دو منطقه بیرجند و سریشه
فرزانه گلستانی‌فر، سهراب محمودی، حمیدرضا فلاحی، علی شهیدی
- ۱۹۹ تاثیر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد و نانو ذرات بر فرآیند انتقال ماده خشک و عملکرد تربیتکاله تحت رژیم‌های آبیاری
فاطمه آقائی، رئوف سیدشرفی، سلیم فرزانه
- ۲۱۳ ارزیابی خصوصیات زراعی و عملکرد توده‌های مختلف بانگوی شهری (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور ایران
بهنام قلی‌زاده خواجه، جلیل شفق کلوانق، سعید زهتاب سلماسی، محمد مقدم واحد، مینا امانی
- ۲۲۹ بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط کوشیا (*Kochia scoparia* L.) و لوییا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)
اسماعیل میش مست، مهدی دهمرده، محمد گلوی، عیسی خمیری

Determining Some Morphophysiological Traits Affecting the Root-to-Shoot Ratio in Different Cultivars of Barley (*Hordeum vulgare* L.)

R. Najib¹, M. Farsi^{2*}, M. Zare Mehrjardi³, N. Moshtaghi⁴

- 1- Ph.D. Student of Plant Biotechnology, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
2, Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
3- Assistant Professor, Department of Biotechnology, Agriculture Faculty of Shirvan, University of Bojnord, Iran
4- Associate Professor, Department of Biotechnology and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran
(*- Corresponding Author Email: farsi@um.ac.ir)

Received: 21 October 2023
Revised: 10 March 2024
Accepted: 13 March 2024
Available Online: 14 May 2024

How to cite this article:

Najib, R., Farsi, M., Zare Mehrjardi, M., & Moshtaghi, N. (2024). Determining Some Morphophysiological Traits Affecting the Root-to-Shoot Ratio in Different Cultivars of Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 121-136. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84953.1274>

Introduction

Barley is the fourth most common cereal crop in the world after wheat, maize, and rice, which is used for animal and human feed and malt production. This plant stands out among crops due to its unexpectedly wide range of adaptation and distribution compared to other cereals, earning it recognition as a model species. Determining the variation in the morphological and physiological traits of roots and shoots in the collection of barley genotypes can provide the basis for breeding new cultivars with suitable traits for better adaptation to specific environments. So in this study, some morphophysiological characteristics of roots and shoots of commercial barley cultivars were studied to identify cultivars with a higher root-to-shoot ratio as donor parents for breeding projects.

Materials and Methods


In this study, 21 barley cultivars were grown in a randomized complete block design with six replications in greenhouse conditions. Morphological and physiological traits related to roots and shoots were measured during the tillering and heading stages. Also, some traits affecting photosynthesis and yield during reproductive growth and harvesting stages were measured. Analysis of variance, mean comparison by LSD test at 5% probability level, and multivariate statistical analyses including principal components analysis, cluster analysis by Ward method, correlation analysis, and path analysis were performed by JMP and R statistical software.

Results and Discussion

Significant genetic diversity was observed for most of the traits among cultivars ($P < 0.05$). At the tillering stage, Behrokh and Mehtab cultivars and in the heading stage, Jolgeh cultivar showed the highest dry weight of root to shoot ratio. Reyhan variety showed the lowest dry weight of root-to-shoot ratio in both stages. The carbohydrate content of the root in the tillering stage and leaf proline, root volume, and the ratio of chlorophyll a to carotenoid in the heading stage had the highest significant correlation coefficients with dry weight of root to



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84953.1274>

shoot ratio ($P < 0.05$). Path analysis revealed that the root carbohydrate content in the tillering stage and the ratio of chlorophyll to carotenoids and proline in the heading stage are the most effective traits of the dry weight of root-to-shoot ratio. Principal components analysis showed that the first and second principal components explain 33.63% and the first seven principal components explain 72.66% of the total changes. Also, the first principal component showed a positive and significant correlation with root to root-to-shoot ratio in the heading stage, and the second principal component showed a negative and significant correlation with this ratio ($P < 0.05$). The studied cultivars were classified into four groups based on cluster analysis so that the fourth and second clusters in the tillering stage and the third and second clusters in the heading stage had the highest and the first cluster in both stages had the lowest dry weight of root to shoot ratio.

Conclusion

Based on the results, Jolgeh and Reyhan cultivars can be used in breeding programs to improve and produce cultivars with higher root-to-shoot ratio, optimal yield, and more adapted to specific environments. These cultivars had the highest and the lowest dry weight of root-to-shoot ratio in both stages, respectively. Also, they were placed in different dimensions of the biplot drawn based on the first two principal components. In addition, these cultivars were observed in different classes based on the cluster analysis.

Acknowledgment

This project related to the Ph.D. thesis was financially supported by the Vice President for Research of the Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, and the seeds of the cultivars used in this study were provided by the Karaj Seed and Plant Improvement Institute, the authors are thankful for this cooperation.

Keywords: Cluster analysis, Correlation analysis, Genetic diversity, Path analysis, Principal components analysis

تعیین برخی صفات مورفوفیزیولوژیک موثر بر نسبت ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare* L.)

رسول نجیب^۱، محمد فارسی^{۱*}، محمد زارع مهرجردی^۲، نسرين مشتاقی^{۱b}

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳

چکیده

به منظور ارزیابی تنوع ژنتیکی برای صفات مورفوفیزیولوژیک ریشه و اندام هوایی، میزان تخصیص مواد فتوسنتزی بین این اندام‌ها و دسته‌بندی ارقام، ۲۱ رقم جو در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در شرایط گلخانه کشت شدند. صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک مرتبط با ریشه و اندام هوایی در مراحل پنجه‌زنی و رسیدگی و برخی از صفات موثر بر فتوسنتز و عملکرد در طی مراحل رشد زایشی و برداشت اندازه‌گیری شدند. تنوع ژنتیکی معنی‌داری برای اکثر صفات در بین ارقام مشاهده شد ($p < 0.05$). در مرحله پنجه‌زنی ارقام به‌رخ و مهتاب و در مرحله رسیدگی رقم جلگه بالاترین و رقم ریحان در هر دو مرحله پایین‌ترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را نشان دادند. محتوای قند ریشه در مرحله پنجه‌زنی و پرولین برگ، حجم ریشه، نسبت کلروفیل a به کاروتنوئید در مرحله رسیدگی دارای بالاترین ضرایب همبستگی معنی‌دار با نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بودند ($p < 0.05$). تجزیه علیت مشخص نمود که محتوای قند ریشه در مرحله پنجه‌زنی و نسبت کلروفیل a به کاروتنوئید و پرولین برگ در مرحله رسیدگی موثرترین صفات بر این نسبت هستند. اولین مؤلفه اصلی همبستگی مثبت و معنی‌داری با نسبت ریشه به اندام هوایی در مرحله رسیدگی و دومین مؤلفه اصلی همبستگی منفی و معنی‌داری را با این نسبت نشان دادند ($p < 0.05$). ارقام مورد مطالعه براساس تجزیه خوشه‌ای در چهار گروه دسته‌بندی شدند. نتایج این مطالعه می‌تواند در برنامه‌های به‌نژادی برای تولید ارقامی با نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتر و عملکرد مطلوب مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز همبستگی، تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای، تجزیه علیت، تنوع ژنتیکی

مقدمه

سیزدهم قرار دارد (FAO, 2021). جو از جمله کم‌توقع‌ترین گیاهان زراعی با دامنه سازگاری و پراکنش گسترده‌تر نسبت به سایر غلات است که به دلیل ماهیت خویش‌آمیزی و دیپلوئیدی، تعداد کم کروموزوم ($x = 7$)، طیف وسیع ذخایر ژنتیکی و نداشتن موانع تلاقی بین ارقام زراعی و اجداد وحشی به‌عنوان یک گونه ایده‌آل برای خانواده گرامینه در نظر گرفته می‌شود (Wang et al., 2021). در برنامه‌های به‌نژادی جو تولید ژنوتیپ‌های جدید با عملکرد بالا و معرفی آن‌ها به بهره‌برداران از اهداف کوتاه‌مدت و حفظ ژرمپلاسم جهت حفظ و توسعه تنوع ژنتیکی و استفاده در برنامه‌های به‌نژادی آینده از اهداف بلندمدت اصلاح‌گران است (Abarnak, Zarei, & Cheghamirza, 2020).

ریشه اندام رویشی مهمی است که وظیفه جذب آب، مواد معدنی، استقرار گیاه، ذخیره و تکثیر را برعهده دارد و منبعی برای هورمون‌های رشدی است. اثر رشد و معماری ریشه بر عملکرد و سایر ویژگی‌های زراعی، به‌ویژه تحت تنش‌های زیستی و غیرزیستی در محصولات عمده به‌خوبی مستند شده است (Duresso et al.,

جو (*Hordeum vulgare* L.) به‌عنوان چهارمین غله مهم در جهان پس از گندم، ذرت و برنج است که در تغذیه دام، انسان و تولید مالت اهمیت به‌سزایی دارد (Wang et al., 2021). طبق آخرین آمار ارائه‌شده فائو، در سال ۲۰۲۱ سطح زیر کشت جو در جهان ۴۸/۹ میلیون هکتار و میزان تولید کل حدود ۱۴۶ میلیون تن بوده است. ایران با دارا بودن سطح زیر کشت ۲/۱ میلیون هکتار و میزان تولید کل ۲/۸ میلیون تن به لحاظ تولید جهانی این محصول در جایگاه

۱- دانشجوی دکتری رشته بیوتکنولوژی گیاهی، گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۲ و ۴- به‌ترتیب استاد و دانشیار گروه بیوتکنولوژی و به‌نژادی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران
۳- استادیار گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی شیروان، دانشگاه جعفری، ایران

(Email: farsi@um.ac.ir)

*- نویسنده مسئول:

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84953.1274>

هوایی گیاه را قادر می‌سازد تا ضمن حفظ فشار تورژانس بالا، نرخ فتوسنتز را بالاتر نگه دارد که موجب توسعه رشد گیاه و بهبود عملکرد می‌شود (Mokany, Raison, & Prokushkin, 2006; Afshari, Akbari, Shahbazi, & Alahdadi, 2014). همچنین مشخص شده است که تلقیح جو با قارچ *Piriformospora indica* باعث افزایش وزن تر و خشک و میزان قندهای محلول مثل گلوکز، فروکتوز و ساکارز در ریشه می‌شود و بدین ترتیب مقاومت جو در برابر خشکی بهبود می‌یابد (Ghabooli & Mondani, 2016). با توجه به اهمیت و نقش گسترش مناسب ریشه در این گیاه به‌ویژه در شرایط دیم و تاثیر آن بر جذب آب و عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، سیستم ریشه‌ای به‌عنوان یکی از عوامل موثر در تولید و عملکرد جو از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Elakhdar et al., 2022). با این حال در مورد سیستم ریشه و نقش آن در ارتباط با جذب آب، مواد مغذی و سازگاری با محیط‌های خاص در جو دانش کمی وجود دارد (Wang et al., 2021). از آن‌جا که در جو همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رشد اندام هوایی و ریشه گزارش شده است، مشخص کردن تنوع در صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک ریشه و اندام هوایی در کلکسیون ژنوتیپ‌های جو می‌تواند زمینه را برای اصلاح ارقام جدید با صفات مناسب برای سازگاری بهتر با محیط‌های خاص فراهم کند (Elakhdar et al., 2022). ارزیابی تنوع ژنتیکی در گونه‌های گیاهی با روش‌های مختلفی انجام می‌شود که کاشت و ارزیابی صفات مورفولوژیک در ژرم‌پلاسماها، روش معمول برای طبقه‌بندی منابع ژنتیکی است. همچنین استفاده از روش‌های آماری چندمتغیره به دلیل مد نظر قرار دادن هم‌زمان چند متغیر، در تجزیه و تحلیل تنوع ژنتیکی بر پایه داده‌های مورفولوژیک، فیزیولوژیک و مولکولی کاربرد وسیعی دارند (Rezaeinia, Bihamta, Peighambari, Abbsi, & Ataei, 2022). تجزیه خوشه‌ای یک روش مناسب برای گروه‌بندی ارقام است که به‌طور گسترده برای تجزیه الگوی تنوع ژنتیکی در گیاهان زراعی استفاده می‌شود (Moghaddam et al., 2012). تجزیه به مولفه‌های اصلی نیز یکی از مهم‌ترین روش‌های آنالیز چندمتغیره به‌منظور تفسیر روابط موجود میان صفات و گروه‌بندی آن‌ها بر مبنای این روابط است (Rezaeinia et al., 2022). با توجه به نقش تنوع ژنتیکی در پیشبرد اهداف به‌نژادی، بررسی ارقام جو با خصوصیات مورفوفیزیولوژیک مطلوب یکی از روش‌های دستیابی به معیارهای انتخاب در جهت بهبود عملکرد، اصلاح و معرفی ارقام تجاری در جو می‌باشد (Zali & Brati, 2020). بنابراین، هدف از مطالعه حاضر بررسی برخی از خصوصیات مورفوفیزیولوژیک ریشه و اندام هوایی در ارقام تجاری جو و شناسایی ارقام با نسبت بالاتر ریشه به اندام هوایی به‌عنوان والد اهداکننده در طرح‌های به‌نژادی برای دستیابی به ارقام جو با فنوتیپ ریشه بزرگ‌تر است.

مورفولوژی و پراکنش ریشه وابسته به ژنوتیپ، تنظیم‌کننده‌های رشدی و برهم‌کنش محرک‌های زیستی و غیرزیستی است. با توجه به تنوع ژنتیکی و انعطاف‌پذیری فنوتیپی برای پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک ریشه و راهبردهای جستجوی آب و منابع غذایی توسط گیاه، فرصتی برای افزایش بهره‌وری محصول با انتخاب صفات ریشه‌ای وجود دارد (Wang et al., 2021). متأسفانه تاکنون به دلایل مشکلات در ارزیابی خصوصیات ریشه و عدم علاقه بسیاری از محققان به صفاتی که مستقیماً بازده اقتصادی تعبیر نمی‌شوند، تلاش‌ها بیشتر در جهت آزادسازی ارقام و اصلاح برای صفاتی همچون عملکرد و مقاومت در برابر بیماری‌ها و آفات بوده و تحقیقات بر روی ریشه کمتر مورد توجه قرار گرفته است (Rizi & Mohammadi, 2023). از آن‌جا که گیاهان به‌منظور بهینه‌سازی کارایی منابع مختلف را به‌طور متفاوت به اندام‌ها اختصاص می‌دهند، ریشه و اندام هوایی برای دستیابی به منابع با هم رقابت می‌کنند (Gargallo-Garriga et al., 2014). ارتباط ریشه-اندام هوایی از طریق تعادل بین میزان جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه و فتوسنتز اندام هوایی کنترل می‌شود. اندام هوایی تا زمانی رشد می‌کند که کاهش جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه به‌عنوان یک عامل محدودکننده مانع رشد بیشتر گردد و برعکس ریشه تا زمانی رشد می‌کند که تقاضای آن برای مواد فتوسنتزی معادل با مقدار تامین این مواد از اندام هوایی باشد (Soltani & Faraji, 2011). آلومتری^۱ رشد ریشه به قسمت هوایی معمولاً به‌صورت نسبت ریشه به اندام هوایی^۲ بیان می‌شود (Koocheki, & Sarmadnia, 1999). از آن‌جا که رشد مطلق ریشه به دلایل هزینه‌هایی که برای گیاه دارد ممکن است پیش‌بینی‌کننده خوبی برای عملکرد نباشد، تخصیص مواد فتوسنتزی بین ریشه و اندام هوایی ممکن است بینش منطقی‌تری را ارائه دهد (Vain, Tamm, & Tamm, 2023). همچنین پیش‌بینی می‌شود در آینده یکی از راهبردهای مورد توجه برای کاهش غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفر و افزایش کربن خاک، اصلاح و توسعه ارقام غلاتی مانند گندم، جو، سورگوم و ذرت با نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتر، ریشه‌های گسترده‌تر، عمیق‌تر و با نرخ تخریب کندتر باشد (Rizi & Mohammadi, 2023). مشخص شده است که نسبت ریشه به اندام هوایی تحت کنترل عوامل ژنتیکی و محیطی است (Koocheki, & Sarmadnia, 1999).

جو نسبت به سایر غلات دارای سیستم ریشه‌ای گسترده‌تر، نیرومندتر و با رشد سریع‌تر است. مشخص شده است که در جو تنظیم اسمزی با اثرات مثبت روی صفات ریشه و افزایش نرخ ریشه به اندام

مواد و روش‌ها

کشت و پرورش گیاهان

این آزمایش با ۲۱ رقم جو زراعی (جدول ۱) تهیه شده از خزانه ژرمپلاسم موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد طی سال زراعی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. ابتدا بذرها با استفاده از قارچ‌کش ایپرودیون-کاربن‌دازیم^۱ با غلظت دو در هزار ضد عفونی شده و سپس در سینی‌های کشت حاوی کوکوپیت کشت شدند. پس از جوانه‌زنی و استقرار، گیاهچه‌ها به گلدان‌های سطلی به قطر دهانه ۲۶ و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر منتقل شدند. به منظور سهولت در جداسازی و ارزیابی ریشه، آزمایش در خاکی با ترکیب ماسه رودخانه، خاک برگ و کود حیوانی با نسبت ۱:۱:۳ با بافت لومی شنی (۷۹ درصد شن، ۱۶ درصد سیلت و ۴/۸ درصد رس)، اسیدیته ۶/۵، هدایت الکتریکی ۱/۰۸ دسی‌زیمنس بر متر و ظرفیت زراعی ۱۹/۸۶ درصد اجرا شد. در هر گلدان دو بوته کشت شد. گیاهان با شرایط دمایی متوسط ۲۴/۱۶ درجه سانتی‌گراد (شب/روز) پرورش یافتند. به منظور بهاره‌سازی در ارقام زمستانه، گیاهچه‌های منتقل شده به گلدان ابتدا به مدت ۳ هفته در اتاقک رشد با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و سپس به شرایط دمایی پرورش سایر گیاهان انتقال یافتند. کلیه عملیات زراعی مورد نیاز جهت رشد و نمو مطلوب شامل آبیاری قطره‌ای و در حد ظرفیت زراعی، تغذیه با کودهای NPK و مبارزه با آفات و بیماری‌ها مطابق نیاز در طول فصل رشد صورت گرفت. ارزیابی‌ها در زمان پنجه‌زنی به‌عنوان یکی از مراحل کلیدی در ابتدای فاز رشد زایشی و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک در انتهای فاز رشد زایشی انجام شد. صفت قطر ساقه، برخی صفات مرتبط با فتوسنتز برگ همچون خصوصیات روزنه‌ها و برگ‌ها و صفات مرتبط با عملکرد همچون تعداد پنجه و وزن هزار دانه در طول مرحله رشد زایشی و مرحله برداشت اندازه‌گیری شدند.

ارزیابی صفات مورفولوژیک

صفات طول ریشه، ارتفاع بوته، تعداد برگ، تعداد پنجه، قطر ساقه، زاویه برگ‌ها نسبت به محور اصلی و وزن هزار دانه اندازه‌گیری شدند (جدول ۲). شستشوی ریشه‌ها با کمک جریان ملایم آب انجام شد و خاک کاملاً از ریشه‌ها جدا شد. طول، عرض و سطح برگ‌ها و اندام هوایی پس از اسکن نمونه‌ها با دستگاه اسکنر، توسط نرم‌افزار JMicoVision نسخه ۱.۳.۴ ارزیابی شد. حجم اندام هوایی و ریشه با استفاده از استوانه‌های مدرج با حجم مشخصی از آب و بر مبنای

تغییرات درحجم آب اندازه‌گیری شد. جهت تعیین وزن تر ریشه و اندام هوایی از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم استفاده شد. برای تعیین وزن خشک ریشه و اندام هوایی پس از برداشت، نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و در نهایت توزین شدند.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

به منظور ارزیابی مقدار نسبی آب برگ از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد. پس از اندازه‌گیری وزن تر^۲ برگ‌ها در زمان نمونه‌گیری، وزن آماس^۳ و وزن خشک^۴، محتوای نسبی آب برگ با استفاده از رابطه (۱) به دست آمد.

$$RWC = \left[\frac{(F.W. - D.W.)}{(T.W. - D.W.)} \right] \times 100 \quad (1)$$

ارزیابی خصوصیات روزنه‌ها

جهت ارزیابی روزنه‌ها در واحد سطح برگ، از جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته استفاده شد. عکس‌برداری با استفاده از میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی‌های ۲۰۰ و ۴۰۰ برابر و حسگر دریافت تصویر با وضوح دو مگاپیکسل انجام شد. حداقل در ۵ نمونه از موقعیت‌های تصادفی به دست آمده خصوصیات روزنه‌ای سطوح رویی و زیرین برگ با استفاده از نرم‌افزار JMicoVision نسخه ۱.۳.۴ ارزیابی شد.

اندازه‌گیری قندهای محلول و غلظت پرولین

میزان قندهای محلول به روش دابویس و همکاران (Dubois, Gilles, Hamilton, Rebers, & Smith, 1956) با استفاده از فنل سولفوریک اسید و میزان پرولین به روش باتس و همکاران (Bates, Waldren, & Teare, 1973) و با استفاده از ۱۰۰ میلی‌گرم بافت تازه ریشه و برگ استخراج شد. میزان جذب در ۴۸۰ و ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر UV-Vis. BioTek قرائت شد. غلظت قند محلول با استفاده از منحنی استاندارد گلوکز و غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد پرولین تعیین شد.

اندازه‌گیری رنگدانه‌های فتوسنتزی

اندازه‌گیری محتوای کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها به روش لیختنتالر (Lichtenthaler, 1987) و با استفاده ۱۰۰ میلی‌گرم بافت تازه از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته و اتانول ۹۵ درصد انجام شد.

2- Fresh Weight (F.W.)
3- Turgid Weight (T.W.)
4- Dry Weight (D.W.)

1- Iprodione- Carbendazim

جدول ۱- لیست ارقام جو مورد استفاده در مطالعه

Table 1- List of barley varieties used in this study

کد Code	رقم Cultivar	عادت رشدی Growth habit	کد Code	رقم Cultivar	عادت رشدی Growth habit
1	Yousef	Spring	12	Nosrat	Facultative
2	Goharan	Spring	13	Behrokh	Spring
3	Reyhan-03	Spring	14	Reyhan	Spring
4	Kavir	Spring	15	Nowrooz	Spring
5	Nik	Spring	16	Dasht	Spring
6	Nimrooz	Spring	17	Fajre-30	Facultative
7	Zahak	Spring	18	Zarjow	Spring
8	Loot	Spring	19	Mahtab	Facultative
9	Torkman	Spring	20	Jolgeh	Winter
10	Sahra	Spring	21	Bahman	Winter
11	Oksin	Spring	-	-	-

جدول ۲- لیست صفات مورد بررسی

Table 2- The list of traits investigated

کد Code	صفت Traits	واحد Unit
A.	سطح (Area)	سانتی متر مربع (cm ²)
V.	حجم (Volume)	سانتی متر مکعب (cm ³)
H. / L. / W.	ارتفاع / طول / عرض (Height / Length / Width)	سانتی متر (cm)
N	تعداد (Number)	-
F. W. / D. W.	وزن تر / خشک (Fresh / Dry Weight)	گرم بر بوته (gr. plant ⁻¹)
T. Bio	بیوماس کل (Total Biomass)	گرم (gr)
R/Sh Ratio	نسبت ریشه به اندام هوایی (Root to Shoot Ratio)	-
TKW	وزن هزار دانه (Thousand Kernels Weight)	گرم (gr)
ALA	میانگین زاویه برگ (Average Leaf Angle)	درجه (°D)
SD	قطر ساقه (Stem Diameter)	میلی متر (mm)
RWC	محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content)	درصد (%)
SA	سطح روزنه (Stomata Area)	میکرومتر مربع (μm ²)
SL	طول روزنه (Stomata Length)	میکرومتر (μm)
SW	عرض روزنه (Stomata Width)	میکرومتر (μm)
SN	تعداد روزنه (Stomatal Frequency)	عدد در میلی متر مربع برگ (N per mm ²)
Pro.	محتوای پرولین (Proline Content)	میلی گرم بر گرم ماده خشک (mg.gr ⁻¹)
Carbo.	محتوای قند (Carbohydrate Content)	میلی گرم بر گرم ماده خشک (mg.gr ⁻¹)
Chl.T / Chl.a / Chl.b	غلظت کلروفیل کل، a، و b (Chlorophyll Total, a, b, Con)	میلی گرم بر گرم ماده خشک (mg.gr ⁻¹)
Caro	غلظت کاروتنوئید (Carotenoid Con)	میلی گرم بر گرم ماده خشک (mg.gr ⁻¹)
T	پنجه (Tiller)	-
P / L	بوته / برگ (Plant / Leaf)	-
U- / D-	روی برگ / زیر برگ (Adaxial / Abaxial Surface)	-

میزان جذب در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۹ و ۶۶۴ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. در نهایت براساس روابط (۲) تا (۵) مقادیر کلروفیل a و b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها محاسبه شد.

$$\text{Chl.a} = (13.36 \times A_{664}) - (5.19 \times A_{649}) \quad (2)$$

$$\text{Chl.b} = (27.43 \times A_{649}) - (8.12 \times A_{664}) \quad (3)$$

$$\text{Chl.Total} = (5.24 \times A_{664}) - (22.24 \times A_{649}) \quad (4)$$

$$C(x+c) = \frac{[(1000 \times A_{470}) - (2.13 \times \text{Chl. a}) - (97.64 \times \text{Chl. b})]}{209} \quad (5)$$

تجزیه و تحلیل‌های آماری

پس از انجام آزمون‌های یکنواختی واریانس‌ها و نرمال بودن توزیع داده‌ها، تجزیه واریانس، مقایسه میانگین به روش LSD در سطح احتمال پنج درصد و آنالیزهای آماری چندمتغیره شامل تجزیه به مولفه‌های اصلی، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد^۱ و آنالیز همبستگی توسط نرم‌افزار آماری JMP نسخه ۱۴ و رسم شکل‌ها توسط

نتایج و بحث

تجزیه واریانس

تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در دوره زایشی و مرحله برداشت نشان داد که ارقام از نظر کلیه صفات به جز خصوصیات روزنه روی برگ، طول روزنه زیر برگ، میانگین زاویه برگ و تعداد برگ در مرحله پنجه زنی با یکدیگر تفاوت معنی دار داشتند ($p < 0.05$ ، جدول ۳). در مرحله پنجه زنی به جز صفات سطح اندام هوایی، وزن خشک ریشه و محتوای کلروفیل کل از نظر سایر صفات بین ارقام تفاوت معنی دار وجود داشت ($p < 0.05$ ، جدول ۴). تجزیه واریانس در مرحله رسیدگی نشان داد که ارقام از نظر کلیه صفات مورد بررسی به جز طول ریشه با یکدیگر تفاوت معنی دار داشتند ($p < 0.05$ ، جدول ۵). این نتایج بیانگر تنوع بالای ارقام مورد ارزیابی است که انجام آنالیزهای بعدی را امکان پذیر می کند. در طول مرحله رشد زایشی و مرحله برداشت بیشترین درصد ضریب تغییرات به ترتیب در صفات سطح برگ ($22/8$)، تعداد پنجه ($18/7$) و طول برگ ($17/6$) و کمترین درصد ضریب تغییرات در صفات عرض روزنه زیر برگ ($6/7$) و وزن هزار دانه ($6/8$) مشاهده شد. در مرحله پنجه زنی بیشترین درصد ضریب تغییرات مربوط به صفات محتوای قند برگ ($45/9$)، حجم ریشه

($35/7$) و محتوای قند ریشه ($34/3$) و کمترین درصد ضریب تغییرات مربوط به صفت محتوای پروتئین برگ ($7/0$) بود. در مرحله رسیدگی بیشترین درصد ضریب تغییرات در صفات وزن تر ریشه ($75/9$)، وزن خشک ریشه ($62/5$) و محتوای قند ریشه ($61/3$) و کمترین درصد ضریب تغییرات در صفات ارتفاع اندام هوایی ($16/4$) و نسبت کلروفیل a/b ($19/5$) مشاهده شد. صفت نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بین ارقام مورد مطالعه در مرحله پنجه زنی و رسیدگی به ترتیب ضرایب تغییرات $25/1$ و $52/1$ درصدی را نشان دادند (داده‌ها نمایش داده نشده است).

تنوع بالای بین ارقام برای صفات، امکان انتخاب ارقام برتر جهت برنامه‌های به‌نژادی را فراهم می‌کند. صفات دارای تنوع پایین به جز در مواردی که این صفات عواملی مطلوب و تاثیرگذار در برنامه‌های به‌نژادی باشند، از شانس کمتری برای انتخاب در اصلاح این ارقام برخوردارند (Rezaeinia et al., 2022). وجود تنوع بین ژنوتیپ‌های جو از لحاظ صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و زراعی مشابه با صفات بررسی شده در این تحقیق در چندین مطالعه گزارش شده است (Hajjagha, Nouraein, & Hossienpour, 2019; Modarresi, Pourmohammad, & Sadeghzadeh, 2022). ونگ و همکاران (Wang et al., 2021) در ارزیابی تنوع ژنتیکی ۱۸۹ ژنوتیپ جو تنوع زیادی را در ۱۶ صفت از ۲۶ صفت اندازه‌گیری شده در ریشه و اندام هوایی مشاهده کردند.

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورفولوژیک جو در دوره رشد زایشی و مرحله برداشت

Table 3- Analysis of variance for morphological traits in different cultivars of barley during reproductive growth phase and harvest phase

S.O.V	Block		Cultivar		Error		C.V.
	d.f	MS	df	MS	d.f	MS	
U-SA	5	42.99*	20	20.10 ^{ns}	100	15.27	17.5
U-SL	5	0.967 ^{ns}	20	0.743 ^{ns}	100	0.628	10.8
U-SW	5	0.461*	20	0.252 ^{ns}	100	0.151	10.3
U-SN	5	0.157 ^{ns}	20	0.114 ^{ns}	100	0.071	3.5
D-SA	5	0.285 ^{ns}	20	0.285*	100	0.168	8.9
D-SL	5	0.903 ^{ns}	20	0.695 ^{ns}	100	0.631	10.3
D-SW	5	0.241 ^{ns}	20	0.395**	100	0.187	11.3
D-SN	5	0.171 ^{ns}	20	0.137*	100	0.078	3.8
SD	9	0.195 ^{ns}	20	0.565**	180	0.126	11.3
PH	9	49.99**	20	115.8**	180	18.17	10.2
ALA	9	0.196*	20	1.300 ^{ns}	180	0.092	10.3
NL	5	3.05 ^{ns}	20	4.066**	100	1.490	23.1
NLT	-	-	20	0.487 ^{ns}	105	0.421	19.3
RWC	2	33.60 ^{ns}	20	175.1**	40	63.35	13.7
LA	2	68.50**	20	33.86**	40	10.75	21.6
LL	2	72.09 ^{ns}	20	39.69**	40	13.98	18.1
LW	2	0.197 ^{ns}	20	0.062**	40	0.026	15.0
TKW	2	11.51**	20	25.63**	40	1.920	2.6
NT	-	-	20	1.593**	105	0.280	19.2

^{ns}، * و ** به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}، * and ** non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ارقام مختلف جو در مرحله پنجه‌زنی

Table 4- Analysis of variance for investigated traits in different cultivars of barley in the tillering stage

S.O.V	Block		Cultivar		Error		C.V.	
	d.f	MS	df	MS	d.f	MS		
Shoot	F. W.	6	0.337*	20	0.374**	120	0.110	19.6
	D. W.	-	-	20	0.022**	126	0.007	13.3
	H.	3	117.0**	20	77.83**	60	18.06	10.8
	A.	2	0.001**	20	0.0002 ^{ns}	40	0.0001	10.5
	V.	-	-	20	0.220**	63	0.087	10.9
Root	F. W.	6	0.196**	20	0.036**	120	0.015	14.6
	D. W.	6	0.022**	20	0.004 ^{ns}	120	0.003	19.4
	H.	-	-	20	79.57**	63	19.62	18.9
	V.	3	0.640**	20	0.205*	60	0.095	18.6
T. Bio	6	0.004 ^{ns}	20	0.008**	120	0.003	6.6	
R/Sh Ratio	F. W.	6	0.058**	20	0.022**	120	0.008	19.5
	D. W.	6	0.052**	20	0.014**	120	0.006	18.0
Pro. L.	2	0.004 ^{ns}	20	0.008**	40	0.003	7.4	
Pro. R.	-	-	20	0.023**	42	0.002	5.3	
CHO.L.	2	0.006 ^{ns}	20	0.127**	40	0.004	3.1	
CHO.R.	-	-	20	0.063**	42	0.015	6.3	
Chl. a	-	-	20	0.106*	42	0.049	18.8	
Chl. b	-	-	20	0.068**	42	0.017	16.2	
Caro	-	-	20	0.008**	42	0.002	16.7	
Chl.T	-	-	20	0.340 ^{ns}	42	0.203	19.8	
Chl. a/b	-	-	20	0.085**	42	0.032	12.1	
a/Caro	-	-	20	0.056*	42	0.025	7.7	

^{ns}, * and ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۵- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی در ارقام مختلف جو در مرحله رسیدگی

Table 5- Analysis of variance for investigated traits in different cultivars of barley in heading stage

S.O.V	Block		Cultivar		Error		C.V.	
	d.f	MS	df	MS	d.f	MS		
Shoot	F. W.	2	0.046 ^{ns}	20	0.568**	42	0.119	16.3
	D. W.	-	-	20	0.067*	63	0.019	14.9
	H.	-	-	20	201.3*	42	92.67	19.1
	A.	2	1.121**	20	0.442**	40	0.140	9.1
	V.	2	0.641*	20	0.335*	40	0.152	19.6
Root	F. W.	-	-	20	0.144**	42	0.019	14.8
	D. W.	3	0.082 ^{ns}	20	0.259**	60	0.044	19.4
	H.	-	-	20	27.03 ^{ns}	42	14.25	20.2
	V.	-	-	20	0.237**	42	0.047	19.6
T. Bio	6	0.004 ^{ns}	20	0.008**	63	0.023	15.3	
R/Sh Ratio	F. W.	-	-	20	0.029**	42	0.002	10.5
	D. W.	3	0.001 ^{ns}	20	0.031**	60	0.001	6.0
Pro. L.	-	-	20	0.203**	42	0.003	5.9	
Pro. R.	-	-	20	0.023**	42	0.002	5.3	
CHO.L.	-	-	20	14912**	42	500.5	17.2	
CHO.R.	2	0.190**	20	0.255**	42	0.018	8.0	
Chl. a	-	-	22	0.062**	40	0.005	6.2	
Chl. b	-	-	20	0.148**	42	0.013	11.4	
Caro	-	-	20	0.051**	42	0.004	11.5	
Chl.T	-	-	20	0.315**	42	0.028	10.6	
Chl. a/b	-	-	20	0.044**	42	0.013	9.2	
a/Caro	-	-	20	0.175**	42	0.053	11.0	

^{ns}, * and ** به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

^{ns}, * and ** non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

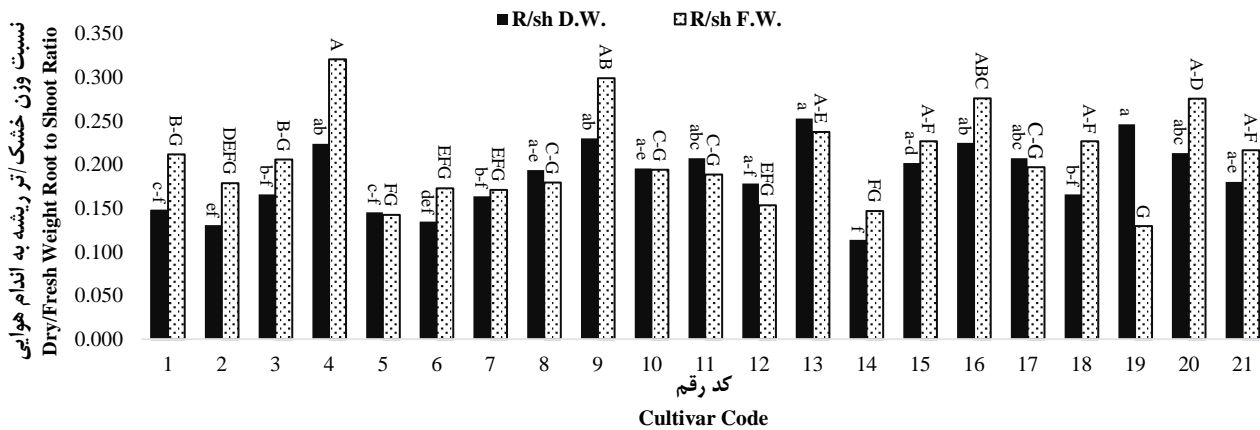
اندام هوایی و ارتفاع بوته ۲۵ درصد و تعداد پنجه ۳۴ درصد بود. این نتایج تا حدودی با ضرایب تغییرات صفات ارتفاع اندام هوایی و حجم

ضریب تغییرات گزارش شده برای صفات نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی ۱۷ درصد، طول ریشه ۲۲ درصد، وزن خشک ریشه،

مرحله رسیدگی بالاترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در رقم ۲۰ (۰/۳۶) و پایین‌ترین نسبت در رقم ۱۴ (۰/۰۵) مشاهده شد (شکل ۲). در بین ارقام مذکور به‌جز رقم ۲۰، نتایج نشان داد که نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در ارقام ۱۳، ۱۴ و ۱۹ در مرحله رسیدگی نسبت به مرحله پنجه‌زنی به‌ترتیب با ۵۶، ۵۴ و ۳۶ درصد کاهش همراه بوده است. آسچ و همکاران نیز کاهش نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی از ۰/۲ به ۰/۱-۰/۰۵ در طی فصل رشد را گزارش کردند (Asch, Dingkuhn, Sow, & Audebert, 2004). احتمالاً این روند به دلیل تخصیص متفاوت مواد فتوسنتزی در مراحل رشد رویشی و ابتدای رشد زایشی نسبت به مرحله انتهایی آن است (Yu, Lo, & Ho, 2015).

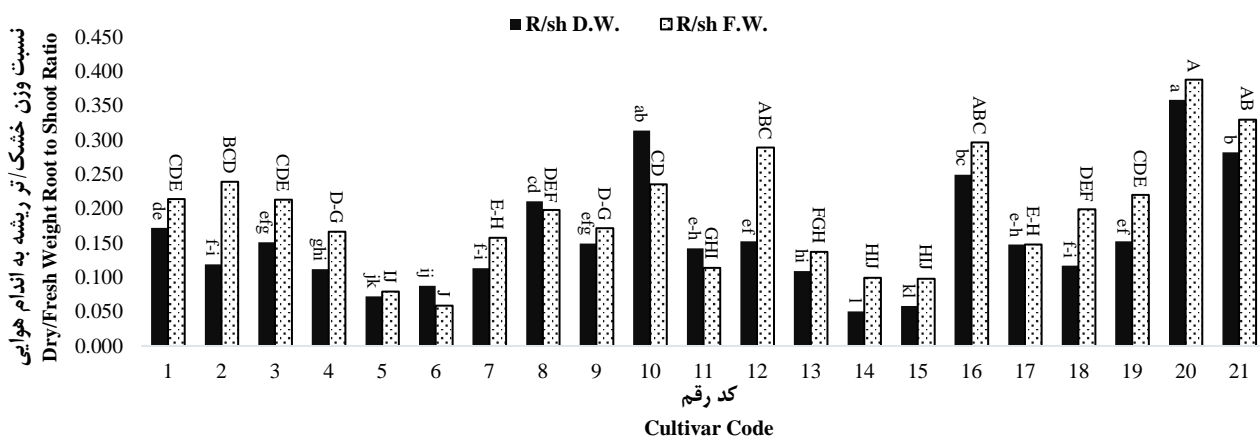
ریشه در مرحله پنجه‌زنی و وزن خشک اندام هوایی در مرحله رسیدگی مطابقت دارد. تفاوت در نوع و تعداد ارقام مورد بررسی و مراحل ارزیابی صفات را می‌توان از دلایل تفاوت ضریب تغییرات سایر صفات در نظر گرفت. زالی و براتی (Zali & Brati, 2020) ضریب تغییرات ۸/۷ درصدی را برای صفت وزن هزار دانه و ۹/۴ درصدی برای صفت ارتفاع بوته مشاهده کردند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

مقایسه میانگین ارقام برای صفات نسبت وزن تر و خشک ریشه به اندام هوایی در مراحل پنجه‌زنی و رسیدگی به‌ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ آمده است. در مرحله پنجه‌زنی ارقام ۱۳ (۰/۲۵) و ۱۹ (۰/۲۴) دارای بالاترین و رقم ۱۴ (۰/۱۱) دارای پایین‌ترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در بین ارقام مورد مطالعه بودند (شکل ۱).



شکل ۱- مقایسه میانگین صفات نسبت وزن خشک / وزن تر ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف جو در مرحله پنجه‌زنی (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 1- Mean comparison of dry/fresh weight root-to-shoot ratio in different cultivars of barley in the tillering stage (Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% probability level on the base of the LSD Test).



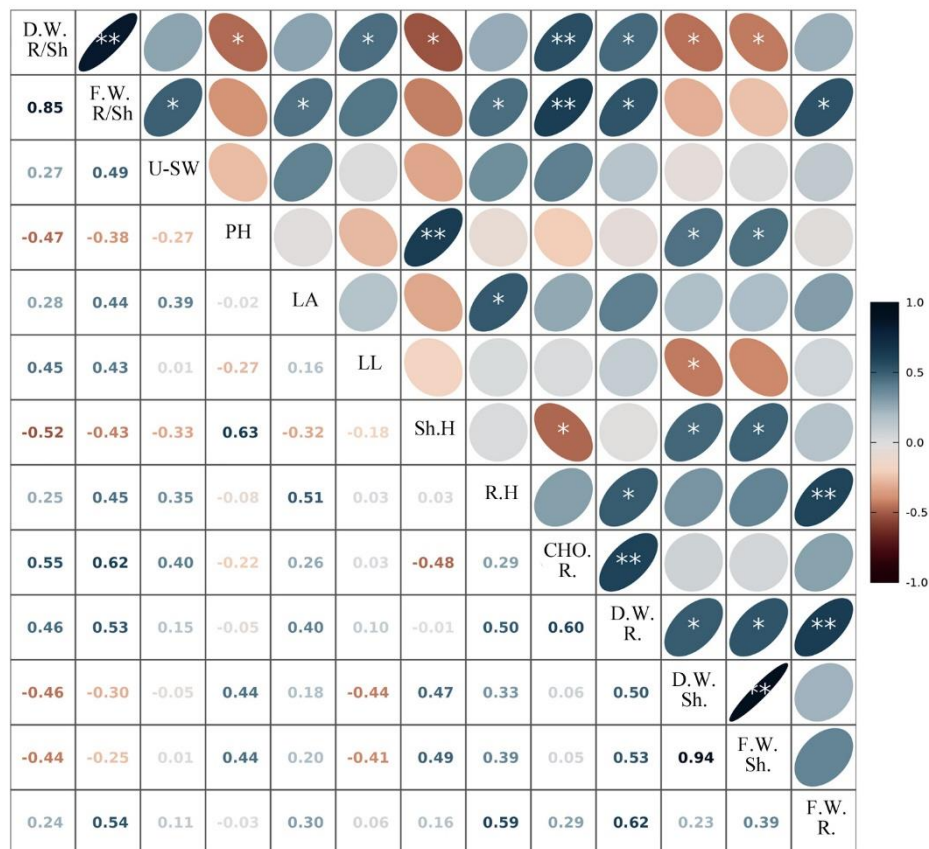
شکل ۲- مقایسه میانگین صفات نسبت وزن خشک / وزن تر ریشه به اندام هوایی در ارقام مختلف جو در مرحله رسیدگی (ستون‌های با حداقل یک حرف مشترک براساس آزمون LSD در از نظر آماری در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند).

Figure 2- Mean comparison of dry/fresh weight root-to-shoot ratio in different cultivars of barley in the heading stage (Columns with at least one similar letter have no significant difference at 5% probability level on the base of the LSD Test).

آنالیز همبستگی و تجزیه علیت

همبستگی صفات در مرحله پنجه‌زنی نشان داد که محتوای قند ریشه (۰/۵۵)، وزن خشک ریشه (۰/۴۶) و طول برگ (۰/۴۵) به ترتیب دارای بالاترین ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار و ارتفاع اندام هوایی (۰/۵۲)، ارتفاع بوته در طول فاز زایشی (۰/۴۷)، وزن خشک

اندام هوایی (۰/۴۶) و وزن تر اندام هوایی (۰/۴۴) به ترتیب دارای بالاترین ضرایب همبستگی منفی و معنی‌دار با نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی هستند (۰/۰۵ < p). بین نسبت وزن خشک و تر ریشه به اندام هوایی همبستگی مثبت و معنی‌دار (۰/۸۴) مشاهده شد (۰/۰۵ < p، شکل ۳).



شکل ۳- همبستگی نسبت وزن تر/خشک ریشه به اندام هوایی با صفاتی که با این نسبت‌ها در مرحله پنجه‌زنی همبستگی معنی‌دار دارند.
Figure 3- Correlation between dry/ fresh weight R/Sh ratio with traits that had a significant correlation with these ratios in the tillering stage

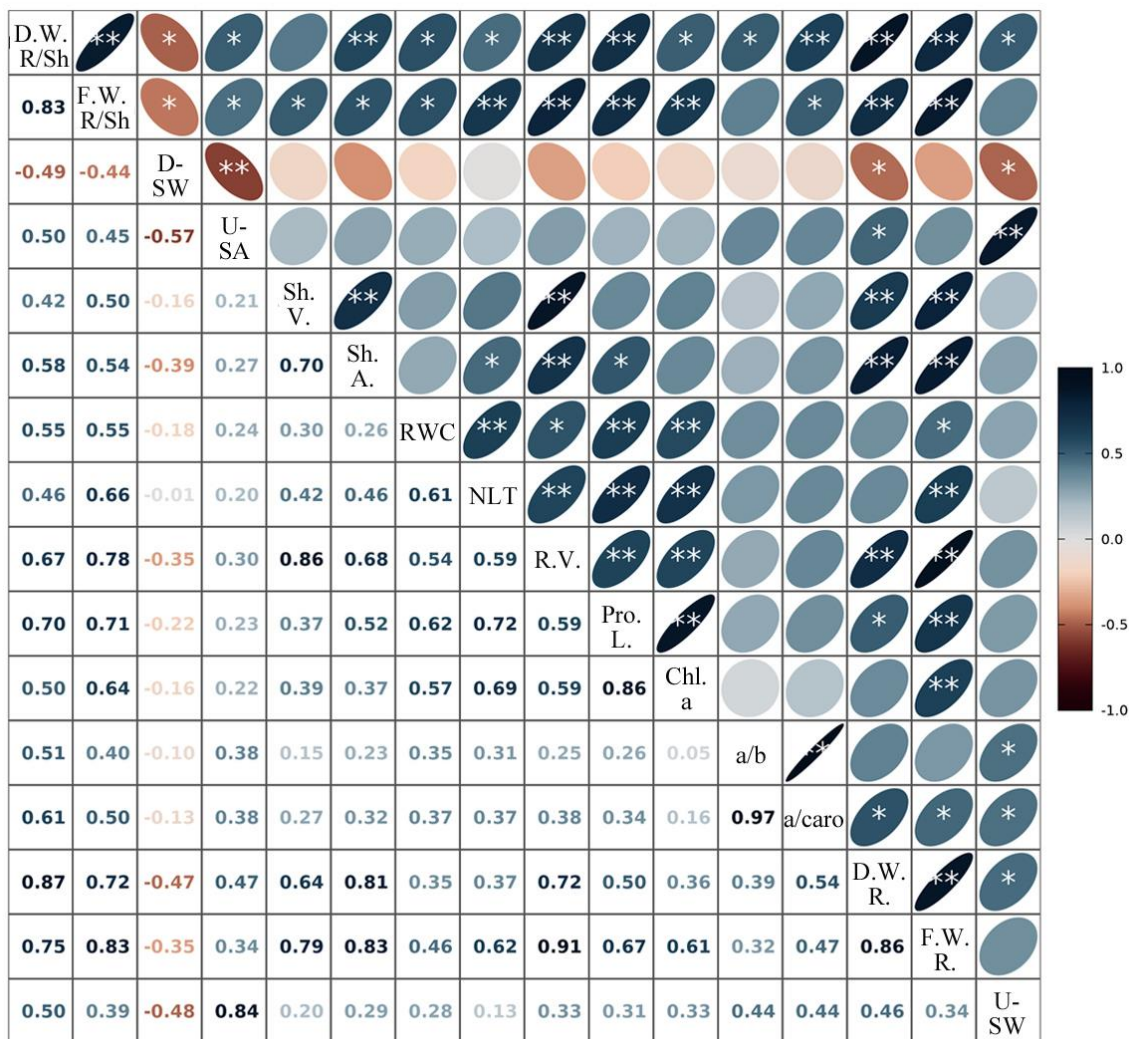
معنی‌دار (۰/۸۷) را نشان دادند (۰/۰۵ < p، شکل ۴). بین نسبت‌های وزن تر و خشک ریشه به اندام هوایی در مراحل پنجه‌زنی و رسیدگی همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

براساس نتایج حاصل از آنالیز همبستگی با توجه به این که محتوای قند ریشه و وزن خشک ریشه در مرحله پنجه‌زنی و صفات وزن خشک و تر ریشه، پرولین برگ و حجم ریشه در مرحله رسیدگی دارای بالاترین همبستگی معنی‌دار با نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی هستند چنین استنباط می‌شود که این صفات دارای اهمیت می‌باشند. ژو و همکاران (Xu et al., 2015) گزارش کردند که بین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و محتوای قندهای محلول

همبستگی بین صفات در مرحله رسیدگی نشان داد که وزن خشک ریشه (۰/۸۷)، وزن تر ریشه (۰/۷۵)، پرولین برگ (۰/۷۰)، حجم ریشه (۰/۶۷)، نسبت کلروفیل a به کاروتنوئید (۰/۶۱)، سطح اندام هوایی (۰/۵۸)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۵۴)، نسبت کلروفیل a به b (۰/۵۰)، عرض و سطح روزنه روی برگ (۰/۵۰)، محتوای کلروفیل a (۰/۴۹) و تعداد برگ در مرحله پنجه‌زنی (۰/۴۵) به ترتیب دارای بالاترین ضرایب همبستگی مثبت و معنی‌دار و صفت تعداد روزنه زیر برگ (۰/۴۹) دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی هستند (۰/۰۵ < p). نسبت وزن خشک و تر ریشه به اندام هوایی با یکدیگر همبستگی مثبت و

وجود نواحی همپوشان در QTL هایی است که بر صفات نسبت ریشه به هوایی، طول ریشه و وزن خشک ریشه تاثیر منفی و بر صفت ارتفاع اندام هوایی تاثیر مثبت می گذارند (Arifuzzaman et al., 2014). طبق نتایج، صفاتی همچون سطح اندام هوایی، تعداد برگ، محتوای نسبی آب برگ، خصوصیات مرتبط با روزنه‌ها و رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌عنوان عواملی که همگی بر فتوسنتز تاثیرگذار هستند با نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در مرحله رسیدگی همبستگی مثبت دارند که این موضوع می‌تواند بیانگر افزایش تولید محصولات فتوسنتزی و به دنبال آن تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به ریشه باشد.

ریشه همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. شواهد ارزیابی‌های متابولیکی در دو گونه مدل از گیاهان سه کربنه در شرایط محیطی کنترل شده بیانگر غلظت بالای پرولین در اندام هوایی و غلظت بالای قندهای محلول در ریشه بود (Gargallo et al., 2014). در این مطالعه مشخص شد که ارقام متضاد به لحاظ صفت نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در مرحله رسیدگی، وزن هزار دانه متفاوتی داشتند. چندین مطالعه روابط منفی بین نسبت ریشه به اندام هوایی و عملکرد دانه در غلات را نشان داده‌اند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Vain et al., 2023). همان‌طور که در این تحقیق نشان داده شده است بین ارتفاع اندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی رابطه منفی وجود دارد. نتایج مطالعات حاکی از



شکل ۴- همبستگی نسبت وزن تر/خشک ریشه به اندام هوایی با صفاتی که با این نسبت‌ها در مرحله رسیدگی همبستگی معنی‌دار دارند.
Figure 4- Correlation between dry/ fresh weight R/Sh ratio with traits that had a significant correlation with these ratios in the heading stage

داشتند. صفت ارتفاع اندام هوایی دارای اثر مستقیم (۰/۱۲-) بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بود. بیشترین اثر غیرمستقیم برای این صفت از طریق محتوای قند ریشه (۰/۲۱-) مشاهده شد (جدول ۶).

نتایج تجزیه علیت در مرحله پنجه‌زنی نشان داد که در بین صفات، محتوای قند ریشه بالاترین اثر مستقیم (۰/۴۴) را بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی دارد و اثر غیرمستقیم سایر صفات بر این صفت ناچیز بود. پس از آن صفت طول برگ دارای اثر مستقیم بالایی (۰/۳۶) بود و سایر صفات بر این صفت اثر غیرمستقیم ناچیز

جدول ۶- تجزیه علیت برای نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در ارقام جو در مرحله پنجه‌زنی
Table 6- Path analysis for dry weight root-to-shoot ratio of barley cultivars in tillering stage

صفت Trait	ضریب همبستگی Correlation Coeff.	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect via			
			PH	LL	Sh.H.	CHO.R.
PH	-0.470	-0.199	-	-0.099	-0.076	-0.096
LL	0.450	0.363	0.054	-	0.022	0.011
Sh.H.	-0.522	-0.122	-0.125	-0.065	-	-0.211
CHO.R.	0.553	0.442	0.043	0.009	0.058	-

ریشه به اندام هوایی تاثیرگذار است. در مرحله رسیدگی محتوای پروتئین برگ به طریق مستقیم (۰/۸۸) بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی تاثیر داشت. این صفت همچنین به ترتیب دارای بالاترین تاثیر غیرمستقیم از طریق صفات محتوای کلروفیل a (۰/۷۷)، تعداد برگ در مرحله پنجه‌زنی (۰/۶۴)، محتوای نسبی آب برگ (۰/۵۵)، حجم ریشه (۰/۵۳)، سطح اندام هوایی (۰/۴۶) و تعداد روزنه زیر برگ (۰/۱۹-) بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بود (جدول ۷).

نتایج تجزیه علیت در مرحله رسیدگی نشان داد که صفت نسبت کلروفیل a به کاروتنوئید دارای بالاترین اثر مستقیم (۱/۲۸) بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بود که بالاترین اثرات غیرمستقیم این صفت از طریق صفات نسبت کلروفیل a به b (۱/۰۴-) و محتوای پروتئین برگ در مرحله رسیدگی (۰/۳۰) بود. سایر صفات بر این صفت تاثیر غیرمستقیم ناچیز داشتند. این صفت همچنین به طریق غیرمستقیم از طریق صفات نسبت کلروفیل a به b (۱/۲۴)، عرض روزنه (۰/۵۷) و سطح روزنه روی برگ (۰/۴۹) بر نسبت وزن خشک

جدول ۷- تجزیه علیت برای نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در ارقام جو در مرحله رسیدگی
Table 7- Path analysis for dry weight root-to-shoot ratio in different cultivars of barley in heading stage

صفت Trait	ضریب همبستگی Correlation	اثر مستقیم Direct effect	اثر غیرمستقیم از طریق Indirect effect via										
			D-SN	U-SA	U-SW	NLT	RWC	Sh. A	R.V.	Pro. L.	Chl. a	a/b	a/caro
D-SN	-0.492	-0.145	-	-0.119	-0.002	0.002	-0.027	0.026	-0.074	-0.192	0.090	0.111	-0.160
U-SA	0.499	0.208	0.083	-	0.004	-0.030	0.036	-0.018	0.064	0.200	-0.128	-0.407	0.486
U-SW	0.502	0.005	0.070	0.175	-	-0.020	0.041	-0.019	0.071	0.276	-0.190	-0.478	0.570
NLT	0.458	-0.153	0.002	0.041	0.001	-	0.090	-0.030	0.127	0.641	-0.396	-0.336	0.473
RWC	0.547	0.148	0.026	0.051	0.001	-0.094	-	-0.017	0.115	0.548	-0.327	-0.377	0.472
Sh.A.	0.582	-0.066	0.057	0.057	0.001	-0.071	0.038	-	0.145	0.465	-0.212	-0.250	0.416
R.V.	0.672	0.214	0.050	0.062	0.002	-0.091	0.079	-0.045	-	0.528	-0.337	-0.274	0.483
Pro. L.	0.702	0.887	0.031	0.047	0.002	-0.111	0.091	-0.035	0.127	-	-0.496	-0.282	0.440
Chl. a	0.496	-0.574	0.023	0.046	0.002	-0.106	0.084	-0.024	0.126	0.767	-	-0.057	0.210
a/b	0.505	-1.076	0.015	0.079	0.002	-0.048	0.052	-0.015	0.054	0.233	-0.031	-	1.241
a/caro	0.607	1.282	0.018	0.079	0.002	-0.057	0.054	-0.021	0.081	0.305	-0.094	-1.041	-

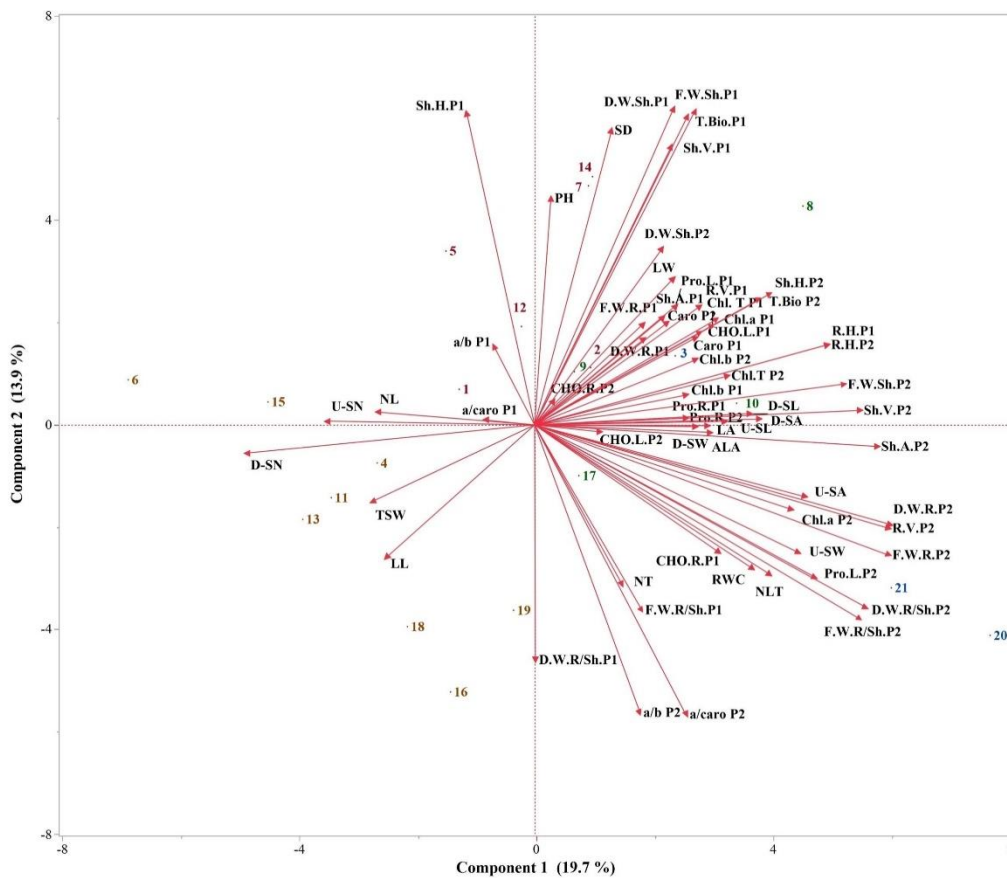
نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، در انتخاب ارقام دارای نسبت بالای وزن خشک ریشه به اندام هوایی جهت برنامه‌های به‌نژادی از اهمیت بالایی برخوردارند.

تجزیه به مولفه‌های اصلی

نتایج حاصل از تجزیه علیت، نتایج به‌دست‌آمده از آنالیز همبستگی را تایید نمود. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که محتوای قند ریشه در مرحله پنجه‌زنی و نسبت کلروفیل a به کاروتنوئید و محتوای پروتئین برگ در مرحله رسیدگی به دلیل داشتن بالاترین اثر مستقیم و اثرات غیرمستقیم از طریق سایر صفات بر

ارقام دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار با نسبت‌های وزن تر و خشک ریشه به اندام هوایی در مرحله رسیدگی هستند ($p < 0.05$). دومین مؤلفه اصلی که ۱۳/۹۰ درصد کل تغییرات را توجیه می‌کند شامل ارقامی است که با صفات مورفولوژیکی مرتبط با اندام هوایی در مرحله پنجه‌زنی بیشترین ارتباط را دارند. این ارقام دارای همبستگی منفی و معنی‌دار با نسبت ریشه به اندام هوایی در هر دو مرحله بودند ($p < 0.05$). (شکل ۵).

ارتباط بین صفات مختلف با استفاده از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در نمودار بای پلات با دو مؤلفه اصلی اول در شکل ۵ آورده شده است. براساس نتایج مشخص شد که مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در مجموع ۳۳/۶۳ درصد و هفت مؤلفه اصلی اول مجموعاً ۷۲/۶۶ درصد از کل تغییرات را توجیه می‌کنند. اولین مؤلفه اصلی که ۱۹/۷۵ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کند شامل ارقامی است که بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را با صفات مورفولوژیکی در مرحله رسیدگی به‌ویژه صفات مرتبط با ریشه و محتوای پروتئین برگ و همبستگی منفی و معنی‌دار را با تعداد روزنه دارند ($p < 0.05$). این



شکل ۵- آنالیز بای پلات تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای ارقام مختلف جو براساس صفات مورد بررسی
Figure 5- Biplot analysis of PCA for different cultivars of barley based on the studied traits

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان دادند که چهار مؤلفه اصلی ۷۹/۵ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کند به طوری که مؤلفه اول مربوط به صفات مرتبط با قدرت رشد اندام هوایی و ریشه و مؤلفه اصلی دوم با وزن خشک ریشه مرتبط بودند که تا حدی با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با استفاده از صفات ریشه و اندام هوایی در سورگوم نشان داد که سه جزء اصلی اول به‌ترتیب ۲۳/۸، ۱۵/۳ و ۱۰/۱ درصد از تغییرات کل را توجیه می‌کنند به طوری که صفات طول ریشه، وزن تر و خشک ریشه و نسبت ریشه

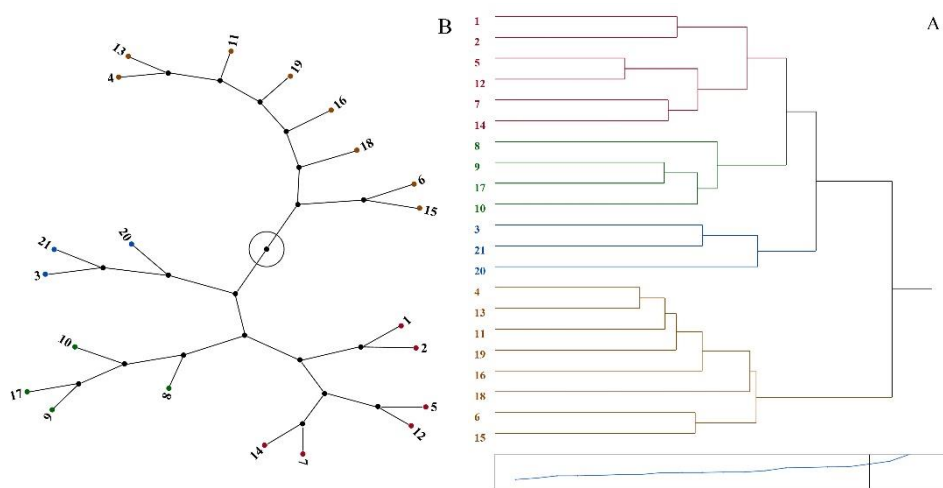
آنالیز همبستگی ممکن است به‌تنهایی اطلاعات کاملی در مورد روابط صفات مختلف فراهم نکند (Rezaeinia et al., 2022). بنابراین به دلیل مزایای روش‌های آماری چندمتغیره و برای درک عمیق ساختار داده‌ها در مطالعه حاضر از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد تا مهم‌ترین صفات موثر بر نسبت ریشه به اندام هوایی را شناسایی کند و گروه‌هایی از صفات که بیشترین همبستگی درون گروهی را دارند و با دیگر گروه‌ها کمترین همبستگی را دارند مشخص شوند. وانگ و همکاران (Wang et al., 2021) با استفاده از

۵، ۷، ۱۲ و ۱۴ در کلاستر اول، ارقام ۸، ۹، ۱۰ و ۱۷ در کلاستر دوم، ارقام ۳، ۲۰ و ۲۱ در کلاستر سوم و ارقام ۴، ۶، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۶، ۱۸ و ۱۹ در کلاستر چهارم قرار گرفتند به طوری که کلاسترهای چهارم و دوم در مرحله پنجه‌زنی و کلاسترهای سوم و دوم در مرحله رسیدگی دارای بالاترین و کلاستر اول در هردو مرحله دارای پایین‌ترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بودند (شکل ۶). نتایج حاصل از تجزیه خوشه‌ای تا حد زیادی با نتایج حاصل از بای‌پلات ترسیم‌شده به وسیله مولفه‌های اصلی اول و دوم مطابقت داشت.

به اندام هوایی در یک ناحیه، خصوصیات برگ در یک ناحیه و صفات اندام هوایی در یک ناحیه قرار گرفتند که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Dureoso et al., 2023).

تجزیه خوشه‌ای

به منظور دسته‌بندی ارقام مورد مطالعه براساس صفات مورد بررسی تجزیه خوشه‌ای انجام شد. براساس نتایج حاصل از کلاستر بندی، ارقام مورد مطالعه در چهار گروه قرار گرفتند. ارقام ۱، ۲،



شکل ۶- دندروگرام (A) و نمودار صورت فلکی (B) حاصل از تجزیه خوشه‌ای به روش Ward در ارقام مختلف جو

Figure 6- Dendrogram (A) and constellation diagram (B) obtained from Ward's cluster analysis in different cultivars of barley

تجزیه خوشه‌ای در کلاس‌های متفاوتی مشاهده شدند می‌توانند در برنامه‌های به‌نژادی برای اصلاح و تولید ارقامی با نسبت ریشه به اندام هوایی بالاتر، عملکرد مطلوب و سازگارتر به محیط‌های خاص مورد استفاده قرار گیرند.

سپاسگزاری

از همکاری معاونت محترم پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد به جهت تامین اعتبار این پروژه مرتبط با رساله دکتری و موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج به جهت تامین بذر ارقام مورد مطالعه صمیمانه قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

این مطالعه تنوع ژنتیکی در نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در مراحل مختلف رشد زایشی در مجموعه‌ای از ارقام جو را نشان داد. براساس آنالیز همبستگی صفات محتوای قند و وزن خشک ریشه در مرحله پنجه‌زنی و محتوای پروتئین برگ، وزن خشک، وزن تر و حجم ریشه از جمله مهم‌ترین صفات موثر بر نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی بودند که این نتایج تا حدی با نتایج حاصل از تجزیه علیت تایید شد. با توجه به این که ارقام جلگه و ریجان به ترتیب دارای بالاترین و پایین‌ترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در دو مرحله مورد بررسی بودند و در بای‌پلات ترسیم‌شده براساس دو مولفه اصلی اول در بعدهای مختلفی قرار گرفتند و همچنین براساس

References

1. Abarnak, S., Zarei, L., & Cheghamirza, K. (2020). Comparison of Current Iranian and European Barley Cultivars for Different Agronomic and Laboratory Traits in Temperate Rainfed Conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 8(2), 177-197. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/idaj.2019.126673.261>
2. Afshari, S. B., Akbari, G. A., Shahbazi, M., & Alahdadi, I. (2014). Relations between Barley Root Traits and Osmotic Adjustment under Terminal Drought Stress. *Journal of Agricultural Science*, 6(7), 112.

- <https://doi.org/10.5539/jas.v6n7p112>
3. Arifuzzaman, M., Sayed, M. A., Muzammil, S., Pillen, K., Schumann, H., Naz, A. A., & Leon, J. (2014). Detection and Validation of Novel QTL for Shoot and Root Traits in Barley (*Hordeum Vulgare* L.). *Molecular Breeding*, 34, 1373-1387. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0122-3>
 4. Asch, F., Dingkuhn, M., Sow, A., & Audebert, A. (2005). Drought-Induced Changes in Rooting Patterns and Assimilate Partitioning Between Root and Shoot in Upland Rice. *Field Crops Research*, 93(2-3), 223-236. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2004.10.002>
 5. Bates, L. S., Waldren, R. P. A., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, 39, 205-207. <https://doi.org/10.1007/BF00018060>
 6. Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350-356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
 7. Duresso, M. E., Lule, D., Tirfessa, A., Gelmessa, D., Tesso, T., Menamo, T., & Serba, D. D. (2023). Genetic Diversity in Ethiopian Sorghum Germplasm for Root System Architecture and Trait Association. *Rhizosphere*, 27, 100759. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100759>
 8. Elakhdar, A., Solanki, S., Kubo, T., Abed, A., Elakhdar, I., Khedr, R., & Qualset, C. O. (2022). Barley with Improved Drought Tolerance: Challenges and Perspectives. *Environmental and Experimental Botany*, 201, 104965. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104965>
 9. FAO. (2021). FAO database collection. Available online at: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
 10. Gargallo-Garriga, A., Sardans, J., Perez-Trujillo, M., Rivas-Ubach, A., Oravec, M., Vecerova, K., & Penuelas, J. (2014). Opposite Metabolic Responses of Shoots and Roots to Drought. *Scientific Reports*, 4(1), 6829. <https://doi.org/10.1038/srep06829>
 11. Ghabooli, M., & Mondani, F. (2016). Effects of *P. Indica* on the Biomass, Proline, Starch and Soluble Sugars in Barley (*Hordeum Vulgare* L.) under Drought Stress. *Biological, Environmental and Agricultural Sciences*, 1, 19-27.
 12. Hajiagha, L. F., Nouraein, M., & Hossienpour, T. (2019). Investigation of Diversity and Classification of Some Barley Lines using Physiological and Morphological Characteristics. *Journal of Crop Breeding*, 11(29), 169-180. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/jcb.11.29.169>
 13. Koocheki, A., & Sarmadnia, G. (1999). *Physiology of Crop Plants*. Jihad-e- Daneshgahi Press, Mashhad (in Persian).
 14. Lichtenthaler, H. K. (1987) Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350-382. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
 15. Modarresi, R., Pourmohammad, A., & Sadeghzadeh, B. (2022). Evaluation of Genetic Diversity of Spring Barley Genotypes with Respect to Some Phenological and Morphological Traits. *Crop Science Research in Arid Regions*, 4(1), 197-212. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2022.343913.1242>
 16. Moghaddam, M., Mazinani, M. A., Alavinia, S. S., Shakiba, M., Mehrabi, A., & Pouraboughaddareh, A. (2012). Study of Genetic Diversity in *T. Boeoticum* Populations under Normal and Water Deficit Stress Conditions. *Cereal Research*, 2(1), 17-30. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.22520163.1391.2.1.2.2>
 17. Mokany, K., Raison, R. J., & Prokushkin, A. S. (2006). Critical Analysis of Root: Shoot Ratios in Terrestrial Biomes. *Global Change Biology*, 12(1), 84-96. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2005.001043.x>
 18. Rezaeina, M., Bihanta, M. R., Peighambari, S. A., Abbsi, A. R., & Ataei, R. (2022). Evaluation the Diversity of Agro-Morphological Traits of Barley under Optimal and Limited Irrigation Conditions and Grouping its Foreign Germplasm Using Multivariate Statistical Methods. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 53(3), 121-133. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2021.320026.654809>
 19. Rizi, M. S., & Mohammadi, M. (2023). Breeding Crops for Enhanced Roots to Mitigate Against Climate Change without Compromising Yield. *Rhizosphere*, 26, 100702. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100702>
 20. Soltani, A., & Faraji, A. (2011). *Soil Water & Plant Relationship*. Jihad-e- Daneshgahi Press, Mashhad. (in Persian).
 21. Vain, S., Tamm, I., Tamm, U., Annusver, M., & Zobel, K. (2023). Negative Relationship between Topsoil Root Production and Grain Yield in Oat and Barley. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 349, 108467. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108467>
 22. Wang, J., Chen, Y., Zhang, Y., Ai, Y., Feng, Y., Moody, D., Diggle, A., Damon, P., & Rengel, Z. (2021). Phenotyping and Validation of Root Morphological Traits in Barley (*Hordeum vulgare* L.). *Agronomy*, 11(8), 1583; <https://doi.org/10.3390/agronomy11081583>
 23. Xu, W., Cui, K., Xu, A., Nie, L., Huang, J., & Peng, S. (2015). Drought Stress Condition Increases Root to Shoot Ratio Via Alteration of Carbohydrate Partitioning and Enzymatic Activity in Rice Seedlings. *Acta Physiologiae Plantarum*, 37, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-014-1760-0>
 24. Yu, S. M., Lo, S. F., & Ho, T. H. D. (2015). Source-Sink Communication: Regulated by Hormone, Nutrient, and

Stress Cross-Signaling (a Review). *Trends in Plant Science*, 20(12), 844-857.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.10.009>

25. Zali, H., & Barati, A. (2020). Evaluation of Selection Index of Ideal Genotype (SIIG) in other to Selection of Barley Promising Lines with High Yield and Desirable Agronomy Traits. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 93-104. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.93>

Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Physiological Indices and Induction of Terminal Heat Stress Tolerance of Quinoa in Ahvaz

S. Ghalambaz¹, H. Roshanfekr^{2*}, A. Rahnama Ghahfarokhi², A. Monsefi³

1- PhD. Student of Agrotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Associate Professor of Department of Production Engineering and Plant Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3- Assistant Professor of Department of Production Engineering and Plant Genetics, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: h.roshanfekr@scu.ac.ir)

Received: 21 October 2023
Revised: 27 January 2024
Accepted: 12 February 2024
Available Online: 14 May 2024

How to cite this article:

Ghalambaz, S., Roshanfekr, H., Rahnama Ghahfarokhi, A., & Monsefi, A. (2024). Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Physiological Indices and Induction of Terminal Heat Stress Tolerance of Quinoa in Ahvaz. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 137-154. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84530.1275>

Introduction

Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) is a dicotyledonous, allotetraploid, three-carbon, annual, optional salt-loving plant and is native to South America and the Andean highlands. The growth period of the plant varies between 70 and 240 days depending on the cultivated area. The main product of this plant is the seed, which has a high nutritional value in terms of protein, amino acid balance, unsaturated fat, vitamins, and minerals. Like other plants, quinoa faces various environmental stresses during its growth period, and its growth and yield are a function of environmental factors and their mutual effects. The occurrence of high temperatures during the sensitive stages of plant growth, such as flowering and seed formation, may cause a significant decrease in quinoa yield, and high temperature has been cited as one of the most important challenges for the cultivation and expansion of quinoa in the world. Salicylic acid acts as a signal molecule and plays an important role in regulating growth and development processes in plants under environmental stress. Salicylic acid increases the content of relative humidity, accumulation of dry matter, and the amount of chlorophyll.

Materials and Methods

The objective of this research is to assess the physiological responses of quinoa cultivars to varying planting dates and the impact of foliar application of salicylic acid in mitigating the adverse effects of end-of-season heat stress during the 2021-2022 crop year. The study was conducted at the research farm of the Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, using a split-split plot design within a randomized complete block framework, with three replications. In this experiment, three factors a) planting date including October 12, November 11, and December 11, and b) foliar application of salicylic acid in the two stages of budding and the beginning of flowering including non-application, 1.5 mM and 3 mM and c) Quinoa cultivars including Titicaca, Giza, Q12 and Redcarin were investigated.

Results and Discussion

The effect of investigated factors such as planting date, salicylic acid, and variety on different traits had statistically significant differences. The results showed that the maximum amount of stomatal conductance and



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.84530.1275>

the relative content of leaf water belonged to the date of October 12. The highest biological yield and seed yield were observed under conditions of application of 1.5 and 3 mM salicylic acid, respectively. Probably, salicylic acid has increased the growth and accumulation of dry matter by improving carbon fixation, synthesis of metabolites, and maintaining the water status of plant tissues. Based on the results of the comparison of the mean of the three-way interaction, the maximum amount of biological yield and seed as the most important goals of quinoa plant cultivation, respectively, in the treatment of not using salicylic acid in the Redcarin cultivar on the planting date of December 11 and the application of 3 mM salicylic acid was obtained in the variety Redcarin on the planting date of October 12. The highest rate of net assimilation and the growth rate of the product belonged to the treatments of no application of salicylic acid in the Redcarin cultivar on December 11 and no application of salicylic acid in the Giza cultivar on October 12, respectively. The treatment of not using salicylic acid in the Redcarin variety on the planting date of October 12 was also able to achieve a high harvest index.

Conclusion

According to the obtained results, it seems that to achieve a high seed yield of quinoa, it is possible to benefit from the treatment of 3 mM salicylic acid in the Redcarin variety on the planting date of October 12.

Keywords: Harvest index, Greenness index, Grain yield, Stomatal conductance

اثر محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و القای تحمل به گرمای انتهای فصل کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز

سیما قلمباز^۱، حبیب اله روشنفکر^{۲*}، افراسیاب راهنما قهفرخی^۲، علی منصفی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۳

چکیده

این پژوهش به منظور ارزیابی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک ارقام کینوا به تاریخ کاشت و تاثیر محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک بر کاهش اثرات سوء تنش گرمای پایان فصل، در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. در این آزمایش سه عامل الف) تاریخ کاشت شامل ۲۰ مهر، ۲۰ آبان و ۲۰ آذر به‌عنوان فاکتور اصلی و ب) محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در سه سطح شامل عدم کاربرد، ۱/۵ میلی‌مولار و ۳ میلی‌مولار به‌عنوان فاکتور فرعی و ج) ارقام کینوا شامل Q12، Giza، Titicaca و Redcarin به‌عنوان فاکتور فرعی مورد بررسی قرار گرفتند. بیشترین شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول به تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در رقم Giza در ۲۰ مهر تعلق داشت. بیشترین میزان شاخص سبزیگی نیز در تیمار تاریخ کاشت ۲۰ آذر در ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در رقم Giza مشاهده شد. بر اساس نتایج، بیشترین میزان عملکرد بیولوژیک و دانه به‌عنوان مهم‌ترین اهداف از کشت گیاه کینوا به‌ترتیب در تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ آذر و کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در رقم Redcarin در ۲۰ مهر به‌دست آمد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده به نظر می‌رسد می‌توان با استفاده از تیمار مصرف ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رقم Redcarin در ۲۰ مهر از اثرات مخرب تنش گرمای انتهای فصل رشد بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا کاست و به عملکرد بالای دانه گیاه کینوا دست یافت.

واژه‌های کلیدی: شاخص برداشت، شاخص سبزیگی، عملکرد دانه، هدایت روزنه‌ای

مقدمه

کینوا (*Chenopodium quinoa* L.) گیاهی دولپه، آلوترپلوئید، سه کرپنه، یک‌ساله، شوردوست اختیاری و بومی مناطق آمریکای جنوبی و ارتفاعات آند است (FAO, 2011). این گیاه دامنه بالایی از سازگاری به شرایط مختلف اقلیمی به‌خصوص خشکی را دارد که از انعطاف فنولوژیکی و تنوع بالای فنوتیپی و ژنتیکی آن منشاء می‌گیرد

(Sezen, Yazar, Tekin, & Yildiz, 2016). دوره رشد گیاه بسته

به منطقه مورد کشت بین ۷۰ تا ۲۴۰ روز متغیر است (Yang, Akhtar, Amjad, Iqbal, & Jacobsen, 2016). محصول اصلی این گیاه دانه است که ارزش غذایی بالایی از نظر پروتئین، توازن اسیدآمین، چربی غیراشباع، ویتامین‌ها و مواد معدنی دارد (Fischer et al., 2017).

کینوا نیز مانند سایر گیاهان در دوره رشد خود با تنش‌های مختلف محیطی روبه‌رو می‌شود و رشد و عملکرد آن تابعی از عوامل محیطی و اثرات متقابل آن‌ها می‌باشد (Mir Mohammadi Meybodi & Qara Yazdi, 2012). در کشور ایران، به‌ویژه مناطق جنوبی آن، با توجه به موقعیت جغرافیایی، انواع تنش‌های محیطی از جمله شوری، خشکی و گرما قابل مشاهده است. از سوی دیگر مساله تغییر اقلیم و گرمایش جهانی نیز با تغییر در الگوهای آب و هوایی سبب تغییرات قابل‌توجهی در تولید محصول گیاهان شده است.

- ۱- دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 - ۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 - ۳- استادیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- (*)- نویسنده مسئول: (Email: h.roshanfekr@scu.ac.ir)

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.84530.1275>

سبز برگ، وزن خشک ساقه و برگ سبب افزایش عملکرد گیاه شود (Hussain, Ali, Ibrahim, Saleem, & Bukhsh, 2012).

با توجه به آگاهی از اثرات مخرب دمای بالا بر گیاه و توانایی‌های منحصر به فرد گیاه کینوا از لحاظ تغذیه‌ای و سازگاری بالا به شرایط محیطی مختلف، این آزمایش با هدف کاهش اثرات منفی تنش گرمای بر گیاه کینوا از طریق تغییر در تاریخ کاشت و کاربرد اسیدسالیسیلیک برای القای تحمل به تنش گرمای و بررسی پاسخ‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکردی گیاه کینوا در شرایط آب و هوایی اهواز طراحی شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۰، به صورت کرت‌های دوبار خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آزمایشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز به اجرا درآمد. آمار هواشناسی دوره اجرای آزمایش (مهر ۱۴۰۰ تا خرداد ۱۴۰۱) در شکل ۱ ارائه شده است. در این آزمایش سه عامل مورد بررسی قرار گرفت. عامل اول (عامل اصلی): تاریخ کاشت شامل ۲۰ مهر، ۲۰ آبان و ۲۰ آذر، عامل دوم (عامل فرعی): محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک در سه سطح شامل عدم کاربرد، ۱/۵ میلی‌مولار و ۳ میلی‌مولار و عامل سوم (عامل فرعی فرعی): ارقام کینوا شامل Redcarin و Q12، Giza، Titicaca و Zooders ۹۰-۸۵، روز، زودرس ۹۵-۹۰، روز، متوسط‌طرس ۱۲۰-۱۱۰ و دیررس ۱۳۵-۱۲۵ روز بودند. جهت سهولت در عملیات آماده‌سازی زمین و کنترل علف‌های هرز، قبل از شخم زمین آبیاری صورت گرفت. برای آزمون خاک مزرعه از عمق‌های ۳۰ و ۶۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌گیری انجام شد (جدول ۱).

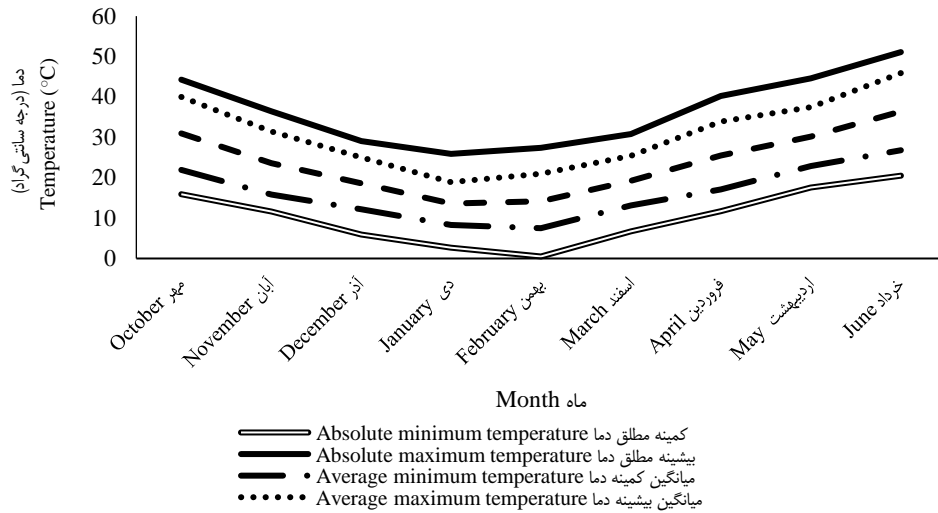
هر واحد آزمایشی شامل دو پشته با عرض ۶۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر و هر پشته شامل دو خط کاشت بود. بین هر تیمار فرعی و فرعی فرعی یک پشته فاصله گذاشته و بذور (شش عدد در هر حفره) روی خط داغاب و در دو طرف پشته (با تراکم ۲۲ بوته در مترمربع) کشت شدند. کودهای شیمیایی به کار برده شده بر اساس توصیه مراکز تحقیقاتی شامل اوره (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره ۴۶٪)، سوپرفسفات تریپل (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپرفسفات تریپل حاوی ۴۶٪ اکسید فسفر) و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم حاوی ۴۰٪ پتاسیم بود. زمانی که ارتفاع گیاه به پنج سانتی‌متر (در مرحله چهار برگ) رسید، عمل تنک انجام شد و تعداد گیاهچه‌ها به یک عدد کاهش یافت. پنج دوره آبیاری در طول دوره رشد انجام شد و به دلیل حساس بودن کینوا در مراحل جوانه‌زنی و سبز شدن به رطوبت خاک، آبیاری اول بعد از هر کشت و آبیاری دوم ۳-۵ روز بعد از آن صورت گرفت. همچنین در طول دوره رشد گیاه، آبیاری بر اساس توصیه‌های علمی

تنش‌های محیطی از طریق القای اثرات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی مختلف در گیاه سبب کاهش عملکرد گیاه می‌شوند. تنش گرمای با اثرگذاری بر فرآیند فتوسنتز، ترکیبات غشاء، محتوای پروتئین‌ها و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، عملکرد گیاه را محدود می‌کند (Kumar *et al.*, 2012). از مهم‌ترین راهکارهای کاهش اثرات منفی تنش گرمای بر گیاه، اجتناب از برخورد با دماهای آسیب‌زننده برای گیاه از طریق اعمال تاریخ کاشت مناسب و کاربرد برخی ترکیبات تنظیم‌کننده رشد مانند اسید سالیسیلیک هستند (Asadi Nasab, Nabipour, Roshanfekr, & Rahnama Ghahfarokhi, 2019). وقوع دمای بالا در طول مراحل حساس رشد گیاه مانند گلدهی و تشکیل دانه ممکن است سبب کاهش قابل توجه عملکرد کینوا گردد و دمای بالا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های کشت و گسترش کینوا در جهان عنوان شده است (Pulvento *et al.*, 2010). اسماعیل و همکاران (Ismail *et al.*, 2016) بیان کردند که بهترین دما در مرحله کرده‌افشانی کینوا حدود ۲۵ درجه می‌باشد و تاریخ کاشت، تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته، تعداد شاخه فرعی و در نهایت کاهش تعداد خوشه و عملکرد دانه در خوشه کینوا دارد. همچنین بیان کردند که وزن هزار دانه کینوا و میزان ماده خشک کل آن از طریق کاهش طول دوره رشد و نمو به دلیل وقوع گرمای پایان فصل رشد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. قرینه و همکاران (Gharineh, Bakhshande, Andarzian, & Shirali, 2019) نیز گزارش کردند که تنش گرمای بیشترین تأثیر را بر شاخص سطح برگ داشت و سبب کاهش ۳۰ درصدی آن شد. همچنین تأخیر در کاشت، بر تعداد دانه در خوشه، خوشه در بوته، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک، تأثیر منفی نشان داد. لذا تاریخ کاشت مناسب از عوامل مؤثر در رشد گیاه است، زیرا شرایط محیطی که مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه با آن مواجه خواهد شد را تعیین خواهد کرد.

اسیدسالیسیلیک به‌عنوان یک مولکول سیگنال عمل نموده (Sakhabinova, Fakhutdinova, Bezukova, & Shakirova, 2003) و نقش مهمی در تنظیم فرآیندهای رشد و نمو در گیاه تحت تنش‌های محیطی دارد (Iqbal, Khan, & Khan, 2013). اسیدسالیسیلیک باعث افزایش محتوای رطوبت نسبی، تجمع ماده خشک و افزایش میزان کلروفیل می‌شود (Singh & Usha, 2003) و با افزایش تقسیم و حجم سلولی، افزایش ارتفاع را در پی دارد (Shakirova, Sakhabinova, Bezukova, & Fatkhutdinova, 2003). برخی محققان اعلام کردند که اسیدسالیسیلیک از طریق افزایش انتقال آسمیلات‌ها و مواد حاصل از فتوسنتز به دانه‌ها موجب افزایش وزن دانه می‌شود و این ترکیب باعث افزایش سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی و مقدار کلروفیل کل می‌گردد (Abdelaal & Mohamed, 2017). محلول‌پاشی برگی اسیدسالیسیلیک می‌تواند با بهبود ارتفاع بوته، سطح

نظر گرفته شد. وجین علف‌های هرز، زمانی که ارتفاع آن حدود پنج سانتی‌متر بود، به صورت دستی در مرحله اولیه رشد گیاه صورت پذیرفت.

مراکز تحقیقاتی برای گیاه کینوا صورت گرفت (Abd Allah, El- Bassiouny, Elewa, & El-Sebai, 2015) و حجم آب مصرفی از طریق محاسبه مقدار آب مصرفی (مجموع بارش در طی فصل رشد گیاه و حجم آب وارد شده به صورت آبیاری به کمک پارشال فلوم) در



شکل ۱- آمار هواشناسی دوره اجرای آزمایش

Figure 1- Meteorological statistics during the experiment period

جدول ۱- نتایج تجزیه و تحلیل خاک

Table 1- The results of soil analysis

Texture بافت	EC هدایت الکتریکی	pH اسیدیته	N نیترژن	P فسفر	K پتاسیم
-	dS m ⁻¹	-	mg kg ⁻¹		
Lome-sand	4.3	7.8	0.039	13	159

میانگین (در مرحله ۵۰ درصد گلدهی) از جمله شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت رشد نسبی و سرعت اسیمیلاسیون خالص با استفاده از روابط (۱) تا (۴) صورت گرفت (Koocheki & Sarmadnia, 1999).

$$LAI = LA/GA \quad (۱)$$

$$NAR = [(W2-W1)/(LA2-LA1)] * [(lnA2/lnA1)/(t2-t1)] \quad (۲)$$

$$RGR = (lnW2 - lnW1)/(t2 - t1) \quad (۳)$$

$$CGR = (W2 - W1)/GA (t2 - t1) \quad (۴)$$

در این معادله‌ها LAI شاخص سطح برگ، NAR سرعت اسیمیلاسیون خالص، RGR سرعت رشد نسبی، CGR سرعت رشد محصول، LA1 سطح برگ در زمان t1؛ W1 وزن خشک در زمان t1؛ LA2 سطح برگ در زمان t2؛ W2 وزن خشک در زمان t2؛ Dw تغییرات وزن گیاه در فاصله زمانی t1 و t2 و GA سطح زمین است.

برای اندازه‌گیری شاخص سبزیگی در مرحله ۵۰ درصد گلدهی، سه الی پنج بوته از هر واحد آزمایشی انتخاب و علامت‌گذاری شد.

محلول پاشی اسید سالیسیلیک با غلظت‌های مختلف در مراحل غنچه‌دهی و شروع گلدهی (Jahanbakhsh, Khajoei-Nejad, Moradi, & Naghizadeh, 2021) توسط افشانه دستی اعمال شد و به منظور تعیین این مراحل (بر اساس نتایج سایر محققین ۵۰ درصد گلدهی حدود ۳۰ روز پس از کاشت و زمانی که ارتفاع گیاه ۲۵ سانتی‌متر است رخ می‌دهد و در این مرحله گل‌آذین در انتهای ساقه قابل مشاهده می‌باشد)، بازدیدهای دوره‌ای از مزرعه صورت گرفت. در هر کرت، تاریخی که در آن ۵۰ درصد بوته‌ها وارد مرحله فنولوژیک خاص شده باشند، به عنوان تاریخ آن مرحله ثبت گردید. به منظور ارزیابی صفات وزن تر و خشک بوته و شاخص سطح برگ، پس از مشاهده ۵۰ درصد گلدهی نمونه برداری‌های منظم به فاصله ۲۰ روز و از سطحی معادل ۳۰۰ سانتی‌متر مربع (معادل ۵ بوته) به طور تصادفی انجام شد. اندازه‌گیری ماده خشک و سطح برگ با استفاده از آون ۷۵ درجه سانتی‌گراد و ترازو و دستگاه Leaf Area Meter مدل Licor انجام شد (Watson, 1947) و برآورد شاخص‌های رشدی به طور

اندازه‌گیری با استفاده از دستگاه کلروفیل‌متر (SPAD-502, Minolta, Japan) بر روی پنج نقطه از آخرین برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته و ثبت میانگین مقادیر قرائت‌شده انجام شد. میزان هدایت روزنه‌ای در مرحله ۵۰ درصد گلدهی توسط دستگاه پرومتر مدل ELE ساخت کشور انگلستان در ساعات ۹-۱۲ صبح اندازه‌گیری شد. برای این منظور پس از کالیبره نمودن دستگاه، چند برگ جوان و توسعه‌یافته در قسمت میانی گیاه در هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و در محفظه دستگاه قرار گرفته، عدد دستگاه یادداشت شد (Pask, Pietaegalla, Mullan, & Reynolds, 2012). به‌منظور اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ روش Barr and Weatherley (1962) استفاده شد. به این منظور از هر تیمار یک برگ بالغ و کاملاً توسعه‌یافته در مرحله تشکیل پانیکول کینوا انتخاب کرده و پس از جداکردن از ساقه، برگ‌ها داخل فویل آلومینیومی پیچیده شد و بلافاصله درون محفظه حاوی یخ به آزمایشگاه منتقل شد. سپس برگ‌ها به قطعات دو سانتی‌متری تقسیم شده و وزن تر آن‌ها با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین گردید. به‌منظور اندازه‌گیری وزن اشباع، برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای چهار درجه سلسیوس در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر قرار گرفته و در شدت نور کم، وزن اشباع آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری و سپس وزن خشک آن‌ها تعیین گردید. درصد رطوبت نسبی برگ (RWC) با استفاده از رابطه (۵) محاسبه شد.

$$RWC (\%) = \frac{FW - DW}{SW - DW} \times 100 \quad (5)$$

در این معادله، FW وزن تر، DW وزن خشک و SW وزن اشباع می‌باشند.

برای تعیین عملکرد نهایی دانه در هر کرت، دو خط کاشت وسط هر کرت در نظر گرفته شد و نیم متر از ابتدا و انتهای کرت به‌عنوان اثرحاشیه‌ای حذف و پس از برداشت گیاهان از سطح باقی‌مانده عملکرد بیولوژیک (وزن خشک کل) و عملکرد دانه (وزن خشک دانه) تعیین گردید. جهت تعیین شاخص برداشت، پس از اندازه‌گیری میزان عملکردهای دانه و بیولوژیک درصد شاخص برداشت از رابطه (۶) محاسبه گردید (Yang et al., 2016).

(۶) $100 \times (\text{وزن خشک کل} / \text{وزن خشک دانه}) = \text{شاخص برداشت}$
تجزیه و تحلیل‌های آماری توسط نرم‌افزار SAS نسخه 9.1 صورت گرفت. نمودارها توسط Excel رسم شد. برای مقایسات میانگین داده‌ها از آزمون LSD در سطح احتمال خطای پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

شاخص سطح برگ

از نظر شاخص سطح برگ نتایج تجزیه واریانس نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری اثر تاریخ کاشت و اسیدسالیسیلیک در سطح پنج درصد و

اثر رقم، اثرمتقابل تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک، تاریخ کاشت در رقم، اسیدسالیسیلیک در رقم و تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح یک درصد بود (جدول ۲). از لحاظ اثرمتقابل عوامل مورد بررسی تیمار عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در رقم Giza در تاریخ کاشت ۲۰ مهر با میانگین ۸/۲۹ بیشترین میزان را نشان داد (جدول ۳). افزایش سطح برگ در گیاه با کاربرد غلظت بالای اسیدسالیسیلیک می‌تواند به دلیل افزایش فتوسنتز و افزایش ارتفاع باشد. عدم تاثیر کاربرد اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم Giza ممکن است به دلیل عدم برخورد مراحل رویشی گیاه با شرایط تنش‌زای محیطی، در نتیجه عدم القای اثر بهبوددهنده اسیدسالیسیک بر فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه مانند توسعه سطح برگ باشد. زیرا بروز تنش گرما از طریق کاهش جذب عناصر غذایی، تجمع گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و تخریب لیپیدهای غشایی و در نتیجه کاهش سرعت رشد گیاه (Yazdanpanah, Baghizadeh, & Abbassi, 2011) بر گسترش و توسعه برگ موثر است. از سوی دیگر در شرایط تنش با کاهش رشد سلول از طریق کاهش تقسیم سلول و کاهش اندازه سلول، اندازه اندام‌ها از جمله برگ محدود می‌شود (Salarpour Ghoraba & Farahbakhsh, 2014). باتوجه‌به نتایج تحقیقات گذشته، کاربرد اسید سالیسیلیک می‌تواند سبب افزایش سطح برگ گیاه گردد (Abdelaal & Mohamed, 2017). محلول‌پاشی اسیدسالیسیلیک احتمالاً از طریق بهبود تثبیت کربن، سنتز متابولیت‌ها و حفظ وضعیت آب بافت‌های گیاهی باعث افزایش رشد اندام هوایی و برگ‌ها می‌شود (Yazdanpanah et al., 2011). استفاده از اسیدسالیسیلیک موجب افزایش سرعت رشد اندام‌های گیاه، فرآیند فتوسنتز و کاهش اثرات منفی تنش در برگ‌ها می‌شود (Fazelian & Asrar, 2011).

دیگر محققان هم بیان کردند محلول‌پاشی با اسید سالیسیلیک سبب افزایش تعداد برگ کینوا شد که دلیل آن را اثر تحریک‌کنندگی آن بر بافت فتوسنتزکننده دانستند (Abd Allah et al., 2015). هونگ-بو شائو و همکاران (Hong-Bo Shao et al., 2009) گزارش دادند که کاهش آب بافت در شرایط تنش گرمایی منجر به کاهش جذب عناصر می‌شود و از این طریق رشد برگ‌ها کاهش می‌یابد. با کاهش سطح برگ از سطح تعرق‌کننده گیاه نیز کاسته می‌شود و این اولین مکانیسم گیاه برای مقابله با تنش به حساب می‌آید. کاهش سطح برگ، کاهش سطح جذب نور خورشید و به دنبال آن کاهش سطح فتوسنتزی گیاه، نهایتاً منجر به کاهش تولید ماده خشک و عملکرد گیاه می‌گردد. نتایج این آزمایش با نتایج آزمایش اسماعیل و همکاران (Ismail et al., 2016) همراستا بود. شاخص سطح برگ همبستگی مثبت معنی‌داری با عملکرد دانه کینوا نشان داد (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس مقایسه میانگین محلول پاشی غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک در تاریخ‌های مختلف کاشت در برخی ارقام کینوا
Table 2- Analysis of variance of foliar application effect of different concentrations of salicylic acid on different planting dates in some quinoa cultivars

S.O.V	d.f	Leaf area index	Spad value	Stomatal conductance	Relative water content	Relative growth rate	Crop growth rate	Net assimilation rate	Biological yield	Grain yield	Harvest index
منابع تغییرات	درجه آزادی	شاخص سطح برگ	عدد اسپد	هدایت روزنه-ای	محتوای نسبی آب	سرعت رشد نسبی	سرعت رشد محصول	سرعت اسیمیلاسیون خالص	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت
Block بلوک	2	3.6*	83.1 ^{ns}	6133**	57.7 ^{ns}	0.0043 ^{ns}	0.2555*	0.0824 ^{ns}	1397 ^{ns}	5306 ^{ns}	85.8 ^{ns}
Planting date (A) تاریخ کاشت	2	34.1*	1743.8*	1110474**	710.4*	0.0036 ^{ns}	0.6628**	0.5319**	6574487**	272406*	6149**
Error خطا	4	2.1	183.9	17334	263	0.0022	0.0478	0.0713	98695	17252	26.4
Salicylic acid (B) اسیدسالیسیلیک	2	4*	587.3**	1640 ^{ns}	179.9 ^{ns}	0.0013 ^{ns}	0.1161 ^{ns}	0.417**	437327*	32240*	449.4**
B × A	4	5.5**	86*	760 ^{ns}	513.3 ^{ns}	0.0008 ^{ns}	0.1731 ^{ns}	0.1307 ^{ns}	7138405**	26238**	73.7 ^{ns}
Error خطا	12	0.9	51.3	1609	389.7	0.0013	0.1899	0.1183	94408	5842	34.7
Cultivar (C) رقم	3	11.8**	47.1 ^{ns}	21 ^{ns}	56 ^{ns}	0.0112**	0.3708**	0.322**	2202819**	164832**	442.4**
C × A	6	16.2**	28 ^{ns}	655 ^{ns}	146 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.1393 ^{ns}	0.146*	1249312**	90550**	169.7**
C × B	6	4.8**	202**	930 ^{ns}	88.5 ^{ns}	0.0021 ^{ns}	0.0776 ^{ns}	0.0634 ^{ns}	1343551**	18878*	143**
C × B × A	12	8**	93.5**	1080 ^{ns}	254.8 ^{ns}	0.0026 ^{ns}	0.1601*	0.2155**	1577790**	41404**	94.8*
Error خطا	54	0.8	32.9	873	189.5	0.0017	0.07	0.06	104586	6008	43.5
C.V (%)	-	28.4	13.1	17.7	18.8	24.1	27.4	26.5	25.6	26.4	24.9

* و ** به ترتیب دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشد.

* and ** are significant at 5% and 1% probability levels, respectively, and ns is non-significant difference.

جدول ۳- مقایسه میانگین (اثر متقابل) محلول پاشی غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک در تاریخ‌های مختلف کاشت در برخی ارقام کینوا
Table 3- The mean comparison (interaction effect) of foliar application effect of different concentrations of salicylic acid on different planting dates in some quinoa cultivars

تیمارها (تاریخ کاشت × اسیدسالیسیلیک × رقم) Treatments (Planting date × Salicylic acid × Cultivar)	شاخص سطح برگ Leaf area index	عدد اسپد Spad value	سرعت رشد محصول Crop growth rate	سرعت اسیمیلاسیون خالص Net assimilation rate	عملکرد بیولوژیک Biological yield	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index
			g m ⁻² day ⁻¹		kg ha ⁻¹		%
October 12 × 0 mM × Titicaca ۲۰ مهر × ۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	3.19 g-j	48.83 b-f	0.5 b-k	0.21 d-g	858.3 h-n	313.37 e-i	36.59 d-f
October 12 × 0 mM × Giza ۲۰ مهر × ۰ میلی مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	8.29 a	38.53 g-k	0.82 ab	0.25 c-g	1219.3 d-j	288.13 f-j	25.31 g-l

October 12 × 0 mM × Q12 ۲۰ مهر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	2.34	i-o	50.03	b-e	0.72	a-c	0.57	bc	790.8	i-o	288.1	f-j	37.41	c-f
October 12 × 0 mM × Redcarina ۲۰ مهر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	2.51	h-n	45.87	c-h	0.58	b-g	0.23	c-g	926	g-n	496.3	bc	53.99	a
October 12 × 1.5 mM × Titicaca ۲۰ مهر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	4.64	b-f	41.97	d-k	0.27	e-k	0.07	fg	667.5	k-o	167.53	j-o	21.91	i-l
October 12 × 1.5 mM × Giza ۲۰ مهر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	3.85	e-h	50.7	bcd	0.17	h-k	0.06	fg	1181.2	d-k	376.53	b-g	31.68	d-i
October 12 × 1.5 mM × Q12 ۲۰ مهر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	2.88	g-l	50.3	bcd	0.52	b-h	0.24	c-g	650.5	l-o	264.75	g-l	40.93	b-d
October 12 × 1.5 mM × Redcarina ۲۰ مهر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	5.74	bc	48.67	b-f	0.55	b-g	0.18	d-g	1489.7	c-f	483.1	bc	35.17	d-g
October 12 × 3 mM × Titicaca ۲۰ مهر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	3.99	d-g	46.83	c-g	0.8	ab	0.28	c-g	976.5	f-m	335	e-i	35.38	d-g
October 12 × 3 mM × Giza ۲۰ مهر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	3.9	e-h	49.2	b-e	0.61	b-f	0.2	d-g	1361.1	c-h	498.13	b	37.52	c-f
October 12 × 3 mM × Q12 ۲۰ مهر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	2.19	i-q	48.33	c-f	0.01	k	0.01	e-g	852.2	h-n	280.9	f-k	33.06	d-h
October 12 × 3 mM × Redcarina ۲۰ مهر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	2.7	g-m	49.4	b-e	0.07	jk	0.03	g	1419.3	c-g	718	a	50.45	ab
November 11 × 0 mM × Titicaca ۲۰ آبان × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	0.98	o-r	28.77	l-n	0.08	jk	0.08	fg	746.3	j-o	145.2	l-o	19.39	j-m
November 11 × 0 mM × Giza ۲۰ آبان × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	1.79	j-q	26.5	mn	0.15	h-k	0.13	d-g	790.4	i-o	216.97	i-n	27.46	f-k

November 11 × o mM × Q12 ۲۰ آبان × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	2.37	i-o	23.93	n	0.61	b-f	0.42	b-f	1067.4	e- m	375.5	b- g	36.26	d-f
November 11 × o mM × Redcarina ۲۰ آبان × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	6.28	b	37.13	h-l	0.28	e-k	0.11	e-g	1315.6	c-i	352.07	d- h	28.5	f-j
November 11 × 1.5 mM × Titicaca ۲۰ آبان × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	1.35	m-r	37.33	h-l	0.23	g-k	0.41	b-d	437.5	no	106.6	no	23.63	h-l
November 11 × 1.5 mM × Giza ۲۰ آبان × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	3.06	g-k	38.63	g-k	0.14	i-k	0.06	g	994.9	f-m	255.5	g- m	29.45	e-j
November 11 × 1.5 mM × Q12 ۲۰ آبان × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	6.56	b	46.5	c-h	0.67	a-d	0.24	c-g	1540.3	c-e	501.93	b	32.99	d-h
November 11 × 1.5 mM × Redcarina ۲۰ آبان × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	2.8	g-l	39.5	f-k	0.3	d-k	0.21	d-g	1314.7	c-i	303.45	e-i	25.38	g-l
November 11 × 3 mM × Titicaca ۲۰ آبان × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	2.14	i-q	37.8	g-l	0.03	k	0.02	g	1029.4	e- m	284.8	f-j	29.55	e-j
November 11 × 3 mM × Giza ۲۰ آبان × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	2.97	g-k	33.47	j-m	0.12	i-k	0.04	g	1126.7	d-l	371.1	c- h	33.02	d-h
November 11 × 3 mM × Q12 ۲۰ آبان × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	5.36	bcd	38.87	g-k	0.25	f-k	0.09	fg	1096.1	d- m	424.9	b- e	40.07	b-e
November 11 × 3 mM × Redcarina ۲۰ آبان × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	5.24	b-e	40.8	e-k	0.24	f-k	0.12	e-g	591.6	m- o	279.4	f-k	47.42	a-c
December 11 × o mM × Titicaca ۲۰ آذر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	0.82	q-r	44.77	c-i	0.43	b-j	0.65	b	301.8	o	47.57	o	16.02	l-o

December 11 × 0 mM × Giza ۲۰ آذر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	1.75	k-q	33.1	k-n	0.29	e-k	0.35	b-g	1603.1	cd	156.15	k- o	9.16	m- o
December 11 × 0 mM × Q12 ۲۰ آذر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	1.93	i-q	42.72	d-g	0.06	k	0.04	g	1815.1	c	172.07	j-o	9.46	m- o
December 11 × 0 mM × Redcarina ۲۰ آذر × ۰ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	0.13	r	49.35	b-e	0.25	f-k	0.7	a	3930.1	a	394.92	b-f	10.13	m- o
December 11 × 1.5 mM × Titicaca ۲۰ آذر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	1.19	n-r	49.4	b-e	0.24	f-k	0.26	c-g	3230.6	b	477.5	b- d	15.12	l-o
December 11 × 1.5 mM × Giza ۲۰ آذر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	1.49	l-r	63.35	a	0.23	g-k	0.22	c-g	996.9	f-m	58.67	o	5.84	o-
December 11 × 1.5 mM × Q12 ۲۰ آذر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	2.33	i-p	50.73	bcd	0.34	d-k	0.3	b-g	862	h-n	63.75	o	7.18	n-o
December 11 × 1.5 mM × Redcarina ۲۰ آذر × ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	3.32	f-i	36.35	i-k	0.38	c-k	0.33	b-g	3036.4	b	325	e-i	10.7	m- o
December 11 × 3 mM × Titicaca ۲۰ آذر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × تیتیکاکا	0.89	p-r	46.43	c-h	0.14	i-k	0.28	c-g	1202	d-j	83.77	o	6.82	n-o
December 11 × 3 mM × Giza ۲۰ آذر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × گیزا	1.36	m-r	52.2	bc	0.15	h-k	0.16	d-g	1433.6	c-g	246.3	h- m	16.83	k-n
December 11 × 3 mM × Q12 ۲۰ آذر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × کیو۱۲	4.78	b-e	52.45	bc	0.64	b-e	0.46	b-e	1548.2	c-e	128.9	m- o	9.18	m- o
December 11 × 3 mM × Redcarina ۲۰ آذر × ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک × ردکارینا	3.89	e-h	57.75	ab	0.37	c-k	0.25	c-g	1139.2	d-l	274.55	f-k	24.31	h-l

در هرستون اعداد دارای حروف مشابه بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد فاقد اختلاف آماری معنی‌دار می‌باشند.

In each column, the numbers with the same letters have no statistically significant difference based on the LSD test at the 5% probability level.

جدول ۴- نتایج همبستگی صفات بررسی شده در شرایط محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف اسیدسالیسیلیک در تاریخ‌های مختلف کاشت در برخی ارقام کینوا

Table 4- The correlation results of investigated traits under foliar application of different concentrations of salicylic acid on different planting dates in some quinoa cultivars

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
عملکرد بیولوژیک Biological yield	شاخص سطح برگ Leaf area index	عدد اسپد Spad value	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance	محتوای نسبی آب Relative water content	سرعت رشد محصول Crop growth rate	سرعت آسیمیلایسیون خالص Net assimilation rate	سرعت رشد نسبی Relative growth rate	عملکرد دانه Grain yield	شاخص برداشت Harvest index	
0 mM salicylic acid * میلی‌مولار اسید سالیسیلیک										
1	1									
2	-0.166	1								
3	0.167	-0.097	1							
4	-0.133	0.342*	0.464**	1						
5	-0.124	0.186	0.105	0.173	1					
6	-0.100	0.410*	0.006	0.295	-0.017	1				
7	-0.028	0.178	0.108	0.021	0.143	0.290	1			
8	-0.196	0.235	-0.003	0.119	0.114	0.522**	0.400*	1		
9	0.335*	0.351*	0.147	0.347*	0.089	0.057	0.101	-0.046	1	
10	-0.468**	0.241	0.067	0.495**	0.064	0.029	0.024	0.059	0.606**	1
1.5 mM salicylic acid ۱/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک										
1	1									
2	-0.037	1								
3	-0.019	-0.172	1							
4	-0.043	0.194	0.349*	1						
5	-0.197	0.154	-0.026	-0.028	1					
6	-0.222	0.407*	-0.145	-0.126	-0.160	1				
7	-0.274	-0.017	-0.135	-0.042	-0.200	0.607**	1			
8	-0.276	0.333*	-0.110	0.113	-0.328	0.738**	0.742**	1		
9	0.566**	0.379*	0.030	0.343*	0.083	0.022	-0.234	-0.151	1	
10	0.342*	0.312	-0.120	0.213	0.347*	0.143	-0.059	-0.009	0.501**	1
3 mM salicylic acid ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک										
1	1									
2	-0.092	1								
3	0.182	-0.092	1							
4	0.117	-0.104	0.363*	1						
5	-0.081	0.085	0.103	0.301	1					
6	-0.165	-0.198	-0.078	0.116	0.108	1				
7	-0.202	-0.252	0.090	0.132	0.095	0.818**	1			
8	-0.120	-0.164	0.205	0.251	0.166	0.782**	0.733**	1		
9	0.289	0.186	-0.099	0.396*	0.235	0.044	0.011	0.167	1	
10	0.395*	0.330*	-0.250	0.231	0.275	0.159	0.158	0.242	0.716**	1

* و ** به ترتیب دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح پنج و یک درصد می‌باشند.

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

کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در سطح پنج درصد و اثر اسید سالیسیلیک، اثر متقابل اسیدسالیسیلیک در رقم و نیز

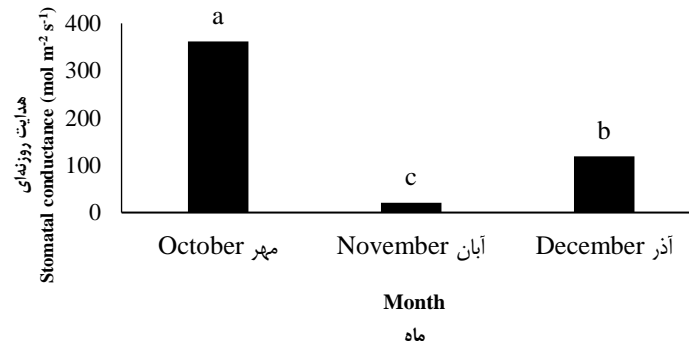
شاخص سبزی‌نگی

تجزیه واریانس شاخص سبزی‌نگی حاکی از این بود که اثر تاریخ

(EL-Tayeb, 2005).

میزان هدایت روزنه‌ای

نتایج تجزیه واریانس حاکی از این بود که فقط اثر تاریخ کاشت بر میزان هدایت روزنه‌ای معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین میزان هدایت روزنه‌ای، بیشترین میزان این صفت در تاریخ کاشت ۲۰ مهر (۳۶۱/۷۵ مول بر مترمربع بر ثانیه) مشاهده گردید (شکل ۲). در شرایط بروز تنش، هورمون اسیدآبسیزیک در بافت‌های گیاه تولیدشده و به‌عنوان یک سیگنال به سلول‌های محافظ روزنه ارسال و سبب بسته شدن روزنه‌ها می‌شود که روابط آبی گیاه را بهبود بخشیده و اثرات منفی تنش گرما را کاهش دهد. با کاهش در هدایت روزنه‌ای و کاهش اتلاف رطوبت، از کمبود آب و کاهش شدید تورژسانس سلولی جلوگیری شده و کاهش رشد و توسعه سلول در نتیجه تنش گرما تا حدی تعدیل می‌شود (Hall et al., 1992). اگرچه با کاهش در هدایت روزنه‌ای، اتلاف آب کاهش می‌یابد و دارای تاثیر مثبت بر گیاه است، ولی استمرار آن به دلیل کاهش در جذب و تحلیل دی‌اکسیدکربن و برهم خوردن تعادل دمایی در گیاه سبب کاهش تولید اسمیلات‌های فتوسنتزی شده و در نهایت عملکرد گیاه کاهش می‌یابد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر هدایت روزنه‌ای کینوا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.
 Figure 2- The mean comparison for effect of different planting dates on stomatal conductance of quinoa
 Means followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

(شکل ۳). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با تاخیر در تاریخ کاشت از محتوای نسبی آب برگ کاسته شد. به نظر می‌رسد که با کاشت دیر هنگام و برخورد مراحل زایشی رشد گیاه با گرمای پایان فصل رشد و نیز به دلیل پیر شدن بافت‌های گیاه، کنترل بر سلول‌های روزنه‌ای کاهش یافته و هدررفت آب افزایش داشته است. نتایج هدایت روزنه‌ای نیز این امر را تایید نمود. بیش‌تر بودن محتوای نسبی آب

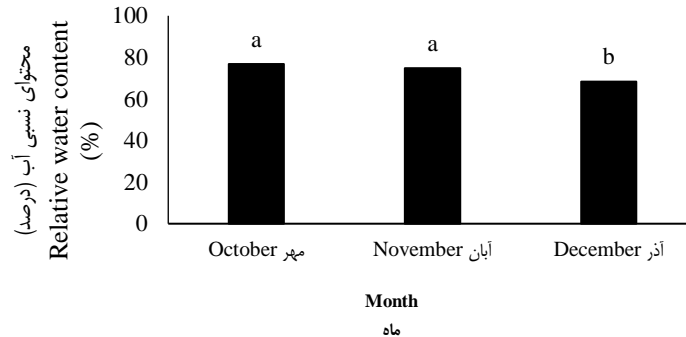
اثر متقابل سه‌جانبه تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح یک درصد، اختلاف آماری معنی‌دار داشتند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسات میانگین شاخص سبزیگی از نظر اثر متقابل عوامل مورد بررسی نیز تیمار تاریخ کاشت ۲۰ آذر در ۱/۵ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در رقم Giza دارای بیشترین میزان (۶۳/۳۵) این صفت بود (جدول ۳). قرار گرفتن در معرض تنش گرما منجر به کاهش سطح برگ گیاه می‌شود (Srivastava, Srivastava, Singh, 2013). در نتیجه به دلیل افزایش غلظت پروتوپلاسم سلول و در نتیجه به‌واسطه افزایش غلظت سلول‌های مزوفیل و هم‌چنین کاهش اندازه، حجم سلول‌ها و سطح برگ، شاخص سبزیگی افزایش می‌یابد (Moharekar et al., 2003). البته پس از آن به دلیل تولید گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر ناشی از تنش، آسیب به دستگاه فتوسنتزی، کاهش میزان کلروفیل و اثر منفی بر نقل و انتقال یون‌ها، شاخص سبزیگی روند کاهشی پیدا می‌کند (Adir, Zer, Shochat, & Ohad, 2003). اسیدسالیسیلیک با اثرگذاری بر تبادل و انتقال یون‌ها (Harper & Balke, 1981) و فتوسنتز سبب افزایش در مقدار کلروفیل و شاخص سبزیگی می‌شود (Agarawal, Sairam, Srivasta, & Meena, 2005). هم‌چنین اسیدسالیسیلیک با حفاظت از دستگاه فتوسنتزی و افزایش میزان رنگدانه‌ها می‌تواند افزایش شاخص سبزیگی را در پی داشته باشد

محتوای نسبی آب برگ

با توجه به نتایج تجزیه واریانس محتوای نسبی آب برگ، فقط اثر تاریخ کاشت بر محتوای نسبی آب برگ معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ، بیشترین میزان این صفت در تاریخ کاشت ۲۰ مهر (۷۶/۸۴) درصد، فاقد اختلاف معنی‌دار با تاریخ کاشت ۲۰ آبان با میزان (۷۴/۸۱) درصد) مشاهده شد

(Noormohammadi, 2003).

برگ در دو تاریخ کاشت ۲۰ مهر و آبان نشان‌دهنده‌ی حفظ رطوبت برگ جهت ادامه فعالیت‌های حیاتی گیاه بوده که منجر به کاهش کم‌تر آماس سلول و رشد برگ و افزایش تجمع ماده خشک در شرایط وقوع تنش گرما شده است (Moaveni, Ranji, &)



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر تاریخ‌های مختلف کاشت بر محتوای نسبی آب برگ کینوا

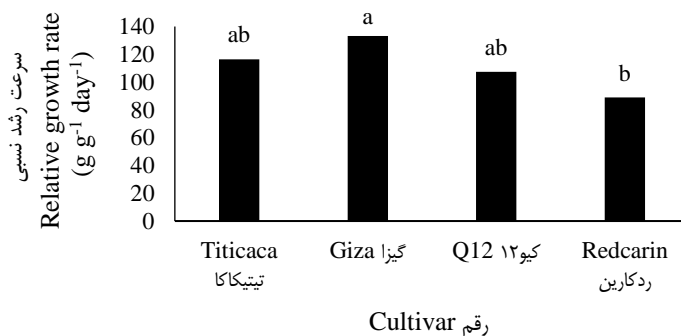
میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 3- The mean comparison for effect of different planting dates on relative water content of quinoa leaves Means followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

گیاه در سرعت جذب خالص می‌باشد، لذا افزایش در هر جزء در صورت عدم تغییر جزء دیگر سرعت رشد نسبی را افزایش می‌دهد (Van der Werf, 2007). با افزایش سن گیاه، نسبت سطح برگ و سرعت جذب خالص کاهش یافته و کاهش این شاخص‌ها در نهایت باعث کاهش سرعت رشد نسبی می‌شود (Ritchie, Nguyen, & Haloday, 1990). سرعت رشد نسبی در هر سه غلظت کاربرد اسیدسالیسیلیک همبستگی مثبتی با سرعت رشد محصول و سرعت اسیملاسیون خالص نشان داد (جدول ۴).

سرعت رشد نسبی

باتوجه به نتایج تجزیه واریانس صفات (جدول ۲) از نظر سرعت رشد نسبی اثر رقم بر سرعت رشد نسبی معنی‌دار بود. بیشترین میزان سرعت رشد نسبی در رقم Giza با میزان ۱۳۳/۲۹ گرم در گرم در روز مشاهده شد (شکل ۴). سرعت رشد نسبی عبارت است از ماده خشک تجمع‌یافته در واحد زمان در واحد وزن خشک گیاه و در اصل تعیین‌کننده تجمع ماده خشک می‌باشد. چون سرعت رشد نسبی به‌طور کلی حاصل ضرب نسبت سطح سبز برگ به ماده خشک کل



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر رقم بر سرعت رشد نسبی کینوا

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

Figure 4- The mean comparison for effect of cultivar on relative relative growth rate of quinoa Means followed by similar letter are not significantly different at 5% probability level using LSD test.

بررسی نتایج تجزیه واریانس سرعت رشد محصول نشان داد که

سرعت رشد محصول

عملکرد بیولوژیک

از نظر تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیک، اثر تاریخ کاشت و اسید سالیسیلیک در سطح پنج درصد و اثر رقم، اثر متقابل تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک، تاریخ کاشت در رقم، اسیدسالیسیلیک در رقم، تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح یک درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بودند (جدول ۲). از نظر اثر متقابل عوامل مورد بررسی، تیمار عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ آذر با میزان ۳۹۳۰ کیلوگرم در هکتار تیمار برتر ارزیابی شد (جدول ۳). به نظر می‌رسد دپرسی رقم Redcarin سبب شده است که در تاریخ کاشت ۲۰ آذر به رشد رویشی ادامه داده و سطح سبز بیشتری را تولید نموده است. لذا تجمع ماده خشک در اندام‌های رویشی افزایش داشته و بیش‌تر بودن عملکرد بیولوژیک در آن طبیعی به نظر می‌رسد. یکی دیگر از دلایل مشاهده عملکرد بیولوژیک بیش‌تر در این رقم در تاریخ کاشت ۲۰ آذر احتمالاً توانایی دستیابی به عناصر غذایی و آب بیش‌تر توسط گیاه بوده است. گبیرتز و همکاران (Geerts *et al.*, 2008) نیز بیان کردند که وقوع تنش قبل از گلدهی و دانه‌بندی کینوا، عملکرد را کاهش داد، درحالی‌که در دوره رشد رویشی اعمال تنش موجب افزایش عملکرد و کارایی مصرف آب گردید. لذا به نظر می‌رسد در تاریخ کاشت ۲۰ آذر به دلیل برخورد تنش ملایم با دوره رشد رویشی گیاه، افزایش عملکرد بیولوژیک اتفاق افتاده است، در حالی‌که در دو تاریخ کاشت دیگر وقوع تنش گرما در مراحل نزدیک به گلدهی و دانه‌بندی رخ داده است و این مساله سبب دستیابی به عملکرد بیولوژیک کم‌تر در آن‌ها شده است. در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ آذر، کاربرد اسیدسالیسیلیک نتوانست موثر واقع گردد، درحالی‌که عبد الله و همکاران (Abd Allah *et al.*, 2015) نشان دادند که تیمار محلول‌پاشی با اسیدسالیسیلیک باعث افزایش معنی‌دار عملکرد ماده خشک گیاه کینوا نسبت به تیمار شاهد شد و افزایش وزن خشک را به افزایش تعداد برگ که منجر به بهبود فرآیند فتوسنتز می‌شود نسبت دادند. هم‌چنین حسین و همکاران (Hussain *et al.*, 2012) بیان کردند کاربرد اسیدسالیسیلیک در گندم، تولید ماده خشک را به دلیل بهبود ارتفاع بوته، سطح سبز برگ، وزن خشک ساقه و برگ افزایش می‌دهد. بر اساس نتایج همبستگی صفات (جدول ۴)، همبستگی مثبتی بین عملکرد بیولوژیک و دانه مشاهده شد، لذا با افزایش در بافت‌های فتوسنتزی و سبز گیاه، عملکرد دانه افزایش نشان داد.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس صفات نشان داد که اثر تاریخ کاشت، اسید سالیسیلیک و اثر متقابل اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح پنج درصد و اثر رقم، اثر متقابل تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک، اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم و اثر متقابل سه‌جانبه کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم

اثر تاریخ کاشت، رقم، تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم بر سرعت رشد محصول معنی‌دار بودند (جدول ۲). بر اساس نتایج مقایسه میانگین صفات، بیشترین میزان این صفت در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در عدم کاربرد اسید سالیسیلیک در رقم Giza (با میزان ۰/۸۲۰ گرم در مترمربع در روز) به‌دست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده در تاریخ کاشت ۲۰ مهر (جدول ۳)، سرعت رشد محصول بیشترین میزان را داشت که این موضوع احتمال دارد به دلیل ظرفیت بالای رشد رویشی و سطح فتوسنتزی بالا در آن تاریخ کاشت بوده باشد و با گذشت زمان و تاخیر در کاشت با کاهش همراه شد. کاهش سرعت رشد محصول احتمال دارد به علت کاهش سطح برگ (ریزش برگ و عدم توسعه برگ‌ها در نتیجه کاهش فتوسنتز)، افزایش سن گیاه و پیری برگ‌ها و کاهش تجمع وزن خشک بوده باشد (جدول ۳). محققان علت افزایش سرعت رشد محصول در آغاز رشد را افزایش سطح فتوسنتزکننده و علت کاهش آن با گذشت زمان را کاهش فتوسنتز خالص به دلیل ریزش برگ‌ها بیان کردند (Sharifi, Shariatmadari, & Yaghobfar, 2011). سرعت رشد محصول در تاریخ کاشت ۲۰ مهر به علت رشد و توسعه برگ‌ها (شاخص سطح برگ بیشتر، جدول ۳) و بنابراین افزایش دریافت نور، انجام فتوسنتز و افزایش وزن بوته در واحد سطح و واحد زمان آغاز به افزایش کرد. سپس تا پایان دوره رشد به علت افزایش سطح برگ که باعث سایه‌اندازی، افزایش تنفس و کاهش فتوسنتز برگ‌های پایین کانوپی گیاه می‌شود، کاهش یافت (Sharifi *et al.*, 2011).

سرعت اسیمیلایسیون خالص

از نظر تجزیه واریانس میانگین مربعات سرعت اسیمیلایسیون خالص، اثر تاریخ کاشت، اسیدسالیسیلیک، رقم، تاریخ کاشت در رقم و تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم بر سرعت اسیمیلایسیون خالص معنی‌دار بود (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار تاریخ کاشت آذرماه در عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در Redcarina بیشترین میزان (۰/۷۰۰ گرم در مترمربع در روز) را دارا بود (جدول ۳). سرعت اسیمیلایسیون خالص با تاخیر در تاریخ کاشت کاهش نشان داد که کاهش سرعت رشد محصول را نیز در پی داشت. به‌طور کلی با افزایش سطح فتوسنتزکننده، سرعت اسیمیلایسیون خالص افزایش یافته و از آن پس به دلیل ریزش برگ‌ها کاهش نشان می‌دهد (Sharifi *et al.*, 2011). از سوی دیگر شاخص سطح برگ بالا و افزایش سایه‌اندازی برگ‌ها بر روی هم موجب کاهش سرعت اسیمیلایسیون خالص و سرعت رشد محصول می‌شود (Gallagher & Biscoe, 1987). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، سرعت اسیمیلایسیون خالص با افزایش غلظت اسیدسالیسیلیک کاهش داشت (جدول ۳).

عملکرد دانه را در پی داشته است (Kaydan & Yagmur, 2006).

شاخص برداشت

بر اساس نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات صفت شاخص برداشت، اثر تاریخ کاشت، اسید سالیسیلیک، رقم، اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم و اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح یک درصد و اثر متقابل تاریخ کاشت در اسیدسالیسیلیک در رقم در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌دار داشتند (جدول ۲). از نظر اثر متقابل عوامل مورد بررسی، عدم کاربرد اسیدسالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ مهر با میزان ۵۳/۹۹ درصد (فاقد اختلاف آماری معنی‌دار با تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ مهر و ۲۰ آبان) بیشترین میزان را نشان داد (جدول ۳). شاخص برداشت برآیندی از عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه است، لذا تحت تاثیر این صفات قرار دارد. تجمع ماده خشک بیش‌تر در دانه‌ها سبب افزایش شاخص برداشت می‌گردد. بنابراین دستیابی به عملکرد دانه بیش‌تر در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ مهر سبب افزایش شاخص برداشت در این تیمار شده است. به نظر می‌رسد اسیدسالیسیلیک نیز از طریق تقلیل اثر منفی تنش بر تشکیل دانه و جلوگیری از عقیمی آن‌ها، تسریع در تولید و انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی به دانه‌ها، حفاظت رنگیزه‌های فتوسنتزی از تخریب، حفظ محتوای نسبی آب بافت و افزایش ظرفیت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی، در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک دانه موجب افزایش شاخص برداشت گردیده است.

نتیجه‌گیری

از آن‌جا که محصول اصلی گیاه کینوا، دانه است، کاربرد غلظت سه میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم Redcarin به دلیل تولید بیشترین میزان عملکرد دانه، ترکیب مناسبی جهت تولید دانه کینوا در شرایط اهواز ارزیابی شد. عملکرد دانه بیشترین همبستگی را با عملکرد بیولوژیک و هدایت روزه‌ای داشت. در نتیجه با افزایش در نقل و انتقال آب و دی‌اکسیدکربن و افزایش تولید مواد فتوسنتزی در اندام‌های فتوسنتزی گیاه، تجمع ماده خشک در دانه‌ها به‌عنوان مقاصد فتوسنتزی افزایش یافت. لذا به نظر می‌رسد می‌توان با استفاده از تیمار مصرف ۳ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ مهر از اثرات مخرب تنش گرمای انتهای فصل رشد بر شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه کینوا کاست و به عملکرد بالای دانه گیاه کینوا دست یافت.

در سطح یک درصد معنی‌دار بودند (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل نشان داد که تیمار کاربرد ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در رقم Redcarin در تاریخ کاشت ۲۰ مهر دارای بیشترین میزان عملکرد دانه با میزان ۷۱۸ کیلوگرم در هکتار بود (جدول ۳). با تاخیر در کاشت عملکرد دانه کاهش نشان داد. احتمالاً وقوع گرمای ناگهانی در پایان فصل رشد (پیش از گلدهی و دانه‌بندی) در تاریخ کاشت ۲۰ مهر سبب تسریع در تکمیل مراحل رشدی گردیده و عبور از فاز رویشی به زایشی را افزایش داده است، لذا تجمع ماده خشک به سمت مخازن زایشی افزایش داشته و افزایش عملکرد دانه مشاهده شده است. کاهش عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌های دیگر ممکن است به دلیل تسریع رشد رویشی به دلیل وقوع تنش در مرحله رویشی و یا تاثیر گرما بر کاهش دوره نمو خوشه و از سویی دیگر ایجاد عقیمی در اندام‌زایشی، کاهش تعداد سلول‌های آندوسپرم و کاهش ظرفیت مخزن برای تجمع ماده خشک و در نتیجه کاهش عملکرد دانه باشد (Zaki & Radwan, 2011). زیرا دمای بالا با اختلال در گلدهی و گرده‌افشانی باعث کاهش در تشکیل دانه و عقیمی دانه‌ها می‌گردد (Modarresi, Mohammadi, Zali, & Mardi, 2010) و دانه‌های پوک یا دانه‌های بسیار ریز افزایش می‌یابند. افزایش سقط دانه به دلیل افزایش تولید اتیلن و کاهش سنتز نشاسته در نتیجه محدودیت تولید انتقال فرآورده‌های فتوسنتزی در شرایط تنش گرما نیز سبب کاهش متوسط عملکرد دانه می‌شود (Barnabas, Jager, & Feher, 2008). قرینه و همکاران (Gharineh et al., 2019) طی انجام آزمایش‌های خود به نتایج مشابهی دست یافتند. احتمالاً کاربرد غلظت ۳ میلی‌مولار اسیدسالیسیلیک در تاریخ کاشت ۲۰ مهر در رقم Redcarin به‌عنوان هورمون محرک رشد به دلیل تسریع فرآیند فتوسنتز از طریق افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه شده است (Azimi, Sayfzadeh, & Zare, 2013). با توجه به نتایج همبستگی صفات (جدول ۴) نیز همبستگی عملکرد دانه با عوامل افزایش‌دهنده فتوسنتز از جمله شاخص سطح برگ، هدایت روزه‌ای و ارتفاع بوته مشاهده شد. در شرایط وقوع تنش، کاربرد اسیدسالیسیلیک توانسته از طریق حفظ رطوبت در گیاه (Ghassemi, Golezani, Zafarani-Moattar, Raey, & Mohammadi, 2010)، افزایش فعالیت‌های متابولیکی و تقسیم سلولی، افزایش ظرفیت مخزن در جذب مواد فتوسنتزی (Balochi, 2013) و افزایش گسیل آسیمیلات‌ها و مواد حاصل از فتوسنتز به دانه‌ها (Zhou, Mackeuzie, Madramootoo, & Smith, 1999) و در نتیجه افزایش تجمع ماده خشک دانه، تا حدودی اثرات منفی تنش را تقلیل بخشد. احتمالاً کاربرد اسیدسالیسیلیک موجب تولید خوشه کوتاه‌تر و انتقال بیش‌تر مواد فتوسنتزی به سمت دانه‌ها شده و با کاهش تولید دانه‌های چروکیده و پوک، با وزن خشک بسیار کم (بسیار ریز) افزایش

References

1. Abd Allah, M. M. SH., El-Bassiouny, H. M. S., Elewa, T. A. E., & El-Sebai, T. N. (2015). Effect of salicylic acid and benzoic acid on growth, yield and some biochemical aspects of quinoa plant grown in sandy soil. *International Journal of Chemtech Research*, 8(12), 216-225. ISSN: 0974-4290
2. Abdelaal, M. M. M., & Mohamed, Y. F. Y. (2017). Effect of pinching and paclobutrazol on growth, flowering, anatomy and chemical compositions of potted geranium (*Pelargonium zonal* L.) plant. *International Journal of Plant and Soil Science*, 17(6), 1-22. <https://doi.org/10.9734/IJPSS/2017/34527>
3. Adir, N., Zer, H., Shochat, S., & Ohad, I. (2003). Photoinhibition—a historical perspective. *Photosynthesis Research*, 76(1), 343-370.
4. Agarawal, S., Sairam, R. K., Srivasta, G. C., & Meena, R. C. (2005). Changes in antioxidant enzymes activity and oxidative stress by abscisic acid and salicylic acid in wheat genotypes. *Biologia Plantarum*, 49, 541-550. <https://doi.org/10.1007/s10535-005-0048-z>
5. Asadi Nasab, N., Nabipour, M., Roshanfekar, H., & Rahnama Ghahfarokhi, A. (2019). Effect of foliar application of growth regulators on growth and induction of terminal heat tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 17(3), 467-476. <https://sid.ir/paper/383609/en>
6. Azimi, M. S., Sayfzadeh, J. S., & Zare, S. (2013). Evaluation of amino acid and salicylic acid application on yield and growth of wheat under water deficit. *International Journal of Agriculture and Crop Science*, 5(8), 816-819. ISSN 2227-670X
7. Balochi, H. R. (2013). Effect of seed priming on germination and seedling growth in pumpkin seeds paper (*Cucurbita pepo*) under salt stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 3, 169-179. (in Persian with English abstract)
8. Barnabas, B., Jager, K., & Feher, A. (2008). The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environment*, 31, 11-38. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01727.x>
9. Barr, H. D., & Weatherley, P. E. (1962). A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficit in leaves. *Australian Journal of Biological Sciences*, 15, 413-428. <https://doi.org/10.1071/BI9620413>
10. El-Tayeb, M. A. (2005). Response of barley grains to the interactive effect of salinity and salicylic acid. *Plant Growth Regulation*, 45, 215-225.
11. FAO. (2011). *Quinoa: an ancient crop to contribute to world food security*. Regional Office for Latin America and the Caribbean, 63 p.
12. Fazelian, N., & Asrar, Z. (2011). Arsenic and salicylic acid interaction on the growth and some other physiological parameters in *Matricaria recutita*. *Journal of Plant Biology*, 8, 1-11. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.20088264.1390.3.8.2.0>
13. Fischer, S., Wilckens, R., Jara, J., Aranda, M., Valdivia, W., Bustamante, L., Graf, F., & Obal, I. (2017). Protein and antioxidant composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) sprout from seeds submitted to water stress, salinity and light conditions. *Industrial Crops and Products*, 107, 558-564. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.04.035>
14. Gallagher, J. N., & Biscoe, P. V. (1987). A Physiological analysis of cereal yield. II. Dry matter. *Agricultural Progress*, 53, 51-70.
15. Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Vacher, J., Mamani, R., Mendoza, J., Huanca, R., Morales, B., Miranda, R., Cusicanqui, J., & Taboada, C. (2008). Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 28(3), 427-436. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2007.11.008>
16. Gharineh, M., Bakhshande, A., Andarzian, B., & Shirali, M. (2019). Effects of sowing dates and irrigation levels on morphological traits and yield of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in Khuzestan. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(3), 149-156. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.209566.654135>
17. Ghassemi-Golezani, K., Zafarani-Moattar, P., Raey, Y., & Mohammadi, M. (2010). Response of *Pinato bean* cultivars to water deficit at reproductive stages. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 8, 801-804. <http://www.isfae.org/scientificjournal.php>
18. Hall, A. E. (1992). Breeding for heat tolerance. *Plant Breeding Reviews*, 10, 129-168.
19. Harper, J. P., & Balke, N. E. (1981). Characterization of the inhibition of K⁺ absorption in wheat roots by salicylic acid. *Plant Physiology*, 68, 1349-1353.
20. Hong-Bo Shao, L., Ye Chu, C., Abdul Jaleel, P., Manivannan, R., Panneer Selvam, M., & Shao, A. (2009). Understanding water deficit stress-induced changes in the basic metabolism of higher plants-biotechnologically and sustainably improving agriculture and the eco-environment in arid regions of the globe. *Critical Reviews in Biotechnology*, 29, 131-151. <https://doi.org/10.1080/07388550902869792>
21. Hussain, S., Ali, A., Ibrahim, M., Saleem, M. F., & Bukhsh, A. (2012). Exogenous application of abscisic acid for drought tolerance in sunflower (*Helianthus annus* L.). *Journal of Animal and Plant Sciences*, 22(3), 806-826.
22. Iqbal, M., Khan, R., & Khan, N. A. (2013). Salicylic acid and jasmonates: approaches in abiotic stress tolerance. *Plant Biochemistry and Physiology*, 1(4), 1000e113. <https://doi.org/10.4172/2329-9029.1000e113>

23. Ismail, H., Maksimovic, J. D., Maksimovic, V., Shabala, L., Živanovic, B. D., Tian, Y., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2016). Rutin, a flavonoid with antioxidant activity, improves plant salinity tolerance by regulating K⁺ retention and Na⁺ exclusion from leaf mesophyll in quinoa and broad beans. *Function of Plant Biology*, 43, 75-86. <https://doi.org/10.1071/fp15312>
24. Jahanbakhsh, S., Khajoei-Nejad, Gh. R., Moradi, R., & Naghizadeh, M. (2021). Effect of planting date and salicylic acid on some quantitative and qualitative traits of quinoa as affected by drought stress. *Environmental stresses in crop sciences*, 13(4), 1149-1167. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2313.1595>
25. Kaydan, D., & Yagmur, M. (2006). Effects of different salicylic acid doses and treatments on wheat (*Triticum aestivum* L.) and lentil (*Lens culinaris* Medik.) yield and yield components. *Journal of Agronomy College of Ankara University*, 12, 285-293.
26. Koocheki, A., & Sarmadnia, G. (1999). Physiology of crop plants (Translation). University of Tehran Publications. (in Persian with English abstract).
27. Kumar, R. R., Goswami, S., Sharma, S. K., Singh, K., Gadpayle, K. A., Kumar, N., Rai, G. K., Singh, M., & Rai, R.D. (2012). Protection against heat stress in wheat involves change in cell membrane stability, antioxidant enzymes, osmolyte, H₂O₂ and transcript of heat shock protein. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 4(4), 83-91. <https://doi.org/10.5897/IJPPB12.008>
28. Mir Mohammadi Meybodi, A., & Qara Yazdi, B. (2012). *Physiological and racial aspects of salinity stress in plants*. First edition, Isfahan University of Technology, 274 pages.
29. Moaveni, P., Ranji, Z., & Noormohammadi, Q. (2003). Investigating some physiological parameters of organic compounds to identify genotypes resistant and sensitive to salinity in sugar beet. *Journal of Agricultural Sciences of Iran*, 6(9), 84-98.
30. Modarresi, M., Mohammadi, V., Zali, A., & Mardi, M. (2010). Response of wheat yield and yield related traits to high temperature. *Cereal Research Communications*, 38, 23-31. <https://doi.org/10.1556/CRC.38.2010.1.3>
31. Moharekar, S. T., Lokhande, S. D., Hara, T., Tanaka, R., Tanaka, A., & Chavan, P. D. (2003). Effects of salicylic acid on chlorophyll and carotenoid contents on wheat and moong seedlings. *Photosynthetica*, 41, 315-317. <https://doi.org/10.1023/B:PHOT.0000011970.62172.15>
32. Pask, A., Pietegalla, J., Mullan, D., & Reynolds, M. (2012). *Physiological breeding II: a field guide to wheat phenotyping*. Iv, 132 pages.
33. Pulvento, C., Riccardi, M., Lavini, A., D'Andria, R., Iafelice, G., & Marconi, E. (2010). Field trial evaluation of two *Chenopodium quinoa* genotypes grown under rain-fed conditions in a typical Mediterranean environment in south Italy: Quinoa in the Mediterranean. *Journal of Agronomy and Crop Sciences*, 196, 407-411. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2010.00431.x>
34. Ritchie, S. W., Nguyen, H. T., & Haloday, A. S. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotype differing in drought resistance. *Crop Science*, 30, 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
35. Sakhabinova, A. R., Fakhudinova, D. R., Bezukova, M. V., & Shakirova, F. M. (2003). Salicylic acid prevents damaging action of stress factors on wheat plants. *Bulgarian Journal of Plant Physiology*, 23, 314-319.
36. Salarpour Ghoraba, F., & Farahbakhsh, H. (2014). Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Agricultural crop management (Journal of Agriculture)*, 16(3), 765-778. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2014.53276>
37. Sezen, S. M., Yazar, A., Tekin, S., & Yildiz, M. (2016). Use of drainage water for irrigation of quinoa in a Mediterranean environment. In *Proceedings of 2nd World Irrigation Forum (WIF2)*, 6-8.
38. Shakirova, F. M., Sakhabinova, A. R., Bezrukova, M. V., Fatkhudinova, R. A., & Fatkhudinova, D. R. (2003). Changes in the hormonal status of wheat seedlings induced by salicylic acid and salinity. *Plant Science*, 164(3), 317-322. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00415-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00415-6)
39. Sharifi, S., Shariatmadari, F., & Yaghobfar, A. (2011). Effects of inclusion of hull-less barley and enzyme supplementation of broiler diets on growth performance, nutrient digestion and dietary metabolisable energy content. *Journal of Central European Agriculture*, 13(1), 37-52. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/13.1.1035>
40. Singh, B., & Usha, K. (2003). Salicylic acid induced physiological and biochemical changes in wheat seedlings under water stress. *Plant Growth Regulation*, 39, 137-141.
41. Srivastava, S., Srivastava, A. K., Singh, B., Suprasanna, P., & D'souza, S. F. (2013). The effect of arsenic on pigment composition and photosynthesis in *Hydrilla verticillata*. *Journal of Plant Biology*, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0288-7>
42. Van der Werf, A. K. (2007). *Plant functional types in: Modelling Inter-Plant competition in Natural and Agro-Ecosystems*. Workshop Report. Department of Theoretical Production Ecology. Wageningen Agricultural University. 12 to 14 November 1997.
43. Watson, D. J. (1947). Comparative physiological studies on the growth of field crops: I. Variation in net

- assimilation rate and leaf area between species and varieties, and within and between years. *Annals of Botany*, 11(41), 41-76.
44. Yang, A., Akhtar, S. S., Amjad, M., Iqbal, S., & Jacobsen, S. E. (2016). Growth and Physiological Responses of Quinoa to Drought and Temperature Stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202, 445-453. <https://doi.org/10.1111/jac.12167>
45. Yazdanpanah, S., Baghizadeh, A., & Abbassi, F. (2011). The interaction between drought stress and salicylic and ascorbic acids on some biochemical characteristics of *Satureja hortensis*. *African Journal of Agricultural Research*, 6(4), 798-807. ISSN: 1991-637X
46. Zaki, R. N., & Radwan, T. E. (2011). Improving wheat grain yield and its quality under salinity conditions at a newly reclaimed soil by using different organic sources as soil or foliar applications. *Journal of Applied Sciences Research*, 7, 42-58. ISSN: 1819-544X
47. Zhou, X., Mackeuzie, A., Madramootoo, C., & Smith, D. (1999). Effect of some injected plant growth regulators with or without sucrose on grain production, biomass and photosynthetic activity of field grown corn plants. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 103-10. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00331.x>

Effect of Nitrogen Sources on Quantitative and Qualitative Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Competition with Weeds

F. Alaei¹, S. Maleki Farahani^{2*}, H. Habibi³, M. H. Fotokian², M. Khodadadi⁴

1- Ph.D. Student, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Crop Production and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Shahed University, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Seed and Plant Improvement Institute, Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: maleki@shahed.ac.ir)

Received: 22 October 2023

Revised: 14 January 2024

Accepted: 26 February 2024

Available Online: 14 May 2024

How to cite this article:

Alaei, F., Maleki Farahani, S., Habibi, H., Fotokian, M. H., & Khodadadi, M. (2024). Effect of Nitrogen Sources on Quantitative and Qualitative Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Competition with Weeds. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 155-167. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.84994.1276>

Introduction


One of the important challenges in the agricultural sector is the low use efficiency of chemical fertilizers, especially nitrogen fertilizers, as well as the competition of weeds with crops. In this regard, it is important to use management solutions to reduce the use of chemical inputs. To increase the quality level of food used by humans while reducing environmental pollution. One of the management solutions is the use of controlled-release fertilizers. Considering the desire to increase the quantity and quality of the coriander plant and also to identify the best-studied genotype, research was conducted in this field to investigate the effect of different sources of nitrogen fertilizer and the competition of weeds in the region on the agricultural and medicinal properties of different genotypes of coriander.

Materials and Methods

The experiment was carried out in factorial form based on a randomized complete block design with three replications in the teaching and research farm of the Faculty of Agriculture Shahed University of Tehran in the 2019 season. An experimental treatment consisted of three factors including: 1) nitrogen fertilizer sources (Control treatment: without nitrogen fertilizer; SCU: with rate of N, 70 kg ha⁻¹, and urea: with rate of N, 70 kg ha⁻¹), 2) genotypes (Nahavandi, Pishgam and, Ethiopia), and 3) weeding (weedy and weeding by hand). The experimental plot size was 2×2 m² dimensions with a plant spacing of 25 cm ×10 cm. A space of 1.5 m between plots and 2 m between blocks were maintained. At the end of the growth period, coriander plants of 1 m² per plot were harvested, and fruit yield per plot was measured. Also, in the plots under weed competition, the competition index was evaluated. Sampling of weeds was done in two stages (in the growing stage of the main plant and another in the ripening stage of the seeds) using quadrats of 30 x 30 cm and the abundance and biomass of each plot was calculated. To evaluate the percentage of the essential oil of coriander seeds, the Clevenger device was used with the steam distillation method to identify and determine the essential oil compounds extracted from the gas chromatography device.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.84994.1276>

Results and Discussion

Related to the competitive indices, results showed that, the Pishgam genotype had the highest ability to withstand competition (%), and the lowest yield loss (%), and, the Nahandi genotype had the lowest ability to withstand competition (%) and the highest yield loss (%). It seems that the Pishgam genotype was more successful in competing with weeds due to its early maturity and higher germination rate. So, it has a higher ability to tolerate weed competition than other genotypes. Regarding fruit yield, the findings of this experiment revealed a significant increase in yield with the application of nitrogen fertilizer in the weeded plots. Additionally, the Ethiopian genotype exhibited the highest fruit yield among the weeded plots. However, the fruit yield of genotypes did not show significant differences in the un-weeded plots. This suggests that weed competition significantly limited fruit yield compared to the inherent characteristics of the genotypes assessed in this trial. Ethiopian genotype showed the highest percentage of essential oil in all nitrogen fertilizer sources. In the Pishgam genotype, the most essential oil was obtained in the sulfur-coated urea treatment but, in the Nahavandi genotype, the most essential oil belonged to the control fertilizer treatment. Due to the difference in the genetic structure of genotypes, various results have been observed, which can be due to the difference in the fertility of different genotypes. Also, the results of this experiment showed that the main composition of coriander essential oil is linalool.

Conclusion

The results showed that N fertilizer and weeding significantly increased seed yield. And the Ethiopian genotype had the highest seed yield and essential oil in weeded plots. Also, the Pishgam genotype had the highest Ability to withstand competition (%) and the lowest Yield loss (%).

Keywords: Coriander, Essential oil, Sulfur coated urea, Urea, Weed control

مقاله پژوهشی

جلد ۲۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، ص ۱۶۷-۱۵۵

تأثیر منبع تامین نیتروژن بر عملکرد کمی و کیفی ژنوتیپ‌های گشنیز (*Coriandrum sativum* L.) در شرایط رقابت با علف‌های هرز

فاطمه علائی^۱، سعیده ملکی فراهانی^{۱*}، حسن حبیبی^۲، محمدحسین فتوکیان^۲، مصطفی خدادادی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

چکیده

به منظور بررسی تأثیر منبع تامین نیتروژن بر صفات کمی و کیفی ژنوتیپ‌های گشنیز در شرایط رقابت و عدم رقابت با علف‌های هرز آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد در سال ۱۳۹۹ انجام شد. عوامل آزمایش شامل ژنوتیپ‌های گشنیز (نهایندی، پیشگام، اتیوپی) و منابع کود نیتروژن (اوره، اوره با پوشش گوگردی، شاهد) در شرایط وجین دستی و بدون وجین علف‌های هرز بودند. نتایج نشان داد ژنوتیپ پیشگام دارای بالاترین توانایی تحمل رقابت (۴۵/۵) و کمترین تغییر در پتانسیل عملکرد (۵۴/۴۸) و ژنوتیپ نهایندی دارای پایین‌ترین شاخص تحمل (۹/۶) و بالاترین تغییر در پتانسیل عملکرد (۹۹/۳۳) بود. تغذیه گیاه با کود نیتروژن توانست به طور معنی‌داری عملکرد گیاه را در شرایط عدم حضور علف‌های هرز افزایش دهد. در بین ژنوتیپ‌ها، اتیوپی (۵۶۳/۰۱ کیلوگرم در هکتار) دارای بالاترین عملکرد دانه بود اما بین تیمارهای کودی و ژنوتیپ‌ها، در شرایط رقابت با علف‌های هرز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. براساس نتایج اثر متقابل کود نیتروژن در ژنوتیپ بر درصد اسانس معنی‌دار شد. ژنوتیپ اتیوپی تیمار شده با کود اوره بیشترین و ژنوتیپ نهایندی تیمار شده با کود اوره کمترین درصد اسانس را داشتند. بالاترین درصد لینالول به‌عنوان اصلی‌ترین ترکیب شناسایی شده در اسانس گشنیز، متعلق به ژنوتیپ نهایندی تیمار شده با کود اوره با پوشش گوگردی بود. به‌طور کلی درصد ترکیبات اسانس، بین ژنوتیپ‌های مختلف نتایج متفاوتی را نشان داد که نشان‌دهنده تأثیرگذاری ژنتیک بر این ترکیبات می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، اوره، اوره با پوشش گوگردی، کنترل علف هرز، گشنیز

مقدمه

یکی از چالش‌های بخش کشاورزی، به‌ویژه منابع کودهای نیتروژن است. چرا که بخش زیادی از این کود به روش‌های مختلف از جمله آبشویی، دنیتریفیکاسیون، تصعید، اکسیداسیون و احیا از دسترس گیاه خارج شده و قابل جذب و استفاده توسط گیاه نمی‌باشد

(Incrocci et al., 2020). با توجه به موارد ذکر شده، راهکارهای

زراعی، از جمله مدیریت تغذیه گیاه بسیار حائز اهمیت است. استفاده از کودهای کندرها (Slow Release Fertilizer) از جمله راهکارهای مدیریتی موثر و مفید در این راستا می‌باشد. آزادسازی کنترل شده مواد غذایی مورد نیاز گیاه، از جمله اهداف استفاده از این کودها می‌باشد که ضمن کاهش اثرات منفی اعمال بیش از حد کودهای شیمیایی، موجب افزایش کارایی آن می‌شود (Min Zhang et al., 2016). کود اوره با پوشش گوگردی در بین کودهای آهسته رهش سهم بالایی از تولید را به خود اختصاص داده چرا که عنصر گوگرد از ارزان‌ترین و پرکاربردترین مواد جهت پوشش دار کردن کودها به شمار می‌رود. این عنصر به دلیل انحلال پذیری پایین، جهت پوشش دار کردن کودهای شیمیایی مناسب می‌باشد همچنین به‌عنوان یک کود مستقل نیز دارای ارزش زراعی است (Hamidi, Prakasita, Jayyid Zuhdan, Widiyastuti, & Setyawan, 2018). در این راستا گزارش‌ها، تأثیر مثبت کودهای کندرها روی عملکرد کمی و کیفی گیاهانی مانند گیاه

- ۱- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
 - ۲- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
 - ۳- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه شاهد، تهران، ایران
 - ۴- استادیار، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- *- نویسنده مسئول:

(Email: maleki@shahed.ac.ir)

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.84994.1276>

بیش شیاردار است (Abdelkader, Gendy, Bardisi, & Elakkad, 2018). منشا اولیه گیاه گشنیز نواحی مدیترانه و خاورمیانه می‌باشد. بیشترین سطح زیر کشت گشنیز در ایران، متعلق به استان همدان و شهرستان نهاوند و اقلید می‌باشد (Jamshidiyan & Talat, 2023). محتوای دانه گیاه گشنیز شامل ۱۰ تا ۲۷ درصد اسید چرب و بین ۰/۰۳ تا ۲/۷ درصد روغن فرار (اسانس) می‌باشد (Yeganehpoor, Zehtab Salmasi, Shafagh Kolvanagh, & Ghassemi Golezani, & Dastborhan, 2016). لینالول^۲ عمده ترین ترکیب موجود در اسانس این گیاه است و در بیشتر مطالعات میزان آن را بیش از ۶۰ درصد از اسانس کل ذکر کرده‌اند (Shahwar et al., 2012). از اسانس گشنیز در صنایع غذایی، آرایشی و بهداشتی استفاده‌های فراوان به عمل می‌آید. تحقیقات دارو شناسی، اثرات ضد میکروبی و آنتی‌اکسیدانی برای این گیاه گزارش کرده‌است (Laribi, Kouki, M'Hamdi, & Bettaieb, 2015). با توجه به تمایل جهت افزایش کمی گیاه گشنیز و ارتقا کیفی آن و همچنین شناسایی بهترین ژنوتیپ مورد مطالعه، پژوهشی در این زمینه با هدف بررسی تاثیر منابع مختلف کود نیتروژن و رقابت علف‌های هرز موجود در منطقه، روی خصوصیات زراعی و دارویی ژنوتیپ‌های مختلف گشنیز اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شاهد تهران با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ دقیقه و ۲۰ درجه شرقی و ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا و بارش سالانه ۲۳۸/۹ میلی‌متر در آبان ماه ۱۳۹۹ تا اردیبهشت ۱۴۰۰ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل ۱- ژنوتیپ: نهاوندی، پیشگام و اتیوپی ۲- تیمار کود شامل: کود اوره، کود اوره با پوشش گوگردی و عدم استفاده از کود نیتروژن به‌عنوان شاهد و ۳- مدیریت علف هرز: در دو سطح وجین و عدم وجین بود. ژنوتیپ نهاوندی و اتیوپی از موسسه تحقیقات نهال و بذر کرج و ژنوتیپ پیشگام از شرکت دانش بنیان گنجینه بذر سبز فناور آسیا تهیه شدند. قبل از آماده‌سازی زمین و اجرای نقشه، جهت بررسی وضعیت عناصر خاک و تعیین بافت خاک، نمونه‌گیری از عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

دارویی سرخارگل (*Echinacea purpurea* L.)، گیاه آفتابگردان (Sunflower) و گیاه دارویی زعفران (Ahmadi, Saffron Samadi, & Rahimi, 2020; Perveen et al., 2021; Rezaian & Forouhar, 2004) را تایید کرده‌اند. با توجه به روند رو به رشد هزینه‌های تولید کودهای شیمیایی، انتخاب موثرترین منبع کودی و همچنین برآورد حد مطلوب مقدار کود مورد نیاز که منجر به بیشترین میزان محصول و بالاترین کارایی کودهای شیمیایی شود، از اهداف کشاورزان و پژوهشگران است (Poshtdar, Abdali Mashhadie, & Moradi, Siadat, & Bakhshandeh, 2016).

از چالش‌های دیگر در بخش کشاورزی تداخل و حضور علف‌های هرز است. علف‌های هرز با ایجاد رقابت و محدود کردن منابع مورد نیاز گیاه، باعث کاهش کمی و کیفی محصول می‌شوند. لذا توجه به عناصر غذایی موجود در خاک، در مدیریت علف‌های هرز بسیار مورد توجه می‌باشد. چنانچه بتوان با استفاده از روش‌های مدیریتی، علف‌های هرز را کنترل کرده و کاربرد علف‌کش‌ها به حداقل برسد، ضمن توجه به پایداری تولید محصول زراعی، می‌توان هم‌سو با طبیعت، در جهت اهداف بلندمدت و کشاورزی پایدار قدم‌های موثری برداشت. با بررسی ساختار جامعه علف‌های هرز و همچنین مطالعه دقیق فلور و تنوع گونه‌ای و بررسی نیازهای غذایی آن‌ها، می‌توان قدم‌های موثر در مدیریت علف‌های هرز برداشته و عملکرد و صرفه اقتصادی را افزایش داد (Karimi, Zaferian, & Emadi, 2019). به‌عنوان مثال، استفاده از کودهای کندرها که از قرار گرفتن یکباره و حجم بالای نیتروژن در دسترس علف‌های هرز جلوگیری می‌کند، می‌تواند در این راستا مورد توجه و بررسی باشد. همچنین اختلاف در ژنوتیپ از عوامل موثر دیگر در رقابت گیاه زراعی با علف‌های هرز می‌باشد. در آزمایش‌هایی که (Amini, Pejgan, & Dabagh, 2014; Gebrehiwot et al., 2020) به ترتیب در ارتباط با قدرت رقابت ژنوتیپ‌های لوبیا (*Phaseolus Vulgaris* L.) و تف (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) با علف‌های هرز انجام دادند، برتری ژنوتیپ‌های مقاوم که منجر به کاهش تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز شده و کمترین تغییر در پتانسیل عملکرد گیاه زراعی را ایجاد کرده، تایید کرده‌اند. در واقع اتکا به پتانسیل ژنتیکی و شناسایی و معرفی ارقام، با قدرت رقابت بالا با علف‌های هرز و همچنین پتانسیل بالای تولید عملکردی از راهکارهای نسبتاً سریع و ارزان می‌باشد که می‌تواند مورد پژوهش و بررسی قرار گیرد (Masoumi, Asghari, Tavakoli Dinani, & Makarian, 2013).

گیاه دارویی گشنیز با نام علمی *Coriandrum Sativum* L. متعلق به خانواده چتریان^۱ گیاه علفی یکساله، دو لپه، نهاندانه، با ارتفاع ۲۰ تا ۱۴۰ سانتی‌متر می‌باشد که دارای ساقه راست و شفاف و کم و

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 1- Some physical and chemical properties of the soil

سال Year	عمق Depth	بافت خاک Texture	درصد اشباع Sp %	هدایت الکتریکی EC dS m ⁻¹	شاخص واکنش pH	کربن آلی O.C %	نیتروژن کل (%) Total N %	فسفر P available ppm	پتاسیم K available ppm
2020-2021	0-30	Loamy	36	3.36	7.94	1.76	0.15	51.8	753.9

گردید (رابطه ۱) (Karimi et al., 2019):

$$AWC = V_i / VP \times 10 \quad (1)$$

که در آن، V_i عملکرد تیمار در شرایط آلوده به علف هرز و VP عملکرد همان تیمار در شرایط عاری از علف هرز می‌باشد. بیشتر بودن مقدار AWC ، نشان‌دهنده‌ی توانایی بیشتر تیمار برای تحمل به علف هرز است.

برای اندازه‌گیری تغییر در پتانسیل عملکرد که با عنوان افت عملکرد بیان می‌شود (Yield loss) تیمارهای مورد آزمایش که تحت رقابت با علف هرز بودند از رابطه (۲) استفاده شد (Gebrehiwot et al., 2020):

$$Yield\ loss\ (\%) = (y_1 - y_2) / y_1 \quad (2)$$

که در این رابطه y_1 عملکرد تیمار در پلات‌های وجین‌شده (بر حسب کیلوگرم در هکتار)، و y_2 عملکرد تیمار در پلات‌های وجین نشده و آلوده به علف هرز (بر حسب کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. به منظور بررسی تغییر در پتانسیل عملکرد تیمارها، تفاوت عملکرد پلات‌های وجین‌شده و وجین نشده برای هر تیمار محاسبه شد. که کاهش عملکرد پلات‌های وجین‌شده، به دلیل رقابت علف‌های هرز با گیاه زراعی رخ داده است.

به‌منظور ارزیابی درصد اسانس بذور گشنیز، از دستگاه کلونجر با روش تقطیر با آب استفاده شد. بدین صورت که ۱۰۰ گرم از بذور برداشت‌شده از هر تیمار، وزن شده و پس از آسیاب شدن، به مدت چهار ساعت در دستگاه کلونجر جهت استخراج اسانس قرار داده شدند. اسانس تولیدشده، از دستگاه خارج و آب‌گیری با سولفات سدیم انجام شد و در ظروف تاریک و دمای چهار درجه سانتی‌گراد نگهداری شد و سپس مورد ارزیابی قرار گرفت (Beyzi, Karaman, Gunes, & Beyzi, 2017). با توجه به این‌که کرت‌هایی که در شرایط رقابت با علف هرز (عدم وجین) قرار داشتند، عملکرد دانه بسیار کاهش یافت و میزان بذر جهت اسانس‌گیری به میزان کافی نبود، لذا بررسی درصد اسانس برای تیمارهای ژنوتیپ و کود انجام شد. جهت شناسایی و تعیین ترکیبات اسانس، ۰/۵ میکرولیتر اسانس استخراجی رقیق شده با سیکلوهاگزان به دستگاه کروماتوگرافی گازی (Agilent 6890A، چین) حاوی ستون HP-5s (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵۰ میکرومتر

پس از اقدامات مورد نیاز جهت خاک‌ورزی و تهیه زمین، کرت بندی (ابعاد ۲×۲ متر) و ایجاد جوی و پشته در هر کرت انجام شد. فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر و فاصله بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد. کاشت در آبان ماه سال ۱۳۹۹ به‌صورت دستی و در عمق دو سانتی‌متری خاک انجام شد. مقدار کود اوره (۴۶ درصد نیتروژن خالص) و اوره با پوشش گوگردی (۳۱ درصد نیتروژن خالص) مورد استفاده در این آزمایش براساس آنالیز نیتروژن موجود در خاک و میزان نیتروژن توصیه‌شده در گیاه گشنیز به میزان ۷۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار تعیین شد (Angeli, Delazari, Nick, Ferreria, & Silva, 2016) به‌ترتیب معادل ۱۵۲/۱۷ و ۲۲۵/۸ کیلوگرم در هکتار اوره و اوره با پوشش گوگردی تعیین شد. اعمال کود اوره طی دو مرحله (۶۰ درصد در زمان کشت و ۴۰ درصد در اسفند ۱۳۹۹ که گیاه در مرحله ساقه‌روی قرار داشت) و کود اوره با پوشش گوگردی در یک مرحله و به‌صورت پایه در زمان کاشت صورت گرفت (Min Zhang et al., 2016). کشت بذور به‌صورت خشکه‌کاری، در طرفین پشته‌ها، فاصله بین دو خط کشت ۲۵ سانتی متر و روی ردیف‌ها ۱۰ سانتی‌متر انجام شد. آبیاری کرت‌ها تا زمان استقرار بوته‌ها سه روز یکبار و بعد از آن با در نظر گرفتن نیاز گیاه و شرایط محیطی محل کشت، ۷ تا ۹ روز یکبار انجام شد. جهت تعیین عملکرد دانه در واحد سطح، در تاریخ ۲۹ اردیبهشت ۱۴۰۰، مساحت یک متر مربع از ردیف‌های میانی گشنیز با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ها (حذف دو ردیف کناری و ۲۵ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای هر کرت) به صورت کف‌بر برداشت شد. دانه‌های پاک‌شده، توسط ترازوی حساس وزن شدند. در کرت‌هایی که تیمار عدم حضور علف هرز در نظر گرفته شده بود، عملیات وجین به‌صورت دستی و به محض مشاهده علف‌های هرز صورت گرفت. نمونه‌برداری از علف‌های هرز طی دو مرحله (در مرحله رویش گیاه اصلی و دیگری در مرحله خمیری دانه ها به‌ترتیب در اسفند ۱۳۹۹ و اردیبهشت ۱۴۰۰) به‌وسیله کواترهای ۳۰ در ۳۰ سانتی‌متر به‌صورت تصادفی انجام شد و تراکم و زیست‌توده هر کرت محاسبه شدند. جهت اندازه‌گیری تحمل تیمارهای مورد آزمایش به رقابت با علف هرز از شاخص توانایی تحمل رقابت (Ability to withstand competition) استفاده

شرایطی که در بالا ذکر شد و با استفاده از سطح زیر منحنی پیک‌ها میزان درصد ترکیبات موجود در اسانس محاسبه شد (Omid) (Mirzaei, Hojjati, Alizadeh Behbahani, & Noshad, 2020) (به دلیل هزینه‌بر بودن و در عین حال دقت مناسب دستگاه، شناسایی ترکیبات اسانس با یک تکرار انجام شد). در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن و در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای ترسیم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

نتایج و بحث

ترکیب گونه‌ای و فراوانی علف‌های هرز

ترکیب گونه‌ای و فراوانی علف‌های هرز موجود در مزرعه طی دو مرحله نمونه‌برداری (مرحله ۱: رویشی و مرحله ۲: رسیدگی بذر گشنیز) در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول نشان داده شده است، علف قناری با ۴۶ و ۵۰ درصد به‌ترتیب در نمونه برداری اول و دوم بیشترین درصد فراوانی علف هرز را در مزرعه گشنیز داشته است.

و ضخامت فاز ثابت ۰/۲۵ میکرومتر) متصل به طیف‌سنج جرمی (Agilent 5975، چین) تزریق شد. تنظیم برنامه دمایی ستون به این صورت بود که دمای اولیه آن ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود و دما تا رسیدن به ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت پنج درجه سانتی‌گراد در دقیقه افزایش یافت و پس از این که به مدت یک دقیقه در این دما باقی ماند، دما با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا رسیدن به دمای ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و پس از این که ۵ دقیقه در این دما متوقف شد، در نهایت با سرعت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه به دمای ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد رسانده شد. گاز هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌متر در دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. تنظیم دمای محفظه تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۴۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. در ادامه طیف‌سنجی جرمی با ولتاژ یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت انجام شد. با کمک طیف نرمال آلکان‌ها (C8-C24) و به‌دست آوردن شاخص بازداری آن‌ها (شاخص کواتز) و مقایسه با شاخص کواتز گزارش شده ترکیبات در نرم‌افزار NIST07 شناسایی انجام شد و طیف جرمی هر یک از اجزای ترکیبات اسانس با طیف موجود در کتابخانه wiley 7n.1 موجود در دستگاه GC/MS² مقایسه شد. با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی مجهز به آشکارساز FID با

جدول ۲- ترکیب گونه‌ای و فراوانی علف‌های هرز مزرعه گشنیز طی دو مرحله نمونه‌برداری

Table 2- Species composition and abundance of weeds in the coriander field in two stages of sampling

نام فارسی	نام علمی	نمونه‌برداری اول	نمونه‌برداری دوم
Persian name	Scientific name	First sampling (%)	Second sampling (%)
علف قناری	<i>Phalaris canariensis</i>	46	50
یولاف	<i>Avena fatua</i>	5	7
جو موشی	<i>Hordeum murinum</i>	25	25
بابونه	<i>Matricaria chamomilla</i>	4	3
گلرنگ وحشی	<i>Carthamus tinctorius</i>	13	2
بالنگو	<i>Lallemantia</i>	7	4
شبوی وحشی	<i>Malcolmia africana</i>	-	9

پایین‌تر از منطقه جوانه‌زنی بذر علف هرز از جمله راهکارهایی هستند که می‌توانند رشد و زیست‌توده علف‌های هرز را تحت تاثیر قرار دهند. احتمال می‌رود، با توجه به این که شرایط خاک آزمایش از نظر میزان نیتروژن پایه در شرایط نسبتاً مناسبی قرار داشت، اعمال کود نیتروژن تاثیر معنی‌داری ایجاد نکرده باشد. به‌طور کلی تحقیقات نشان داده که اثربخشی کود نیتروژن روی سبز شدن علف‌های هرز بستگی به موارد مختلف از جمله نوع علف هرز، نوع گیاه کشت‌شده تحت رقابت با علف هرز و شرایط محیطی دارد و می‌تواند افزایش و یا کاهش یابد و یا بدون تغییر باقی بماند (Sweeney, Karen, Laboski, & Davis, 2008).

تراکم و زیست‌توده علف هرز

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات اصلی و متقابل روی تراکم و وزن خشک علف‌های هرز طی هر دو مرحله نمونه‌برداری (مرحله ۱: رویشی و مرحله ۲: رسیدگی بذر گشنیز) اثر معنی‌داری نداشت. علی‌رغم این‌که، ژنوتیپ نهان‌دلی و تیمار کودی اوره بیشترین میزان تراکم و زیست‌توده علف هرز را در بین تیمارها نشان داد، اما این اختلاف با سایر تیمارهای آزمایشی تفاوت معنی‌داری نشان نداد که با نتایج ناگار و همکاران (Nagar & Kumar Jain, 2017) مطابقت دارد. تاخیر در کاربرد کود نیتروژن، استفاده از کودهای نیتروژن کندرها و یا قرار دادن کودهای نیتروژن

جدول ۳- تجزیه واریانس میانگین مربعات اثرات تیمار کودی و ژنوتیپ بر شاخص‌های رقابت

Table 3- The analysis of variance of mean square for the effect of fertilizer and genotype on competition indices

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	توانایی تحمل رقابت Ability to withstand competition (%)	افت عملکرد Yield loss (%)
بلوک Block	2	0.603 ^{ns}	60.20 ^{ns}
کود (A) Fertilizer	2	5.65 ^{ns}	566.06 ^{ns}
ژنوتیپ (B) Genotypes	2	19.78 ^{**}	1978.05 ^{**}
A×B	4	2.49 ^{ns}	24.379 ^{ns}
Error خطا	16	1.91	191.5
ضریب تغییرات CV (%)	-	25	18

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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

شاخص‌های رقابتی

توانایی تحمل رقابت

توانایی تحمل رقابت گشنیز با علف‌های هرز در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت بود (جدول ۳). طبق بررسی‌هایی که بر شاخص توانایی تحمل رقابت انجام شد مشخص گردید که ژنوتیپ پیشگام دارای بالاترین شاخص تحمل و ژنوتیپ نه‌اوندی و اتیوپی دارای پایین‌ترین شاخص تحمل بود (جدول ۴). سرعت اولیه سبز شدن، توانایی رشد گیاهچه، میزان سرعت رشد برگ، بسته شدن سریع‌تر تاج پوشش و همچنین طول دوره رسیدگی گیاه و مدت زمانی که گیاه در رقابت با علف هرز قرار دارد، از عواملی هستند که موجب اختلاف قدرت رقابتی در گیاهان مختلف می‌شود (Amini et al., 2014). با توجه به بررسی‌های انجام شده بر مراحل فنولوژیکی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد، ژنوتیپ پیشگام به دلیل زودرس‌تر بودن و سرعت بالاتر در جوانه‌زنی و مراحل رسیدگی، در رقابت با علف هرز موفق‌تر بوده و در نتیجه توانایی تحمل بالاتری در رقابت با علف هرز نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها داشت. گزارش‌های مختلف توانایی متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف را در ارتباط با شاخص‌های رقابت با علف هرز نشان می‌دهد که از آن جمله می‌توان به ژنوتیپ‌های گندم (*Triticum aestivum*) و کلزا (*Brassica napus*) اشاره کرد (Mennan & Zandstra, 2005; Zare, Bazrafshan, & Mostafavi, 2012). در ارتباط با تیمارهای کودی علی‌رغم این‌که بالاترین توان تحمل رقابت با علف‌های هرز متعلق به تیمار شاهد بود. اما بین تیمارها از لحاظ آماری تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد. نتایج برخی از تحقیقات حاکی از آن است که علف‌های هرز اصولاً مصرف کننده میزان بالایی از نیتروژن هستند که در نتیجه باعث می‌شود که نیتروژن در دسترس گیاه زراعی محدودتر شود (Moradi, Talebbeigi, Kazemeini, & Ghadiri, 2018).

تغییر در پتانسیل عملکرد

اثر ژنوتیپ در سطح احتمال ۱ درصد بر درصد افت عملکرد که بیانگر تغییر در پتانسیل عملکرد گشنیز می‌باشد، تفاوت معنی‌داری ایجاد کرد (جدول ۳). ژنوتیپ پیشگام دارای کمترین افت عملکرد بود. توانایی متفاوت ژنوتیپ‌های برنج در رقابت با علف هرز گزارش شده است که موبد نتایج این آزمایش می‌باشد (Ahmed et al., 2021). در ارتباط با تیمارهای کودی نتایج نشان داد که تیمار شاهد کمترین تغییر در پتانسیل عملکرد را نشان داد که نشان‌دهنده‌ی آن می‌باشد که اعمال کود نیتروژن موجب افزایش رشد علف‌های هرز شده و رقابت بیشتری با گیاه زراعی ایجاد کرده است. با توجه به این‌که واکنش علف‌های هرز مختلف در برخورد با یک منبع غذایی می‌تواند متفاوت باشد، می‌توان با شناخت روابط بین علف هرز، گیاه زراعی و نوع منبع غذایی شرایط را برای استفاده بهینه‌تر گیاه زراعی از منبع غذایی فراهم ساخت.

عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس داده‌های آزمایش نشان داد که اثرات اصلی کود، ژنوتیپ و مدیریت علف هرز و اثرات متقابل کود در علف هرز و ژنوتیپ در علف هرز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۵). طبق نتایج به‌دست‌آمده وجین علف‌های هرز موجب افزایش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گشنیز شد. در شرایط بدون اعمال کود، کرت‌های وجین شده عملکرد دانه بالاتری نسبت به کرت‌های وجین نشده داشت (شکل ۱). به نظر می‌رسد در شرایط حضور علف هرز به دلیل رقابت برای جذب عناصر غذایی، رطوبت و نور مورد نیاز، عملکرد نسبت به شرایط عدم رقابت کاهش می‌یابد (Ehteshami,

جدول ۴- اثر ژنوتیپ بر شاخص‌های رقابتی و تراکم و زیست‌توده علف‌های هرز طی دو مرحله نمونه‌برداری
 Table 4- Genotype effect on competitive indices, weed density and weed biomass in two stages of sampling

تیمار Treatment	افت عملکرد Yield loss (%)	توانایی تحمل رقابت Ability to withstand competition (%)
ژنوتیپ Genotype		
ناهواندی Nahavandi	90.33a	9.6b
پیشگام Pishgam	54.48b	45.5a
اتیوپی Etiopia	77.45a	22.5b

حروف غیرمشترک در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد با آزمون دانکن است.
 Non-common letters in each column indicate a significant difference with the Duncan test (0.05).

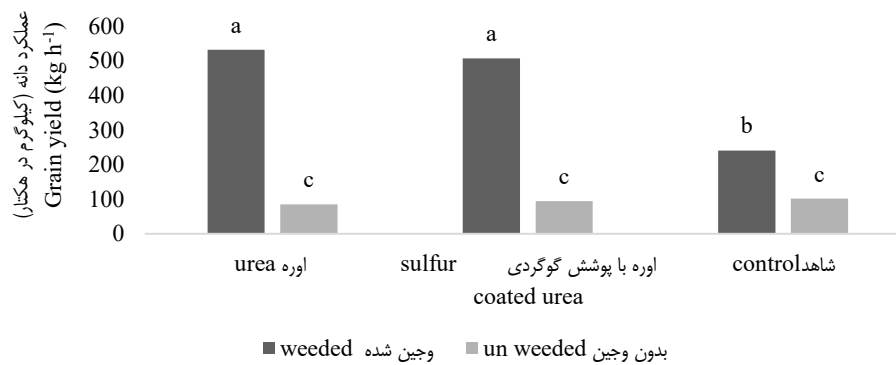
زیاد باشد، اعمال نیتروژن از ۳۰ تا ۹۰ کیلوگرم در هکتار، بر عملکرد بذر گیاه گشنیز تفاوت معنی‌داری ایجاد نخواهد کرد (Akbarinia, Daneshian, & Mohmmadbiegi, 2006). ایزگی (Izgi, 2020) هم در گزارش‌های خود معنی‌دار نبودن دوزهای مختلف نیتروژن را بر عملکرد دانه گشنیز گزارش کرده است از طرف دیگر مشاهده شد که تیمارهای کودی روی عملکرد گشنیز در شرایط رقابت با علف هرز تاثیر معنی‌داری نداشتند (شکل ۱). گزارش‌هایی نیز وجود دارد که تاییدکننده این نتیجه هستند و دلیل این امر را این‌طور گزارش کردند که کمبود آب و محدودیت‌هایی که در نتیجه رقابت بر گیاه تحمیل شده است، بسیار تاثیرگذارتر از اعمال کود به گیاه بوده و نمی‌تواند کاهش عملکرد ناشی از رقابت را جبران کند (Little, DiTommaso, Anna, Ketterings, & Mohler, 2021). همچنین مشاهده شد که در بین ژنوتیپ‌های مختلف این آزمایش در شرایط بدون حضور علف هرز، ژنوتیپ ایتیوپی دارای بالاترین عملکرد و در شرایط حضور علف هرز، ژنوتیپ پیشگام بالاترین عملکرد دانه را داشته است (شکل ۲).

در کرت‌هایی که کود نیتروژن اعمال شد، همان‌گونه که در شکل ۱ نشان داده تغذیه گیاه با اوره و اوره با پوشش گوگردی توانست به طور معنی‌داری عملکرد دانه را در شرایط عدم حضور علف هرز افزایش دهد. گزارش‌های اعلام‌شده در این راستا موید نقش مثبت و موثر کود نیتروژن در رشد و عملکرد گیاه می‌باشد (Fatholahi, Ehsanzadeh, & Karimmojeni, 2020; Ahmadi et al., 2020). نیتروژن در ساختمان اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه، بازهای پورینی، آلکالوئیدها و کلروفیل وجود دارد و از جمله عناصر غذایی پرمصرف و موثر می‌باشد که در بهبود رشد و عملکرد گیاه زراعی و دارویی نقش موثر دارد (Izgi, 2020). در بین تیمارهای کودی این آزمایش علی‌رغم نقش موثر هر دو کود در بهبود عملکرد گیاه کشت‌شده، بین این دو تیمار از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری وجود نداشت که احتمالاً به دلیل اعمال تقسیط کود اوره و نزدیک شدن عملکرد این کود با کود اوره با پوشش گوگردی است که دارای مکانیسم آزادسازی تدریجی می‌باشد، که در نهایت نتایج مشابهی را به همراه داشته است. همچنین در بعضی گزارش‌ها مشاهده شده در شرایطی که میزان نیتروژن قابل جذب در گیاه در خاک محل آزمایش

جدول ۵- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کود، ژنوتیپ و علف هرز بر عملکرد دانه گشنیز
 Table 5- The analysis of variance for the effect of fertilizer, genotype weed on coriander seed yield

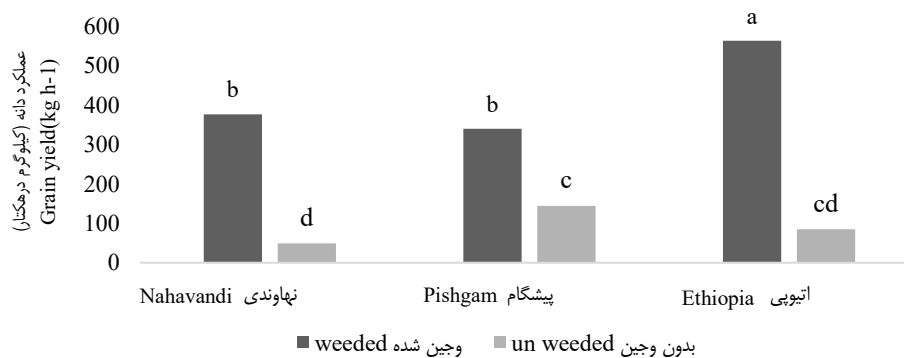
منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	عملکرد دانه Seed yield (kg ha ⁻¹)
بلوک Block	2	1315.27 ^{ns}
کود Fertilizer sources (A)	2	95771.62 ^{**}
ژنوتیپ Genotypes (B)	2	55296.22 ^{**}
علف هرز Weed (C)	1	1405197.31 ^{**}
A×B	4	1524.21 ^{ns}
A×C	2	125109.15 ^{**}
B×C	2	80274.29 ^{**}
A×B×C	4	15029.97 ^{ns}
Error	32	6095.35
ضریب تغییرات CV (%)	-	29

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد
 * and ** are significant at the probability level of 5% and 1%, respectively



شکل ۱- اثر متقابل منابع کودی و رقابت علف هرز بر عملکرد دانه گشنیز

Figure 1- The interaction effect of fertilizer sources and competition with weed on the grain yield of coriander



شکل ۲- اثر متقابل ژنوتیپ و رقابت علف هرز بر عملکرد دانه گشنیز

Figure 2- The interaction effect of genotype and competition with weed on the grain yield of coriander

این که اسانس‌ها از جمله ترکیبات ترپنوئیدی می‌باشند، بیوستنژ واحدی که در بیوستنژ آن نقش دارند به ATP و NADPH نیاز دارند. عنصر نیتروژن جهت سنتز این دو ترکیب از فاکتورهای ضروری به‌شمار می‌رود. از این رو انتظار می‌رود کاربرد کودهای شیمیایی موجب افزایش درصد اسانس گردد. اما با توجه به تفاوت در ساختار ژنتیکی در ژنوتیپ‌های مختلف، نتایج متفاوتی مشاهده شده که می‌تواند به دلیل تفاوت در کودپذیری ژنوتیپ‌های مختلف قابل بررسی باشد (Rahni, Nasri, Filizadeh, Kasraei, & Azadi, 2021). بنا به اظهارات عباس زاده و همکاران (Abbaszadeh *et al.*, 2006) تاثیر مثبت ناشی از میزان اندک کودهای شیمیایی بر درصد اسانس گیاه بادرنجبویه تایید شده است و طبق بررسی‌های آن‌ها مصرف کود نیتروژن جامد به میزان ۸۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت مصرف در خاک اختلاف معنی‌داری در این ارتباط با شاهد نداشت. این در حالی است که عبداللهی و همکاران (Abdolahi, Salehi, & Rahimi, 2016) اثر بخشی منابع مختلف کود نیتروژن را روی درصد اسانس گشنیز گزارش کرده‌اند، که این مسئله نشان‌دهنده آن است که ژنوتیپ‌ها و گیاهان مختلف تحت منابع کودی مختلف و حتی دوزهای متفاوت، واکنش‌های متفاوتی از خودشان نشان می‌دهند.

با توجه به بررسی‌هایی که بر مراحل فنولوژیکی ژنوتیپ‌های موردآزمایش انجام داده شد، مشاهده شد که ژنوتیپ پیشگام و نهانوندی به‌ترتیب زودرس‌ترین و دیررس‌ترین ژنوتیپ بودند. که به نظر می‌رسد به دلیل تفاوت در طول دوره رسیدگی ژنوتیپ‌های آزمایش و مدت زمانی که گیاه در رقابت با علف هرز قرار دارد، نتایج متفاوتی را در عملکرد دانه نشان داده‌اند.

درصد اسانس

نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در کود بر درصد اسانس گشنیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است (جدول ۶). همان‌طور که مقایسه میانگین‌ها نشان می‌دهد، ژنوتیپ‌های مختلف به منابع مختلف کود نیتروژن واکنش‌های متفاوت نشان دادند. به طوری که ژنوتیپ اتیوپی بیشترین درصد اسانس را در تمام تیمارهای کود نیتروژن نشان داد، با این وجود تفاوت آماری معنی‌داری بین تیمارهای کود نیتروژن در این ژنوتیپ مشاهده نشد. همچنین در ژنوتیپ پیشگام، بالاترین درصد اسانس در تیمار تغذیه‌شده با کود اوره با پوشش گوگردی و در ژنوتیپ نهانوندی در تیمار شاهد بدون اعمال کود بود (شکل ۳). با توجه به

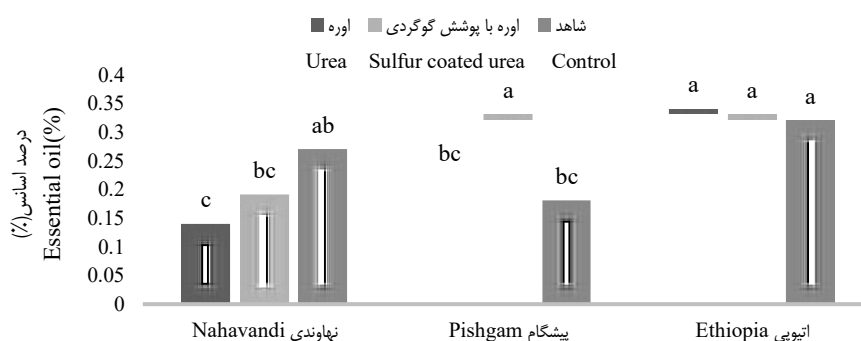
جدول ۶- تجزیه واریانس اثرات تیمارهای کود و ژنوتیپ بر درصد اسانس دانه گشنیز

Table 6- The analysis of variance for the effect of fertilizer and genotype on essential oil content (%) of seed coriander

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد اسانس Essential oil (%)
بلوک Block	2	0.004 ^{ns}
کود Fertilizer sources (A)	2	0.006 ^{ns}
ژنوتیپ Genotypes (B)	2	0.03 ^{**}
A×B	4	0.01 ^{**}
خطا Error	16	0.002
CV ضریب تغییرات (%)	-	17

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

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



شکل ۳- اثر متقابل منابع کودی و ژنوتیپ بر درصد اسانس دانه گشنیز در شرایط عدم حضور علف هرز

Figure 3- The interaction effect of fertilizer sources and genotype on essential oil percent of coriander

کیفیت اسانس

عدم معنی‌داری تیمار را نشان نمی‌دهد. همچنین نتایج نشان داد، اگرچه تاثیرگذاری تیمارهای مختلف کودی متفاوت بوده است اما درصد ترکیبات اسانس در ژنوتیپ‌های مختلف تفاوت‌های عددی قابل ملاحظه‌تری را نشان داد که نشان‌دهنده تاثیرگذاری ژنتیک بر خصوصیات رفتاری گیاه می‌باشد. گزارش‌های متعدد نشان داده است که ترکیبات اسانس گشنیز می‌تواند تحت تاثیر ژنوتیپ، منطقه و زیستگاه اصلی ژنوتیپ، شرایط محیطی و اکولوژیکی کشت، تنش‌های زیستی و غیرزیستی، اقدامات زراعی و غیره قرار گیرد و نتایج مختلفی را در ارتباط با صفات کیفی گیاه ایجاد کند (Laribi *et al.*, 2015).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد تغذیه گیاه با کودهای شیمیایی نیتروژن به‌طور معنی‌داری عملکرد گیاه را در شرایط وجین علف‌های هرز افزایش داد. با توجه به عدم تفاوت معنی‌دار کود و کود با پوشش گوگردی، به دلیل مصرف یکباره کود کود با پوشش گوگردی در زمان کشت و کاهش نیروی کارگری نسبت به اعمال کود تقسیط‌شده کود و همچنین قیمت مناسب آن نسبت به سایر کودهای رهش کنترلی، استفاده از این کود در اولویت می‌باشد.

ترکیبات شناسایی‌شده در اسانس میوه‌های گشنیز در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس نتایج این آزمایش، اصلی‌ترین ترکیب اسانس گشنیز لینالول بوده است که با نتایج سایر محققان مطابقت دارد (Momin, Acharya, & Gajjar, 2012; Kacaniova *et al.*, 2020; Ghazanfari, Mortazavi, Tabatabaei Yazdi, & Mohammadi, 2020). همان‌طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود تاثیرگذاری تیمارهای کودی و ژنوتیپ‌های مختلف، بر درصد ترکیبات مختلف اسانس دانه گشنیز، متفاوت بوده است. به‌طور کلی بالاترین درصد لینالول به‌عنوان اصلی‌ترین ترکیب اسانس بذر گیاه دارویی گشنیز (۸۸/۱ درصد) متعلق به ژنوتیپ نهاوندی تیمار شده با کود کود با پوشش گوگردی بوده است. گاماترینین، آلفاینین و جرانیل استات از دیگر ترکیبات مهم اسانس گشنیز بودند که بعد از لینالول بیشترین درصد از ترکیبات اسانس گشنیز ژنوتیپ‌های آزمایش را به خود اختصاص دادند که به‌ترتیب متعلق به تیمارهای: ژنوتیپ نهاوندی تیمار شده با کود کود، ژنوتیپ اتیوپی تیمار شده با کود کود و ژنوتیپ اتیوپی تیمار شده با کود کود با پوشش گوگردی بود. که البته نتایج به دست آمده صرفاً به لحاظ مقدار عددی و کمی می‌باشد و معنی‌داری یا

جدول ۷- درصد ترکیبات مختلف اسانس گشنیز در تیمارهای مورد آزمایش
Table 7- Essential oil components content (%) of coriander seed under different treatment

تیمار Treatment		ترکیبات اسانس Essential oil components (%)											
کود Fertilizer	ژنوتیپ Genotype	لینلول Linalool	نرال neral	گاما ترپینین -terpinene γ	پاراسیمین P-cymene	میرسن Myrcene	آلفا پینین a-pinene	۲-ای- دودکنال 2E-dodecenal	لیمونن limonene	جرانیل استات geranyl acetate	۲-ای- دکنال 2E-decenal	جرانیول Geraniol	دکانال Decanal
U	اوره	83.5	0.25	7.42	1.40	0.75	1.38	0.68	0.25	3.22	0.19	0.29	0.23
SCU	اوره گوگردی Nahavandi	88.1	0.14	4.95	0.77	0.22	0.15	0.59	-	3.33	0.41	0.43	0.51
C	شاهد	77.87	0.22	5.65	1.55	0.83	3.83	1.64	0.18	3.47	1.4	0.41	1.39
U	اوره	82.33	-	5.18	1.66	0.24	0.25	2.48	-	4.01	0.99	1.01	0.83
SCU	اوره گوگردی Pishgam	84.07	-	6.25	1.43	0.49	1.68	2.65	-	2.46	-	0.45	0.28
C	شاهد	84.26	-	7.57	2.10	0.36	0.33	2.3	-	2.34	-	0.45	0.25
U	اوره	69.74	0.33	1.21	0.76	2.51	7.93	0.53	3.81	3.83	0.72	1.39	0.63
SCU	اوره گوگردی Ethiopia	73.53	0.22	1.14	0.37	1.57	4.96	0.47	2.35	5.58	0.74	1.98	0.64
C	شاهد	77.56	0.3	0.86	0.63	2.04	5.36	-	2.98	3.6	-	1.27	-

- Low proportion (0.01%) or not detected

شاخص تحمل رقابت و کمترین تغییر در پتانسیل عملکرد بود و پایین‌ترین شاخص تحمل رقابت نیز متعلق به ژنوتیپ نهاوندی بود. با توجه به واکنش‌های متفاوت ژنوتیپ‌های مختلف به شاخص‌های رقابتی، می‌توان با شناخت فلور علف هرز منطقه و با پیش‌بینی واکنش ژنوتیپ هدف نسبت به علف‌های هرز غالب منطقه، بتوان با انتخاب ژنوتیپ‌های متحمل‌تر نسبت به علف هرز، ضمن کاهش استفاده از علف‌کش‌ها، در راستای اهداف کشاورزی پایدار قدم‌های موثری برداشت.

همچنین نتایج این آزمایش در ارتباط با درصد اسانس نشان داد که ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به نیتروژن واکنش‌های متفاوتی نشان دادند. به طوری که ژنوتیپ اتیوپی و نهاوندی تیمار شده با کود اوره به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین درصد اسانس را به خود اختصاص دادند که نشان از تفاوت پتانسیل کودپذیری ژنوتیپ‌های مختلف در این زمینه می‌باشد. در نتیجه با توجه به هدف کشت و شرایط محیطی، با انتخاب ژنوتیپ مناسب، سیاست‌های زراعی کارآمدتری اتخاذ کرد. همچنین نتایج این آزمایش نشان داد ژنوتیپ پیشگام دارای بالاترین

References

1. Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, A., Ardakani, M. R., Lebaschi, M. H., Safikhani, F., & Naderi Hadjibagher Kandi, M. (2006). Effect of Application Methods of Nitrogen Fertilizer on Essential Oil Content and Composition of Balm (*Melissa officinalis* L.) under Field Condition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(3), 223-230. (in Persian with English abstract).
2. Abdelkader, M., Gendy, A., Bardisi, I., & Elakkad, H. (2018). The impact of NPK fertilization level and Lithovit concentration on productivity and active ingredients of *Coriandrum sativum* plants. *Journal of Applied Sciences*, 8(3), 827-836.
3. Abdolahi, F., Salehi, Sh., & Rahimi, A. (2016). Effect of different nitrogen sources on vegetative trates, grain yield and essential oil yield of coriander (*Coriandrum sativum*). *Journal of Cercetări Agronomice în Moldova*, 1(165), 51-65. <https://doi.org/10.1515/cerce-2016-0005>
4. Ahmadi, F., Samadi, A., & Rahimi, A. (2020). Improving growth properties and phytochemical compounds of *Echinacea purpurea* (L.) medicinal plant using novel nitrogen slow release fertilizer under greenhouse conditions. *Journal of Scientific Reports*, 10, 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-70949-4>
5. Ahmed, Sh., Jahangir Alam, M., Hossain, A., Mominul Islam, A. K. M., Awan, T. A., Soufan, W., Qahtan, A. A., Okla, M., & El Sabagh, A. (2021). Interactive Effect of Weeding Regimes, Rice Cultivars, and Seeding Rates Influence the Rice-Weed Competition under Dry Direct-Seeded Condition. *Journal of Sustainability*, 13(317), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su13010317>
6. Akbarinia, A., Daneshian, J., & Mohmmadbiegi, F. (2006). Effect of Nitrogen Fertilizer and Plant Density on Seed

- Yield, Essential Oil and Oil Content of *Coriandrum sativum* L. *Journal of Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 22(4), 410-418. (in Persian with English abstract).
7. Amini, R. A., Pejgan, H., & Dabagh, A. (2014). Investigating the competitive power of different bean genotypes against weeds. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(3), 491-501. (in Persian with English abstract).
 8. Angeli, K., Delazari, F., Nick, C., Ferreria, M., & Silva, D. (2016). Yield components and water use efficiency in coriander under irrigation and nitrogen fertilization. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(2), 415-420. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n5p415-420>
 9. Beyzi, E., Karaman, K., Gunes, A., & Beyzi, S. B. (2017). Change in some biochemical and bioactive properties and essential oil composition of coriander seed (*Coriandrum sativum* L.) varieties from Turkey. *Journal of Industrial Crop and Products*, 109, 74-78. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.08.008>
 10. Ehteshami, S. M., Soleimani, S., & Pazoki, A. R. (2014). Effect of weed competition on morphophysiological indices, yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.) cv. Zarfam in Varamin. *Agronomy Journal*, 108, 121-131. (in Persian with English abstract).
 11. Fatholahi, S., Ehsanzadeh, P., & Karimmojeni, H. (2020). Ancient and improved wheats are discrepant in nitrogen uptake, remobilization, and use efficiency yet comparable in nitrogen assimilating enzymes capabilities. *Journal of Field Crop Research*, 249, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107761>
 12. Ghazanfari, N., Mortazavi, S. A., Tabatabaei Yazdi, F., & Mohammadi, M. (2020). Microwave-assisted hydrodistillation extraction of essential oil from coriander seeds and evaluation of their composition, antioxidant and antimicrobial activity. *Journal of Helion*, 6, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04893>
 13. Gebrehiwot, H. G., Aune, J. B., Netland, J., Eklo, O. M., Torp, T., & Brandsæter, L. O. (2020). Weed-Competitive Ability of Teff (*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter) Varieties. *Journal of Agronomy*, 10(108), 1-20. <https://doi.org/10.3390/agronomy10010108>
 14. Hamidi, F., Prakasita, B., Jayyid Zuhdan, M., Widiyastuti, W., & Setyawan, H. (2018). Dissolution Rate Behaviour of Sulfur Coated Urea from Spouted Bed Coater using Box Behnken Design. *Journal of Advances in Crop Science and Technology*, 6(5), 1-4. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000390>
 15. Incrocci, L., Maggini, R., Cei, T., Carmassi, G., Botrini, L., Filippi, F., Clemens, R., Terrones, C., & Pardossi, A. (2020). Innovative Controlled-Release Polyurethane-Coated Urea Could Reduce N Leaching in Tomato Crop in Comparison to Conventional and Stabilized Fertilizers. *Journal of Agronomy*, 10, 1-19. <https://doi.org/10.3390/agronomy10111827>
 16. Izgi, M. N. (2020). Effects of Nitrogen Fertilization on Coriander (*Coriandrum sativum* L.): yield and quality characteristics. *Journal of Applied Ecology and Environmental Research*, 18(5), 7323-7336. https://doi.org/10.15666/aecer/1805_73237336
 17. Jamshidiyan, Z., & Talat, F. (2023). Study on yield and morphophysiological properties of coriander (*Coriandrum sativum* L.) affected by seed priming. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 39(1), 138-151. <https://doi.org/10.22092/IJMAPR.2023.359120.3191>
 18. Kacaniova, M., Galovicova, L., Ivanisova, E., Vukovic, N., Stefanikova, J., Valkova, V., Borotova, P., Ziarovska, J., Terentjeva, M., Felsociva, S., & Tvrdá, E. (2020). Antioxidant, Antimicrobial and Antibiofilm Activity of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Essential Oil for Its Application in Foods. *Journal of Foods*, 9(282), 1-19. <https://doi.org/10.3390/foods9030282>
 19. Karimi, H., Zaferian, F., & Emadi, M. (2019). Response of sesame (*Sesamum indicum* L.) to different nitrogen fertilizer sources in competition with weeds. *Journal of Plant Production Research*, 26(4), 61-77. (In Persian with English abstract).
 20. Laribi, B., Kouki, K., M'Hamdi, M., & Bettaieb, T. (2015). Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Journal of Fitoterapia*, 103, 9-26. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2015.03.012>
 21. Little, N. G., DiTommaso, A. W., Anna, S., Ketterings, Q. M., & Mohler, Ch. (2021). Effects of Fertility Amendments on Weed Growth and Weed-Crop Competition: A Review. *Journal of Weed Science*, 69(2), 132-146. <https://doi.org/10.1017/wsc.2021.1>
 22. Masoumi, A., Asghari, H. R., Tavakoli Dinani, E., & Makarian, H. (2013). Effect of Nitrogen Sources on Density and Dry Matter of Weeds and Yield of Two Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Landrace. *Journal of Sustainable Agriculture and Production Science*, 23(2), 113-127. (in Persian with English abstract).
 23. Mennan, H., & Zandstra, B. (2005). Influence of Wheat Seeding Rate and Cultivars on Competitive Ability of Bifra (*Bifora radians*). *Journal of Weed Technology*, 19, 128-136. <https://doi.org/10.1614/WT-03-280R>
 24. Min Zhang, W. Z., Liu, Z., Zhou, H., Lu, H., Zhang, W., Yang, Y., Li, C., & Chen, B. (2016). Combining controlled-release urea and normal urea to improve the nitrogen use efficiency and yield under wheat-maize double cropping system. *Journal of Field Crop Research*, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.004>
 25. Momin, A. H., Acharya, S., & Gajjar, A. (2012). *Coriandrum sativum*- Review of advances in phytopharmacology. *International Journal Pharmaceutical Sciences and Research*, 3(5), 1233-1239.
 26. Moradi Talebbeigi, R., Kazemeini, S. A., & Ghadiri, H. (2018). Impact of Split Application of Different N-Fertilizer Sources on Weed Growth, Safflower Yield, and Nitrogen Use Efficiency. *Journal of Agriculture Science*

- Technology*, 20, 1455-1466. [DOR: 20.1001.1.16807073.2018.20.7.5.9](https://doi.org/10.16807073.2018.20.7.5.9)
27. Nagar, R. K., & Kumar Jain, D. (2017). Studies on Weed Cover and Diversity in Coriander (*Coriandrum Sativum* L.) as Influenced by Weed Management and Balanced Fertilization Techniques. *Journal of Current Agriculture Research*, 5(3), 387-395. <https://doi.org/10.12944/CARJ.5.3.19>
 28. Omid Mirzaei, M., Hojjati, M., Alizadeh Behbahani, B., & Noshad, M. (2020). Determination of chemical composition, antioxidant properties and antimicrobial activity of coriander seed essential oil on a number of pathogenic microorganisms. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 16(2), 221-233. (in Persian with English abstract).
 29. Poshtdar, A., Abdali Mashhadie, A. R., Moradi, F., Siadat, S. A., & Bakhshandeh, A. M. (2016). Effect of source and rate of nitrogen fertilizer on yield and water and nitrogen use efficiency of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Crop Sciences*, 18(1), 13-31. (in Persian with English abstract).
 30. Perveen, S., Ahmad, S., Skalicky, M., Hussain, I., Habibur-Rahman, M., Ghaffar, A., Shafqat Bashir, M., Batool, M., Hassan, M., Brestic, M., Fahad, S., & Sabagh, A. (2021). Assessing the potential of polymer coated urea and sulphur fertilization on growth, physiology, yield, oil contents and nitrogen use efficiency of sunflower crop under arid environment. *Agronomy*, 11, 1-11. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020269>
 31. Rahni, M., Nasri, M., Filizadeh, Y., Kasraei, P., & Azadi, P. (2022). Evaluation of growth, yield, and physiological responses of *Valeriana officinalis* L. to the application of urea, nitroxin, and phosphate Barvar-2 fertilizer. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 36(4), 73-92. (in Persian with English abstract).
 32. Rezaian, S., & Frouhar, M. (2004). The Effect of Nitrogen Fertilizers (Urea, Sulfur Coated Urea) with Manure on the Saffron Yield. *Acta Horticulturae*, 650(21), 201-205. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.650.21>
 33. Shahwar, M. K., El-Ghorab, A. H., Anjum, F. M., Butt, M. S., Hussain, S., & Nadeem, M. (2012). Characterization of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) Seeds and Leaves: Volatile and Non Volatile Extracts. *International Journal of Food Properties*, 15, 736-747. <https://doi.org/10.1080/10942912.2010.500068>
 34. Sweeney, A. E., Karen, A., Laboski, C., & Davis, A. (2008). Effect of Fertilizer Nitrogen on Weed Emergence and Growth. *Journal of Weed Science*, 56, 714-721. <https://doi.org/10.1614/WS-07-096.1>
 35. Yeganehpour, F., Zehtab Salmasi, S., Shafagh Kolvanagh, J., Ghassemi Golezani, K., & Dastborhan, S. (2016). Changes in growth, chlorophyll content and grain yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in response to water stress, chemical and biological fertilizers and salicylic acid. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 4(3), 229-237.
 36. Zare, M., Bazrafshan, F., & Mostafavi, K. (2012). Competition of rapeseed (*Brassica napus* L.) cultivars with weeds. *African Journal of Biotechnology*, 11(6), 1378-1385. <https://doi.org/10.5897/AJB11.1909>

Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions

F. Golestanifar¹, S. Mahmoodi^{2,3*}, H. R. Fallahi^{2,3}, A. Shahidi⁴

1- PhD Students, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

3- Plant and Environmental Stresses Research Group, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran

4- Associate Professor, Department of Water Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

(*- Corresponding Author Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)

Received: 12 November 2023
Revised: 29 January 2024
Accepted: 03 February 2024
Available Online: 14 May 2024

How to cite this article:

Golestanifar, F., Mahmoodi, S., Fallahi, H. R., & Shahidi, A. (2024). Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 169-195. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85306.1279>

Introduction

The economic importance of quinoa is not only due to the possibility of using the seeds as a food product characterized by a similar composition and use as consumer cereals but the species can also be managed as a leafy vegetable with high nutritional value and similar uses, such as, for example, spinach. Drought is another environmental stressor for plants subjected to severe water stress, especially in semi-arid and arid environments. Water scarcity poses a considerable challenge to crop production, leading to a notable reduction in crop yield. Quinoa, however, boasts low water requirements and demonstrates resilience in drought conditions. Even during dry periods, quinoa can effectively sustain leaf area and regulate photosynthetic activity. This resilience is facilitated by structural characteristics such as small, thin-walled cells, tissue flexibility, low osmotic potential, and controlled leaf area reduction through dehiscence. Other quinoa features for sustaining turgor pressure through osmotic adjustment during drought stress include inorganic ion buildup (e.g., Ca, K, and Na) and improved organic element synthesis (carotenoids and proline). Quinoa genotypes have several drought-resistance mechanisms, enabling this crop to grow and develop under severe drought conditions.

Materials and Methods


To evaluate the effect of moisture levels on some quinoa cultivars biochemical traits, four separate experiments were conducted in a factorial layout based on randomized complete block design with three replications in two regions (Birjand and Sarbisheh) and two planting dates (March and July/August) in 2018-2019. The experimental factors included five moisture levels (25, 50, 75, 100, and 125% of crop water requirement) and three quinoa cultivars (Titicaca, Giza1, and Redcarina). Some quinoa physiological and biochemical traits were evaluated by composite analysis at the 50% flowering stage and the effects of planting date and location were considered fixed.

Results and Discussion

The results showed that in August/July cultivation, the characteristics of RWC, electrolyte leakage, sodium percentage, potassium percentage, chlorophyll a, carotenoids, proline content, and total soluble carbohydrate of



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85306.1279>

leaves were increased by 17.10, 74.62, 95.51, 31.9, 3.53, 38.65, 94.19 and 9.30% respectively and chlorophyll b content decreased by 13.15% compared to March culture. Also, in Sarbisheh, RWC, electrolyte leakage, potassium percentage, and leaf carotenoids are respectively 3.53, 38.65, 94.19 and 9.30% more than Birjand, but sodium percentage, chlorophyll a, chlorophyll b, proline and total soluble carbohydrates of leaves were 4, 1.88, 15.67, 51.02 and 30.41% less than Birjand, respectively. In most of the studied traits, the Giza1 cultivar had higher quality traits. Severe water scarcity resulted in an elevation of certain biochemical traits in quinoa leaves. Specifically, as moisture levels decreased from 125% to 25% of the water requirement, there was a significant increase in electrolyte leakage, sodium and potassium percentages, chlorophyll a and b, carotenoids, proline, and total leaf soluble carbohydrates by 24.50%, 37.84%, 35.89%, 24.83%, 59.12%, 48.75%, 51.58%, and 36.71%, respectively. However, the relative water content (RWC) decreased by 17.70%. Notably, there were no significant differences observed between the 125% and 100% levels of water requirement for most of the analyzed traits.

Conclusion

In general, with the significance of the triple interaction of planting date \times location \times cultivar, as a result, the reaction of each variety depends on the planting date and location of its planting. But in general, most of the quinoa leaf physiological and biochemical traits increased in August/July cultivation. In Birjand, due to the higher average temperature and other climatic parameters compared to Sarbisheh, and probably understanding the heat stress, traits such as photosynthetic pigments, proline, and soluble carbohydrates had higher values. In this research, the Giza1 was superior to the other two cultivars, and moisture stress caused a significant decrease in the water content of the leaves and a significant increase in quinoa leaves quality traits.

Keywords: Chlorophyll a and b, Low irrigation, Proline, RWC, Sodium and potassium percentage

تأثیر تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا (*Chenopodium quinoa* Willd.) در دو منطقه بیرجند و سربیشه

فرزانه گلستانی^{۱b}، سهراب محمودی^{۲b}، حمیدرضا فلاحی^{۳،۲}، علی شهیدی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴

چکیده

کمبود آب، یکی از مشکلات اساسی کشاورزی ایران است، لذا احتمال وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان امری اجتناب‌ناپذیر است. بنابراین به‌منظور ارزیابی تأثیر سطوح رطوبتی بر برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا، چهار آزمایش مجزا در دو منطقه (بیرجند و سربیشه) و دو تاریخ کاشت (مرداد و اسفندماه) در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل پنج سطح رطوبتی و سه رقم کینوا بود. آزمایش به‌صورت تجزیه مرکب ارزیابی گردید و اثرات تاریخ کاشت و مکان به‌صورت ثابت در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که در کشت مردادماه صفات محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت‌ها، درصد سدیم، درصد پتاسیم، محتوای کلروفیل a، کاروتنوئیدها، محتوای پرولین و کل کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌ترتیب ۱۷/۱۰، ۷۴/۶۲، ۹۵/۵۱، ۳۱/۹، ۱۵/۹۶، ۲۰/۸۱، ۵۶/۱۲ و ۳۱/۲۶ درصد افزایش و محتوای کلروفیل b، ۱۳/۱۵ درصد کاهش نسبت به کشت اسفندماه داشتند همچنین در سربیشه صفات محتوای نسبی آب، نشت الکترولیت، درصد پتاسیم و کاروتنوئیدهای برگ به‌ترتیب ۳/۵۳، ۳۸/۶۵، ۹۴/۱۹ و ۹/۳۰ درصد بیشتر از بیرجند اما صفات درصد سدیم، محتوای کلروفیل a، محتوای کلروفیل b، پرولین و کل کربوهیدرات‌های محلول برگ به‌ترتیب ۴، ۱/۸۸، ۱۵/۶۷، ۵۱/۰۲ و ۳۰/۴۱ درصد کمتر از بیرجند بودند. رقم گیزاوان نسبت به دو رقم دیگر، دارای مقادیر بالاتری از صفات بیوشیمیایی بود که این امر منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک در رقم مذکور گردید و تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ و افزایش معنی‌دار سایر صفات بیوشیمیایی برگ کینوا گردید. در اکثر صفات مورد بررسی، بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: پرولین، درصد سدیم و پتاسیم، کلروفیل a و b، کم‌آبایی، محتوای نسبی آب برگ

مقدمه

اقتصادی کینوا تنها به دلیل استفاده از دانه‌ها به‌عنوان ماده غذایی یا موارد مشابه نمی‌باشد بلکه برگ این گونه نیز می‌تواند به‌عنوان یک سبزی با ارزش غذایی بالا مانند اسفناج مصرف گردد، همچنین برگ‌های کینوا نسبت به دانه‌ها، مغذی‌تر و دارای ترکیبات شیمیایی مطلوب‌تری می‌باشند (Vázquez-Luna et al., 2019). در مطالعات مختلف، صفات بیوشیمیایی برگ ارقام کینوا مورد بررسی قرار گرفته و در اکثر آن‌ها، بین ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده شده است. در مطالعه سان و همکاران (Sun, Liu, Bendevis, Shabala, & Jacobsen, 2014)، محتوای پتاسیم آوند چوبی (در شرایط شاهد و ۱۶ روز پس از کاشت) در ارقام تیتیکاکا و آچاپینو به‌ترتیب ۲۷۲/۱ و ۴۳۷/۷ میلی‌گرم بر لیتر بود. بر اساس گزارش ناز و همکاران (Naz, Akram, & Kong, 2020)، محتوای کلروفیل b برگ کینوا به‌صورت معنی‌داری (در سطح احتمال ۰/۰۰۱ درصد)، تحت تأثیر رقم قرار

کینوا گیاهی دولپه از خانواده تاج‌خروسیان (Amaranthaceae) می‌باشد (Jacobsen, Quispe, & Mujica, 2001). اهمیت

- ۱- دانشجوی دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- ۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- ۳- عضو گروه پژوهشی گیاه و تنش‌های محیطی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
- ۴- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: smahmoodi@birjand.ac.ir)

 <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85306.1279>

den Besselaar, Sanchez-Lorenzo, Wild, Klein Tank, & de Laat, 2015) بیان نمودند که با تأخیر در کاشت، کارایی گیاهان به شدت به خطر افتاده زیرا مدت زمان مورد نیاز برای دریافت نور و دمای مطلوب برای گیاه فراهم نمی‌باشد. رشید و همکاران (Rashid *et al.*, 2021) گیاه کینوا را در دو تاریخ کاشت ۱۷ نوامبر (نرمال) و ۲۴ دسامبر (با تأخیر) بررسی و بیان نمودند که تأخیر در کاشت تأثیر نامطلوبی بر محتوای کاروتنوئید برگ داشت و منجر به کاهش آن گردید.

خشکی یکی از عوامل تنش‌زای محیطی برای گیاهانی که در معرض تنش آبی شدید، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد (Manaa *et al.*, 2021). کمبود آب تولید محصولات را با مشکلاتی مواجه و در نتیجه کاهش قابل‌توجهی در عملکرد آن‌ها ایجاد می‌نماید (Lin & Chao, 2021). کینوا نیاز آبی کمی دارد و می‌تواند با موفقیت تحت شرایط تنش خشکی رشد نماید (Al-Naggar, Abd El-Salam, Badran, & El-Moghazi, 2017). در طول دوره‌های خشکی، کینوا می‌تواند سطح برگ خود را حفظ نموده و فعالیت‌های فتوسنتزی را تنظیم کند (Jacobsen *et al.*, 2009) و با استفاده از ویژگی‌های ساختاری از قبیل سلول‌های کوچک با دیواره نازک، بافت‌های منعطف و پتانسیل اسمزی پایین، سطح برگ را کاهش می‌دهد (Garcia, 2003). سایر ویژگی‌ها برای حفظ فشار تورژسانس از طریق تنظیم اسمزی در طول دوره تنش خشکی شامل تجمع یون‌های معدنی (از قبیل کلسیم، پتاسیم و سدیم) و بهبود سنتز عناصر آلی (کاروتنوئیدها و پرولین) است (Jensen *et al.*, 2000; Jacobsen, Liu, & Jensen, 2009). ژنوتیپ‌های کینوا چندین مکانیزم مقاومت به خشکی دارند که گیاه را قادر به رشد و نمو در شرایط تنش خشکی می‌نماید (Abrar *et al.*, 2022; Taaime *et al.*, 2022). در مطالعات متعدد با افزایش تنش خشکی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت (Morales, Zurita, Silva, Maldonado, & Silva, 2017). به نحوی که در مطالعه سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya, Mohtadi, & Movahhedi, 2021) میزان این صفت در بالاترین سطح خشکی (۹- بار) حدود ۴۶ درصد کاهش یافت. گونزالز و همکاران (Gonzalez, Gallardo, Hilal, Rosa, & Prado, 2009) محتوای نسبی آب برگ در تیمارهای شاهد و تنش خشکی را به ترتیب $97/5 \pm 1/4$ و $70/3 \pm 1/4$ درصد، مرادی و همکاران (Moradi, Rohi, Hosseinpanahi, & Siosemardeh, 2023) میزان این صفت را در تیمارهای ۱۰۰ درصد و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه به ترتیب ۸۱/۹۸ و ۶۹/۱۹ درصد و تارک و همکاران (Tarek, Sadak, & Dawood, 2017) نیز میزان آن را در شرایط بدون تنش و تنش به ترتیب $81/26 \pm 0/49$ و $80/41 \pm 41/70$ درصد گزارش نمودند. زهین و همکاران (Zaheen *et al.*, 2023) بیان نمودند که در شرایط شاهد

گرفت. صدیق و همکاران (Saddiq *et al.*, 2021) گزارش نمودند که در صفت محتوای کلروفیل b، $84/21$ درصد تنوع بین ۲۰ ژنوتیپ مشاهده شد و ژنوتیپ PI-478414 بیشترین مقدار را داشت. در مطالعه دیگر محتوای کلروفیل b در ارقام CPAC11، CPAC4، BRS-Piabiru و CPAC19 به ترتیب $14/4$ ، $16/5$ ، $16/5$ و $18/9$ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود (da Silva *et al.*, 2021). پاتان و همکاران (Pathan *et al.*, 2019) محتوای پرولین برگ کینوا رقم Ames-13739 را $1/51$ گرم بر 100 گرم ماده خشک گزارش نمودند. در مطالعه پراگر و همکاران (Präger, Munz, Nkebiwe, Mast, & Graeff-Hönninger, 2018)، محتوای پرولین در چهار رقم کینوا Zeno، Jessie، Puno و Titicaca در سال ۲۰۱۵ به ترتیب $2/25$ ، $2/70$ ، $3/14$ و $3/17$ میلی‌گرم بر 100 گرم پروتئین خام و در سال ۲۰۱۶ به ترتیب $2/85$ ، $3/24$ ، $3/34$ و $2/98$ میلی‌گرم بر 100 گرم پروتئین خام بود.

مطالعات در مورد تطابق و سازگاری کینوا در ۸۰ کشور جهان صورت گرفته است (Bazile & Baudron, 2015). سطح زیر کشت برای تولید بذر کینوا کم و در حدود ۱۸۵۰۰۰ هکتار (عمدتاً در بولیوی، پرو و اکوادور) می‌باشد (FAOSTAT, 2019). تنوع ژنتیکی و تطابق‌پذیری بالا با شرایط مختلف محیطی، موجب تسهیل در گسترش این گونه گردیده است. جاکوبسن (Jacobsen, 2003) بیان می‌کند که کینوا از سطح دریا تا 4000 متر بالاتر از سطح دریا، از 40 درجه عرض جنوبی تا 2 درجه عرض شمالی، از آب و هوای خنک تا گرمسیری (مقاومت در محدوده دمایی $4-38$ درجه سانتی‌گراد) و از آب و هوای بسیار خشک و بارندگی سالانه $100-200$ میلی‌متر تا رطوبت نسبی 88 درصد، می‌تواند کشت گردد. در همین راستا در تحقیق آدامچوسکا- سووینسکا و همکاران (Adamczewska, Sowińska, Sowiński, & Jama-Rodzeńska, 2021)، گیاه کینوا در دو محل پساری و پاولویتس کشت نموده و نام این عامل را نوع خاک گذاشتند. خاک منطقه پساری دارای بافت رسی با اسیدیته $7/25$ و ماده آلی $1/8$ درصد و بافت خاک منطقه پاولویتس، شنی با اسیدیته ۶ (اسیدی) و $1/1$ درصد ماده آلی بود، همچنین میزان فسفر و پتاسیم قابل‌دسترس در منطقه پاولویتس بیشتر بود. در نتیجه منطقه پساری را با عنوان خاک متوسط و منطقه پاولویتس را با عنوان خاک سبک، مورد بررسی قرار دادند. براساس گزارش ایشان، محتوای پتاسیم برگ کینوا در خاک متوسط (10203 میلی‌گرم بر 100 گرم ماده خشک) بیشتر از خاک سبک (9789 میلی‌گرم بر 100 گرم ماده خشک) بود اما از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به دلیل تنوع اقلیمی ایران، یکی از موارد قابل‌توجه، بررسی اثر تاریخ کاشت به‌عنوان مهم‌ترین عامل موثر در سازگاری و افزایش عملکرد گیاه کینوا است (Fazeli, Akbari, Akbari, Naderi, Arefi, & Benakashani, 2021). وان دن بسلاو و همکاران (Van

می‌شوند (Esfandiari sabzevar, Tatari, & Farokhi, 2018)، در نتیجه هدف از این مطالعه بررسی برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ ارقام مختلف کینوا در شرایط اعمال تنش رطوبتی می‌باشد. این پژوهش در دو تاریخ کاشت بهاره و تابستانه و دو منطقه از استان خراسان جنوبی با شرایط متفاوت آب و هوایی اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

پژوهش به‌صورت تجزیه مرکب در دو تاریخ کاشت (نیمه اول مردادماه و نیمه دوم اسفندماه) و دو مکان (شهرستان بیرجند با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۵ دقیقه و ۱۳ درجه شرقی با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریاهای آزاد و شهرستان سربیشه با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ دقیقه و ۸۰ درجه شرقی با ارتفاع ۱۸۳۹ متر از سطح دریاهای آزاد) در سال‌های ۹۹-۱۳۹۸ اجرا و اثر تاریخ کاشت و مکان، به‌صورت ثابت وارد آزمایش گردید. خصوصیات آب، خاک و پارامترهای هواشناسی در هر دو تاریخ کاشت و مکان مورد مطالعه در جدول و شکل ۱ ارائه شده است. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتور اول شامل پنج سطح مختلف رطوبتی (۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ نیاز آبی گیاه) و فاکتور دوم شامل سه رقم کینوا (تیتیکاکا، گیزاوان و ردکارینا) بود.

عملیات آماده‌سازی زمین در هر دو تاریخ کاشت و دو مکان، حداقل یک‌هفته قبل از کاشت صورت گرفت. ابعاد هر کرت سه در چهار متر بود و یک متر فاصله بین کرت‌ها به‌عنوان اثر حاشیه‌ای و تعداد ۶۰ بوته در مترمربع به‌عنوان تراکم مطلوب کاشت کینوا (Samadzadeh, Zamani, & Fallahi, 2020) در نظر گرفته شد. بذور ارقام گیزاوان و ردکارینا (به‌ترتیب بومی هلند: Jacobsen, 2017 و مصر: Bazile et al., 2016) از موسسه اصلاح نهال و بذر کشور و بذور رقم تیتیکاکا (بومی دانمارک: Jacobsen, 2017) از اداره جهاد کشاورزی استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۹۸ تهیه گردید. تمامی ارقام مورد مطالعه نسبت به طول روز بی‌تفاوت می‌باشند و همچنین ارقام تیتیکاکا و گیزاوان جزء ژنوتیپ‌های زودرس و رقم ردکارینا جزء ژنوتیپ متوسط‌سرس محسوب می‌شوند (Bagheri, 2018). پس از سبز شدن و رشد اولیه گیاهچه‌ها، دو مرحله تنک جهت رسیدن به تراکم مورد نظر صورت گرفت. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذور انجام شد. قبل از اعمال سطوح رطوبتی، آبیاری به‌صورت سنگین و پس از اعمال (مرحله ۶ الی ۸ برگ حقیقی)، براساس نیاز آبی کینوا بود. اعمال تیمار آبیاری بر اساس حجم آب آبیاری (هر هفت روز یکبار) انجام و از کنتور حجمی جهت اعمال دقیق سطوح مختلف آبیاری استفاده گردید. به منظور محاسبه نیاز آبی گیاه کینوا، در ابتدا

(بدون مصرف بور و پتاسیم) با اعمال تنش خشکی، محتوای سدیم برگ کینوا از حدود ۲/۶ به ۳/۸ پی‌پی‌ام افزایش یافت. الشامی و همکاران (El-Shamy et al., 2022) نیز بیان نمودند که محتوای پتاسیم برگ کینوا با اعمال کم‌آبیاری کاهش یافت به نحوی که در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹ از ۳/۸۱ به ۳ میلی‌گرم در گرم ماده خشک و در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ از ۳/۸۷ به ۳/۱۱ میلی‌گرم در گرم ماده خشک رسید. لین و چائو (Lin & Chao, 2021) گزارش نمودند که محتوای کلروفیل برگ کینوا در مرحله رویشی، با افزایش تنش خشکی از ۹۰ درصد به ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد محتوای آب، افزایش یافت اما این افزایش معنی‌دار نبود اما در مرحله رشد زایشی، محتوای کلروفیل در تیمارهای ۹۰ و ۷۵ درصد، به‌صورت قابل‌توجهی بالاتر (۱/۳ و ۱/۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) از تیمارهای ۵۰ و ۲۵ درصد (۰/۹ و ۰/۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. مانا و همکاران (Manna et al., 2021) بیان نمودند که میزان کلروفیل b در شرایط شاهد، تیمار خشکی به مدت یک‌هفته و دو هفته به‌ترتیب ۰/۳۴۱، ۰/۳۵۳ و ۰/۲۳۱ میکروگرم بر گرم وزن تر بود. غلامی و همکاران (Gholami, 2022; Dehaghi, Rezazadeh, & Naji, 2022) گزارش نمودند که در شرایط شاهد (بدون پرایمینگ) غلظت کلروفیل b در برگ کینوا کاهش یافت و میزان آن در خشکی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- به‌ترتیب ۰/۵۲۲، ۰/۴۰۲ و ۰/۲۷۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود. در مطالعات دیگر نیز، کاهش ۱۸/۶۷ درصدی (Tarek et al., 2017) و ۲۸ درصدی (Elewa, Sadak, & Saad, 2017) در محتوای کلروفیل b گزارش شد. در مطالعات متعدد کاهش در محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا در اثر تنش خشکی، مشاهده شد (El-Shamy et al., 2022; Gholami et al., 2022; Naz et al., 2020; Dashab & Omid, 2021). همچنین میزان این کاهش در مطالعه الوا و همکاران (Elewa et al., 2017)، ۳۷/۵ و در مطالعه مرادی و همکاران (Moradi et al., 2023)، ۲۴/۱۹ درصد بود. نادعلی و همکاران (Nadali, Asghari, Abbasdokht, Dorostkar, & Bagheri, 2022) نیز بیان کردند که کمترین محتوای پرولین در تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد. ساداک و همکاران (Sadak, El-Bassiouny, & Dawood, 2019) گزارش نمودند که در شرایط تنش خشکی، محتوای کربوهیدرات‌های برگ کینوا از قبیل گلوکز، ساکارز، ترهالوز، کل قندهای محلول و نشاسته، افزایش یافتند. سایر تحقیقات نیز این افزایش را گزارش نمودند (Lin & Chao, 2021; Naz et al., 2020). داشاب و امیدی (Dashab & Omid, 2021) غلظت قندمحلول در سطوح شاهد، ۰/۵-، ۱-، ۱/۵- و ۲- را به‌ترتیب ۶/۱، ۴/۱، ۱/۱، ۱/۵ و ۲/۳ میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ گزارش نمودند.

با توجه به این‌که برگ‌های کینوا نیز همانند دانه‌ها دارای اهمیت هستند و حتی پتانسیل بالقوه‌ای برای مکمل‌های غذایی محسوب

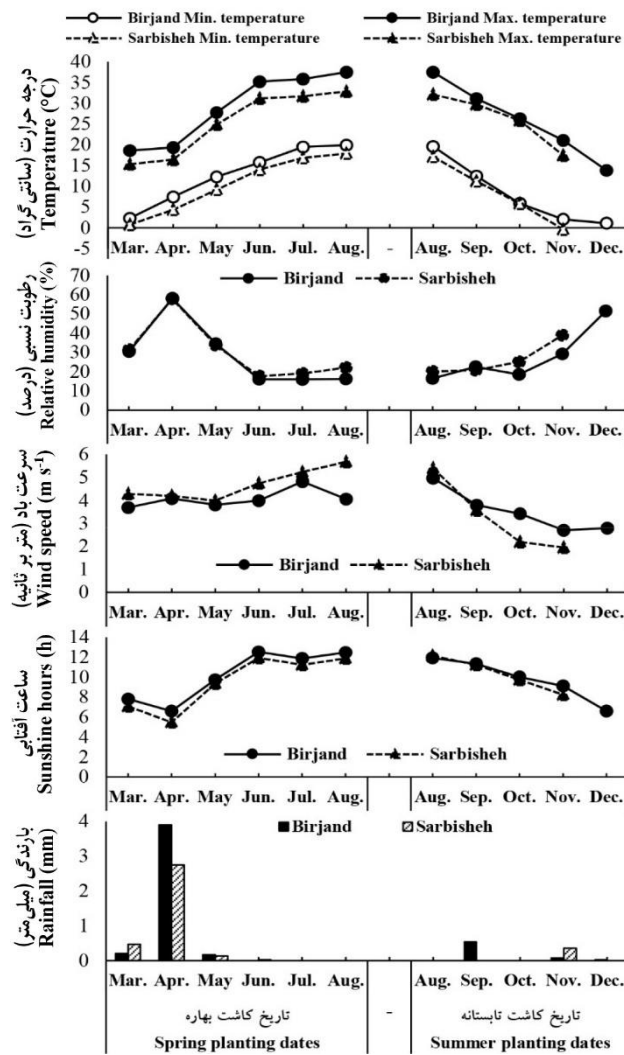
اعداد در طول بازه آبیاری، میزان آب آبیاری به‌دست آمد. در سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی، مجموع حجم آب آبیاری در کشت مرداد و اسفندماه در بیرجند به‌ترتیب ۳/۳۹۹۳ و ۶۳۹۰ مترمکعب در هکتار و در سریشه به‌ترتیب ۵۳۴۰ و ۸/۷۳۷۵ مترمکعب در هکتار بود. با توجه به این‌که روش فائو پنمن-مانتیت، روشی تجربی جهت محاسبه تبخیر و تعرق مرجع می‌باشد، لذا سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی، به منظور ارزیابی دقیق سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی کینوا در اقلیم خشک استان خراسان جنوبی در نظر گرفته شد تا خطای ناشی از کم برآوردی میزان نیاز آبی کینوا (در سطح ۱۰۰٪) برطرف گردد. در نتیجه سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی، معادل بیش آبیاری نمی‌باشد.

تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) با استفاده از نرم‌افزار Cropwat Ver. 8.0 به روش فائو پنمن-مانتیت و براساس آمار هواشناسی در شهرستان‌های بیرجند و سریشه، در طول بازه یک هفته‌ای برآورد گردید و سپس از ضرب نمودن عدد تبخیر و تعرق مرجع، در ضریب گیاهی (Kc) که بر اساس مرحله رشدی و با استفاده از برآیند مطالعات مختلف به‌دست آمده بود (در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به‌ترتیب ۰/۵، ۰/۷، ۱/۱ و ۰/۶)، میزان تبخیر و تعرق کینوا (ET_c) به‌صورت روزانه و برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی محاسبه گردید. سپس از طریق ضرب نمودن عدد برآورد شده در ضرایب ۱/۲۵، ۰/۷۵، ۰/۷۵ و ۰/۲۵، نیاز آبی گیاه کینوا به‌ترتیب در سطوح ۱۲۵، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی به‌صورت روزانه محاسبه شد که با ضرب این

جدول ۱- آزمایش‌های خاک و آب مناطق مورد مطالعه

Table 1- The results of soil and water tests in the studied areas

Water آب				
تاریخ کاشت Planting date	مناطق Location			
	بیرجند Birjand		سریشه Sarbisheh	
	March اسفند	August مرداد	March اسفند	July مرداد
pH	8.1	8.1	7.5	7.5
(dS m ⁻¹) EC	2.64	3.32	2.88	2.78
(meq L ⁻¹) ^{0.5} SAR	1.69	7.15	1.97	9.51
(meq L ⁻¹) Na	4.64	21.21	4.44	19.67
(meq L ⁻¹) Mg	0.16	0.19	0.23	0.24
(meq L ⁻¹) Ca	3.70	4.46	4.69	4.30
meq L ⁻¹ K	11.90	12.78	4.62	4.33
(meq L ⁻¹) CO ₃ ²⁻	1.14	0.58	0.00	0.00
HCO ₃ ²⁻ (meq L ⁻¹)	3.93	3.71	2.50	1.59
(meq L ⁻¹) Cl ⁻	15.84	20.53	19.10	17.91
Soil خاک				
Soil pattern بافت خاک	مناطق Location			
	بیرجند Birjand		سریشه Sarbisheh	
		Sandy loam	Sandy loam	
فراوانی نسبی ذرات خاک Relative abundance of soil particles (%)	Clay	4	12	
	Silt	28	20	
	Sand	68	68	
pH		8.1	7.7	
(dS m ⁻¹) EC		2.08	10.31	
(meq L ⁻¹) ^{0.5} SAR		0.40	23.86	
(meq L ⁻¹) Na		1.22	84.23	
(meq L ⁻¹) Mg		15	10	
(meq L ⁻¹) Ca		3.75	15	
K available (mg kg ⁻¹)		280	320	
P available (mg kg ⁻¹)		2.4	39.4	
Organic carbon (%)		0.23	0.18	
Organic matter (%)		0.40	0.32	
Nitrogen (meq L ⁻¹)		0.015	0.012	



شکل ۱- مؤلفه‌های مهم اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی بیرجند و سریشه

Figure 1- Some important climate parameters of Birjand and Sarbisheh meteorological stations

نشت الکترولیت به روش والتوویک و همکاران (Valentovic, Luxova, Kolarovi, & Gasparikora, 2006) و به کمک رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\%EL = (EC_1/EC_2) * 100 \quad (2)$$

غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم برگ، از روش آون (Owen, 1992) با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر مدل و منحنی استاندارد اندازه‌گیری شد. سنجش رنگدانه‌های فتوستتزی از روش آرنون و همکاران (Arnon, 1967) و با استفاده از روابطه (۳) تا (۵) صورت گرفت که در این رابطه‌ها V ، حجم محلول صاف‌شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ) و A ، جذب نور در طول موج‌های ۶۴۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر، W ، وزن تر نمونه بر حسب گرم می‌باشد.

$$\text{Chlorophyll } A = [(19.3 \times A663) - (0.86 \times A645)] \times V / 100 \times W \quad (3)$$

در طول فصل رشد، کنترل‌های مربوط به آفات، بیماری‌ها و مبارزه با علف‌های هرز صورت گرفت. جهت سنجش برخی صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی ارقام کینوا، در مرحله ۵۰ درصد گلدهی اقدام به نمونه‌برداری از برگ گیاه گردید و صفات محتوای نسبی آب برگ، نشت الکترولیت، محتوای رنگدانه‌ها از قبیل کلروفیل a، کلروفیل b و کاروتنوئیدها، محتوای یون‌ها از قبیل یون سدیم و پتاسیم و همچنین محتوای پرولین و کربوهیدرات‌های محلول برگ مورد آزمایش قرار گرفت.

محتوای نسبی آب برگ با استفاده از روش شونفلد و همکاران (Schonfeld, Johnson, Carver, & Morhinweg, 1988) و رابطه (۱) ارزیابی گردید که در این رابطه، FW: وزن تر، TW: وزن آماس و DW: وزن خشک برگ‌ها (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) می‌باشند.

$$RWC = \frac{FW-DW}{TW-DW} * 100 \quad (1)$$

توانند انتخابی برای ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا باشند (Ebrahimiyan, Majidi, Mirlohi, & Noroozi, 2013).

اثر ساده مکان و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: محتوای نسبی آب برگ در سربیشه، ۳/۴۱ درصد بیشتر از بیرجند بود (جدول ۳). با توجه به این‌که بیرجند از میانگین درجه حرارت بالاتری نسبت به سربیشه برخوردار است؛ در نتیجه میزان تبخیر از خاک و تعرق از گیاه افزایش و به‌دنبال آن محتوای نسبی آب برگ در این منطقه کاهش یافت. محتوای نسبی آب گیاه، یکی از صفات مهمی است که رابطه مستقیم با محتوای آب خاک دارد و نشان‌دهنده وضعیت آبی خاک است (Saraker, Rahman, & Paul, 1999). براساس گفته‌های ونکتزوالر و رامش (Venkateswarlu & Ramesh, 1993)، کاهش رشد و فعالیت ریشه و افزایش میزان تبخیر و تعرق از جامعه گیاهی از عوامل مؤثر در کاهش محتوای نسبی آب شناخته شده است. در بررسی اثر متقابل می‌توان بیان نمود که بیشترین محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه سربیشه و رقم گیزاوان (۷۹/۴۱ درصد) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با کشت همین رقم در مردادماه بیرجند (۷۵/۹۴ درصد) نداشت. به‌طور کلی، بین تاریخ کاشت به‌جز در کشت رقم تیتیکاکا در سربیشه، در سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. اختلاف بین دو مکان کاشت نیز تنها در کشت رقم تیتیکاکا در اسفندماه معنی‌دار بود (جدول ۴).

اثر سطوح رطوبتی: براساس نتایج مقایسه میانگین، بین سطوح ۱۲۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی و همچنین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. با کاهش میزان آب آبیاری از سطح ۱۲۵ به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، محتوای نسبی آب برگ به‌ترتیب ۲/۳۱، ۸/۳۰، ۱۴/۱۲ و ۱۷/۷۰ درصد کاهش یافت (جدول ۳). محتوای نسبی آب برگ به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن آسیب‌های ناشی از تنش محسوب می‌شود؛ محتوای نسبی آب برگ بیشتر باعث افزایش میزان فتوسنتز و در نتیجه، افزایش عملکرد در شرایط تنش می‌شود (Farooq, Wahid, Kobayashi, Fujita, & Barsa, 2009). همچنین محتوای نسبی آب مناسب‌ترین روش اندازه‌گیری مقدار آب در بافت‌های گیاه بوده و به همین دلیل کاربرد آن بیش از سایر روش‌هاست و تنش خشکی به‌طور نسبی پتانسیل و محتوای نسبی آب برگ را کاهش می‌دهد (Maleky, Saba, & Shekary, 2009). به نظر می‌رسد که گیاهانی که تحت تأثیر خشکی قرار می‌گیرند، فضای بین سلولی و میزان آب در پیکره خود را از طریق افزایش مواد اسمزی، در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسانند تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود که این امر موجب کاهش میزان آب نسبی در شرایط خشکی می‌گردد (Khorshidi Benam, Rahimzadeh Khoii, Mirhadi, & Nour-Mohamadi, 2002).

$$\text{Chlorophyll } B = [(19.3 \times A645) - (3.6 \times A663)] \times V / 100 \times W \quad (4)$$

$$\text{Carotenoides} = [(100 \times A470) - (3.27 \times A663) - (104 \times A645)] / 227 \quad (5)$$

محتوای پروکلین آزاد بافت برگ به روش بیتس و همکاران (Bates, Waldren, & Teare, 1973) در طول موج ۵۲۰ نانومتر و محتوای کربوهیدرات‌های محلول کل برگ به روش ایریگوین و همکاران (Irigoyen, Einerich, & Sanchez-Diaz, 1992) در طول موج ۶۲۵ نانومتر با استفاده از منحنی استاندارد (به‌ترتیب استفاده از غلظت‌های مختلف پروکلین و گلوکز) و برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه برگ سنجش شدند.

جهت پردازش داده‌ها و محاسبات آماری به‌صورت تجزیه واریانس مرکب از نرم‌افزار SAS ver. 9.2 استفاده و میانگین صفات با استفاده از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار محافظت‌شده (LSD) با سطح احتمال پنج درصد مقایسه شد. یکنواختی واریانس‌های خطا در آزمایش، توسط آماره بارتلت آزمون شد.

نتایج و بحث

محتوای نسبی آب برگ: نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثر تاریخ کاشت، سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت×رقم (P≤۰/۰۱) و اثر مکان، تاریخ کاشت×مکان×رقم (P≤۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر این صفت داشتند (جدول ۲).

اثر ساده تاریخ کاشت و اثر متقابل تاریخ کاشت در رقم: براساس نتایج مقایسه میانگین، محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه، ۱۴/۶ درصد بیشتر از اسفندماه بود (جدول ۳). احتمالاً با توجه به این‌که در کشت اسفندماه، بازه گلدهی با گرمای هوا برخورد می‌نماید (اواخر اردیبهشت ماه)، در نتیجه موجب کاهش بیشتر محتوای نسبی آب می‌گردد اما در کشت مردادماه، بازه گلدهی در اوایل مهرماه قرار می‌گیرد. عسگرزاد و همکاران (AsgarNezhad, Zareei, & Zarezadeh, 2015) گزارش نمودند که با تأخیر در کاشت به دلیل تنش گرمای انتهایی، محتوای نسبی آب برگ کاهش یافت. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در کشت مردادماه، مربوط به رقم گیزاوان به میزان ۷۷/۶۷ درصد و کمترین آن در کشت اسفندماه مجدداً مربوط به رقم گیزاوان با ۵۹/۶۰ درصد بود. به‌طور کلی رفتار ارقام در دو تاریخ کاشت کاملاً متفاوت بوده به نحوی که در کشت مردادماه، بالاترین محتوای نسبی آب برگ در رقم گیزاوان و کمترین آن در رقم تیتیکاکا مشاهده شد اما در کشت اسفندماه کاملاً برعکس بود و بیشترین محتوای نسبی به رقم تیتیکاکا و کمترین آن به رقم گیزاوان اختصاص داشت. گزارش شده است که تحت شرایط تنش ملایم، ژنوتیپ‌هایی با محتوای نسبی آب برگ بالا، ممکن است

جدول ۲ - تجزیه مرکب فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ کینوا

Table 2- Composite analysis of quinoa leaf physiological and biochemical traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d.f	محتوای نسبی آب RWC	نشبت الکترولیت EL	غلظت یونها Ion concentration		رنگدانه‌های فتوسنتزی Photosynthetic pigments		پروتئین Proline	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate
				سدیم Na	پتاسیم K	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b		
Planting date تاریخ کاشت	1	5335.81 ^{ns}	27523.31 ^{**}	4.57 ^{**}	274.2 ^{**}	229.13 ^{**}	15.03 ^{**}	4059.03 ^{**}	2496.40 ^{**}
Location مکان	1	259.05 [*]	9775.13 ^{**}	0.01 ^{ns}	1485.4 ^{**}	3.72 ^{ns}	21.94 ^{**}	9915.78 ^{**}	4393.25 ^{**}
P × L تاریخ کاشت × مکان	1	10.31 ^{ns}	18895.0 ^{**}	0.09 ^{ns}	1135.9 ^{**}	50.37 ^{**}	9.06 [*]	14195.4 ^{**}	22776.98 ^{**}
Block (P × L) بلوک (تاریخ کاشت × مکان)	8	35.45	43.19	0.026	1.89	2.02	1.54	17.26	76.06
Cultivar رقم	2	107.72 ^{ns}	67.79 ^{ns}	0.038 ^{ns}	32.8 ^{**}	14.17 ^{ns}	44.17 ^{**}	157.54 [*]	176.81 [*]
Moisture levels سطوح رطوبتی	4	1164.52 ^{**}	593.72 ^{**}	0.132 ^{**}	41.59 ^{**}	64.55 ^{**}	21.51 ^{**}	560.95 ^{**}	360.96 ^{**}
C × M رقم × سطح رطوبتی	8	43.50 ^{ns}	17.89 ^{ns}	0.017 ^{ns}	0.57 ^{ns}	3.40 ^{ns}	4.08 [*]	12.07 ^{ns}	40.16 ^{ns}
L × C مکان × رقم	2	107.30 ^{ns}	38.28 ^{ns}	0.024 ^{ns}	18.12 ^{**}	4.66 ^{ns}	2.65 ^{ns}	13.13 ^{ns}	22.92 ^{ns}
L × M مکان × سطح رطوبتی	4	63.47 ^{ns}	70.87 ^{ns}	0.013 ^{ns}	2.08 ^{ns}	6.11 ^{ns}	1.91 ^{ns}	185.95 ^{**}	168.30 ^{**}
L × C × M مکان × رقم × سطح رطوبتی	8	25.04 ^{ns}	26.46 ^{ns}	0.013 ^{ns}	1.16 ^{ns}	2.56 ^{ns}	3.14 ^{ns}	28.03 ^{ns}	26.42 ^{ns}
P × C تاریخ کاشت × رقم	2	729.27 ^{**}	470.32 ^{**}	0.028 ^{ns}	2.33 ^{ns}	21.75 [*]	7.27 [*]	36.17 ^{ns}	37.35 ^{ns}
P × M تاریخ کاشت × سطح رطوبتی	4	58.17 ^{ns}	48.42 ^{ns}	0.052 ^{**}	1.64 ^{ns}	6.19 ^{ns}	2.11 ^{ns}	153.83 [*]	51.64 ^{ns}
P × C × M تاریخ کاشت × رقم × سطح رطوبتی	8	11.29 ^{ns}	18.32 ^{ns}	0.017 ^{ns}	1.32 ^{ns}	3.86 ^{ns}	2.77 ^{ns}	30.99 ^{ns}	47.65 ^{ns}
P × L × C تاریخ کاشت × مکان × رقم	2	197.97 [*]	87.07 ^{ns}	0.003 ^{ns}	6.17 ^{ns}	15.94 ^{ns}	9.98 ^{**}	164.01 [*]	170.22 [*]
P × L × M تاریخ کاشت × مکان × سطح رطوبتی	4	51.47 ^{ns}	63.79 ^{ns}	0.004 ^{ns}	5.67 ^{ns}	3.20 ^{ns}	1.49 ^{ns}	54.25 ^{ns}	28.37 ^{ns}
P × L × C × M تاریخ کاشت × مکان × رقم × سطح رطوبتی	8	61.06 ^{ns}	20.10 ^{ns}	0.019 ^{ns}	0.46 ^{ns}	4.51 ^{ns}	1.67 ^{ns}	19.49 ^{ns}	41.12 ^{ns}
Error خطا	112	5885.56	52.10	0.013	2.62	5.67	1.82	45.04	39.62
Total کل	179	114.73	376.93	0.044	19.86	8.28	3.30	215.88	45.04
CV (%) ضریب تغییرات (درصد)		10.5	15.9	23.9	18.1	15.6	32.8	24.4	22.0

* , ** , and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

و ، ** ، و ^{ns} به ترتیب معنی داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی داری

جدول ۳- مقایسه میانگین اثرات ساده صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برگ کینوا
Table 3- Mean comparison of simple effects on quinoa leaf physiological and biochemical traits

Experiment factor عوامل‌های آزمایشی	Levels of experiment factor سطوح عامل‌های آزمایشی	محتوای نسبی آب RWC	نشست الکترولیت EL (%)	سدیم Na	پتاسیم K	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پروлін Proline (mmol g ⁻¹ FW)	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate (mg g ⁻¹ FW)
تاریخ کاشت	July/August	63.68 b	33.14 b	0.33 b	7.73 b	14.14 b	4.40 a	0.464 b	16.92 b	23.83 b
Planting date	March	74.57 a	57.87 a	0.65 a	10.21 a	16.40 a	3.82 b	0.586 a	26.42 a	31.28 a
مکان Location	Birjand	67.92 b	38.14 b	0.50 a	6.10 b	15.42 a	4.46 a	0.502 b	29.10 a	32.49 b
	Sarbisheh	70.32 a	52.88 a	0.48 a	11.85 a	15.13 a	3.76 b	0.548 a	14.25 b	22.16 a
رقم Cultivar	تیتیکاکا Titicaca	70.64 a	46.72 a	0.51 a	8.16 b	14.78 b	3.17 c	0.534 a	19.96 b	26.42 b
	ردکارینا Redcarina	68.09 a	44.74 a	0.46 b	9.15 a	15.28 ab	4.30 b	0.520 a	21.87 ab	27.21 ab
	گیزاوان Giza1	68.64 a	45.06 a	0.51 ab	9.61 a	15.75 a	4.85 a	0.521 a	23.185 a	29.42 a
سطوح رطوبتی (نیاز آبی)	125%	75.53 a	41.13 d	0.41 d	7.50 c	13.62 c	3.23 b	0.421 c	17.30 c	23.73 d
	100%	73.79 a	42.44 cd	0.46 cd	8.48 b	14.30 c	3.67 b	0.467 bc	18.97 bc	25.91 cd
	75%	69.27 b	45.08 bc	0.50 bc	8.87 b	15.47 b	3.84 b	0.525 b	20.48 b	26.83 bc
Moisture levels (Water requirement)	50%	64.87 c	47.68 b	0.53 ab	9.82 a	15.96 ab	4.65 a	0.587 a	25.38 a	28.86 b
	25%	62.16 c	24.50 a	0.57 a	10.19 a	17.00 a	5.14 a	0.626 a	26.23 a	32.44 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون و فاکتور آزمایشی، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.
Means in each column and each experiment factors followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه گانه بر محتوای نسبی آب برگ
Table 4- Mean comparison of double and triple interaction effects on RWC (%)

تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar				تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar				
Planting date	Cultivar			Location	Planting date	Cultivar		
	Giza1	Redcarina	Titicaca			Giza1	Redcarina	Titicaca
مردادماه March	77.67 a	73.32 b	72.71 b	Birjand	مردادماه March	75.94 ab	73.49 b	71.39 b
اسفندماه July/August	59.60 d	62.87 d	68.57 c		اسفندماه August	61.58 cd	60.36 cd	64.78 c
				Sarbisheh	مردادماه March	79.41 a	73.15 b	74.03 b
					اسفندماه July	57.62 d	65.38 c	72.35 b

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

الکترولیت‌های برگ را در سربیشه و بیرجند به ترتیب ۵۹/۹۱ و ۱۰/۵۳ درصد افزایش داد که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر تاریخ کاشت در سربیشه می‌باشد. بیشترین و کمترین نشت الکترولیت برگ به ترتیب در کشت مردادماه سربیشه (۷۵/۴۹ درصد) و کشت اسفندماه سربیشه (۲۶/۳۰ درصد) مشاهده شد (جدول ۳ و ۵). دلیل این امر تجربه دماهای پایین‌تر از صفر در کشت مردادماه سربیشه در زمان گلدهی (اواسط مهرماه) می‌باشد که موجب تأثیرات جبران‌ناپذیر بر غشاء سلول‌ها و به دنبال آن افزایش شدید نشت الکترولیت در برگ کینوا در این بازه گردیده است. گزارش‌ها گویای آن است که کاهش دما به دمای یخ‌زدگی در گیاهان منجر به افزایش نشت الکترولیت‌ها می‌شود (Kim, Kim, Han, Lee, & Chang, 2002; Dashti, Kafi, Tavakoli, Mirza, & Nezami, 2016; Nezami, Borzooei, Jahani, Azizi, & Sharif, 2007; Mirmiran, Nezami, & Hasanfard, Nezami, Kafi, 2017). حسن‌فرد و همکاران (Kafi, 2018) بیان نمودند که با کاهش دما، درصد نشت الکترولیت‌ها از هر سه اندام گیاهی (برگ، ساقه و بافت مریستم) افزایش داشت و درصد افزایش نشت الکترولیت‌ها و دمای آغازین آن بسته به اندام گیاهی متفاوت بود.

اثر سطوح رطوبتی: نشت الکترولیت با اعمال تنش کم‌آبایی، افزایش یافت به نحوی که از سطح ۱۲۵ درصد به ۷۵، ۱۰۰، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، نشت الکترولیت برگ به ترتیب ۳/۱۸، ۹/۵۹، ۱۵/۹۳ و ۲۴/۵۰ درصد افزایش یافت (جدول ۳). که با نتایج الشامی و همکاران (El-Shamy et al., 2022) و موالیس و همکاران (Morales et al., 2017) در کینوا مطابقت داشت. مرادی و همکاران (Moradi et al., 2023) در بررسی گیاه کینوا بیان نمودند که گیاهانی که در شرایط آبیاری کامل رشد کردند، بیشترین میزان پایداری غشاء (کمترین میزان نشت الکترولیت) را داشتند و با گیاهان رشدیافته در شرایط ۷۵ درصد نیاز آبی تفاوت معنی‌داری نداشتند و همچنین تیمار آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه باعث افت ۱۲/۷۹ درصدی پایداری غشاء سلول نسبت به شرایط آبیاری کامل

در گیاهان با وقوع تنش خشکی، تطابق اسمزی رخ خواهد داد و محتوای مواد محلول در سلول‌های برگ افزایش می‌یابد. این بالا بودن محتوای مواد محلول باعث می‌شود که وقتی برگ گیاه در آب مقطر غوطه‌ور می‌شود، مواد سیئوپلاسمی به محیط آپوپلاستی نشت می‌کنند و آبیگری بیشتری در مقایسه با برگ شاهد داشته و در نتیجه محتوای آب برگ در گیاه تنش دیده پایین می‌باشد (Karmollachaab & Gharineh, 2013). بنابر گزارش زنگنه و همکاران (Zanganeh, Ghobadi, & KhorramiVafa, 2022)، در تیمار تنش خشکی ملایم (۶۵ درصد تخلیه رطوبت خاک) و شدید (۸۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) میزان کاهش محتوای نسبی آب برگ کینوا رقم سانتاماریا نسبت به شاهد (۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک) به ترتیب ۱۵/۵۸ و ۲۶/۴۸ درصد بودند و این مقادیر نشان می‌دهند که تنش ملایم و شدید، آب میان‌بافتی برگ کینوا را به صورت قابل‌توجهی کاهش داده‌اند. جمالی و همکاران (Jamali, Shaifan, & Sajadi, 2019) بیان نمودند که محتوای نسبی آب برگ کینوا تحت تأثیر سطوح کم‌آبایی قرار گرفت به نحوی که در سطوح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، محتوای نسبی آب برگ به ترتیب ۷۹/۵۴، ۷۳/۷۶ و ۷۳/۱۴ درصد بود. براساس مطالعه لین و چائو (Lin & Chao, 2021) نیز محتوای نسبی آب برگ کینوا در برابر کم‌آبایی کاهش یافت؛ ایشان بیان نمودند که بین سطوح ۹۰، ۸۵ و ۵۰ درصد محتوای آب، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما این اختلاف در زمان کاربرد ۲۵ درصد محتوای آب، مشاهده شد.

درصد نشت الکترولیت‌های برگ: براساس نتایج تجزیه مرکب، نشت الکترولیت برگ به صورت معنی‌داری ($P \leq 0.01$) تحت تأثیر تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت × مکان، تاریخ کاشت × مکان و سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مردادماه، درصد نشت

کینوا در تاریخ‌های مختلف کاشت متفاوت است به نحوی که بیشترین میزان نشت الکترولیت برگ در مردادماه (۶۲/۰۲ درصد) و کمترین میزان آن در اسفندماه (۳۱/۴۲ درصد)، به رقم تیتیکاکا اختصاص داشت که نشان‌دهنده حساسیت بالاتر این رقم به سرما در زمان گلدهی می‌باشد. بین ارقام ردکارینا و گیزاوان در کشت مردادماه و همچنین کشت اسفندماه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۵).

شد. بنا بر گزارش نادعلی و همکاران (Nadali et al., 2022)، در اثر اعمال محدودیت‌های آبیاری در ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی کینوا، تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن افزایش یافته که سبب اکسید شدن آنتی‌اکسیدان‌ها، تجزیه رنگیزه‌ها، صدمه دیدن غشاهای سلولی و افزایش نشت‌پذیری الکترولیت‌ها شده است. اثر تاریخ کاشت در رقم: نتایج نشان داد که رفتار ارقام مختلف

جدول ۵- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه بر درصد نشت الکترولیت برگ
Table 5- Mean comparison of double interaction effects on leaf electrolyte leakage (%)

تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar			تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location		
Planting date	Cultivar		Planting date	Location	
	Giza1	Redcarina		Birjand	Sarbisheh
March مردادماه	54.79 b	56.81 b	March مردادماه	40.26 b	75.49 a
July/August اسفندماه	35.34 c	32.67 cd	July/August اسفندماه	36.02 c	30.26 d

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

افزایش غلظت سدیم در اثر تنش خشکی، نوعی عکس‌العمل گیاه جهت منفی‌تر کردن پتانسیل اسمزی و افزایش فشار آماس برگ برای جلوگیری از افت پتانسیل آب برگ در شرایط تنش، است. در آزمایشی دیگر نیز با اعمال کم‌آبیاری، محتوای سدیم برگ در هر دو سال آزمایش، محتوای سدیم برگ افزایش یافت به نحوی که در شرایط آبیاری منظم و کم‌آبیاری در سال ۲۰۱۹-۲۰۲۰ به ترتیب ۳/۱۵ و ۳/۹۰ میلی‌گرم در گرم ماده خشک و در سال ۲۰۲۰-۲۰۲۱ به ترتیب ۳/۲۳ و ۳/۹۲ میلی‌گرم در گرم ماده خشک بود (El-Shamy et al., 2022). اقبال و همکاران (Iqbal, Yaning, Waqas, Shareef, & Raza, 2018) بیان نمودند که تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری غلظت یون سدیم برگ را در ارقام IESP, Pichaman, 2-Want و Colorado-407D به ترتیب ۵۱/۲، ۶۴/۷، ۸۶/۷ و ۱۵۸/۲ درصد افزایش یافت.

محتوای یون پتاسیم برگ: عنصر پتاسیم تقریباً در تمام فرآیندهای متابولیسمی گیاه نقش دارد. پتاسیم که به‌صورت یون و با صرف انرژی از خاک جذب می‌شود، وظایف برقراری پتانسیل اسمزی، فعال کردن آنزیم‌ها (به‌عنوان کوآنزیم)، تثبیت pH، سنتز پروتئین، حرکات روزنه‌ای، انبساط سلولی، فتوسنتز و تعادل آنیونی را در گیاه به عهده دارد. قسمت اعظم پتاسیم موجود در گیاه به‌صورت ترکیبات معدنی در سیتوپلاسم واکوئل مشاهده می‌گردد (Nourihosseini & Zabiha, 2015). براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت × مکان، رقم، سطوح رطوبتی و همچنین مکان × رقم، تأثیر معنی‌داری (P ≤ ۰/۰۱) بر محتوای پتاسیم برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

محتوای یون سدیم برگ: سدیم، کاتیون قابل‌حل در بسیاری از خاک‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. نتایج تجزیه مرکب نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی، تأثیر معنی‌داری (P ≤ ۰/۰۱) بر محتوای سدیم برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت و سطوح رطوبتی و اثر متقابل تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی: سدیم برگ در کشت اسفندماه، با افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی، به ترتیب ۱۱/۲۱، ۱۴/۰۲، ۱۲/۱۵ و ۲۴/۳۰ درصد و در کشت مردادماه به ترتیب ۱۱/۱۱، ۲۷/۵۱، ۳۷/۵۷ و ۴۵/۵۰ درصد افزایش یافت. بین سطوح رطوبتی، در کشت اسفندماه، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). اسیف و همکاران (Asif et al., 2022) بیان نمودند که تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۰ نوامبر و ۱۵ دسامبر) بر محتوای سدیم برگ تأثیر معنی‌داری داشت. در بسیاری از گیاهان خشکی‌پسند، سدیم با ورود به داخل واکوئل‌ها، نقش عمده‌ای در تنظیم تعادل اسمزی بر عهده دارد، به‌طوری‌که بیشتر گیاهان خشکی‌زی یا غیرخشکی‌زی مقاوم به خشکی، افزایش موقتی سدیم را در آپوپلاست از طریق افزایش مقدار آب سلول‌های مزوفیل (مثل مقدار آب واکوئل) تحمل می‌کنند، بنابراین نمک‌ها رقیق‌تر شده و ظرفیت خود را برای جذب نمک از محلول آپوپلاست بالاتر می‌برند (Heydari SharifAbad, 2000). افزایش غلظت داخل سلول، باعث تحمل شرایط تنش‌زا شده، و سبب تداوم فشار تورژانس و ادامه رشد گیاه می‌گردد. در همین رابطه، شعبانی و همکاران (Shaabani, Kamgar Haghighi, Sepaskhah, Emam, & Honar, 2009) بیان نمودند که این

جدول ۶- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی بر درصد سدیم برگ

Table 6- Mean comparison of double interaction effects (Moisture levels × Planting Date) on sodium ion leaves (%)

Moisture levels	Planting Date	
	July/August اسفندماه	March مردادماه
	125%	0.297 d
Water requirement	100%	0.331 d
نیاز آبی گیاه	75%	0.339 d
	50%	0.333 d
	25%	0.369 d
		0.525 c
		0.583 c
		0.669 b
		0.722 ab
		0.764 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

محتوای پتاسیم قابل‌جذب خاک در سربیشه بیشتر بود، در نتیجه ارقام، مقادیر بالاتری از پتاسیم را جذب نمودند. اقبال و همکاران (Iqbal *et al.*, 2018) در بررسی چهار رقم کینوا (Pichaman، IESP، 2-Want، Colorado-407D) بیان نمودند که رقم 2-Want مقادیر بالاتری از افزایش غلظت پتاسیم در برگ (۷۲/۱۶) میلی‌گرم بر گرم ماده خشک) را نشان داد. عباس و همکاران (Abbas *et al.*, 2023) با بررسی غلظت پتاسیم در ساقه و ریشه چهار رقم کینوا (A7، Titicaca، Viking و Puno) عنوان نمودند که رقم A7 بالاترین و رقم Vikinga کمترین غلظت را دارا بودند. گامز و همکاران (Gámez *et al.*, 2019) نیز غلظت پتاسیم برگ را در دو رقم کینوا (Rainbow و Illpa) مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که غلظت پتاسیم در رقم Illpa به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود. پاتان و همکاران (Pathan *et al.*, 2019) میزان غلظت پتاسیم در رقم Ames-13739 کینوا را ۸۷۶۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم ماده خشک گزارش نمودند.

اثر سطوح رطوبتی: با افزایش تنش رطوبتی بر گیاه، درصد پتاسیم برگ به‌صورت معنی‌دار افزایش یافت. بین سطوح ۱۰۰ و ۷۵ و همچنین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. با افزایش تنش از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، درصد پتاسیم برگ به‌ترتیب ۱۳/۰۸، ۱۱/۳۲، ۱۰/۹۰ و ۳۵/۸۹ درصد افزایش یافت (جدول ۳). جذب زیاد پتاسیم در شرایط تنش نشان می‌دهد که این عنصر در تنظیم اسمزی در شرایط تنش مورد استفاده قرار می‌گیرد تا بتواند از کاهش شدید پتانسیل آماس جلوگیری نماید (Jabbari Orange & Ebadi, 2011). کاهش در مخزن سیتوزولی K⁺ ممکن است منجر به تولید آنزیم‌های دخیل در کاتابولیسم پروتئین‌ها و همچنین افزایش مرگ سلولی برنامه‌ریزی‌شده در بافت گیاهی شود (Dua-e-Zainab *et al.*, 2021). در مطالعه دیگر بیان شد که با اعمال تنش خشکی، غلظت پتاسیم برگ از ۱۶ تا ۲۷/۲ درصد افزایش یافت (Iqbal *et al.*, 2018). سایر تحقیقات نیز نشان‌دهنده افزایش معنی‌دار محتوای پتاسیم برگ بر اثر تنش خشکی می‌باشد (Zaheen *et al.*, 2023; Gámez *et al.*, 2019; Saddiq *et al.*, 2021).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در

مکان: بیشترین درصد پتاسیم برگ در کشت مردادماه سربیشه (۱۵/۵۹ درصد) و کمترین آن در کشت مردادماه بیرجند (۴/۸۲ درصد) مشاهده شد. در بیرجند، گیاهان کشت‌شده در اسفندماه، دارای محتوای پتاسیم بالاتری بودند اما در سربیشه، در کشت مردادماه، درصد پتاسیم برگ کینوا افزایش یافت. احتمال می‌رود با توجه به این که زمین مورد استفاده در سربیشه، حدود ۸ سال، مورد کشت قرار نگرفته و از نسبت پتاسیم قابل‌جذب بالاتری نسبت به بیرجند برخوردار بود، در نتیجه گیاهان کشت‌شده در این منطقه، دارای درصد پتاسیم برگ بالاتری بودند (جدول ۳ و ۷). غلظت یون پتاسیم در داخل گیاه، عاملی برای کنترل عملکرد بوده و در عین حال خود نیز از شرایط فراهمی پتاسیم در خاک تأثیر می‌گیرد و این فراهمی تحت تأثیر میزان یون پتاسیم تبدالی و غلظت آن در محلول خاک و رطوب خاک است (Wang, Zheng, Shen, & Guo, 2013). در مطالعه دیگر، بالاترین محتوای پتاسیم برگ کینوا در منطقه پساری با خاک متوسط و کشت بهاره به میزان ۱۰۵۳۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک و کمترین آن را در منطقه پاولویس با خاک سبک و کشت تابستانه به میزان ۹۵۵۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم ماده خشک مشاهده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (Adamczewska-Sowińska *et al.*, 2021).

اثر ساده رقم و اثر متقابل مکان در رقم: نتایج نشان داد که

بالاترین محتوای پتاسیم برگ در رقم گیزاوان (۹/۶۱ درصد) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (۹/۱۵ درصد) نداشت و کمترین آن نیز متعلق به رقم تیتیکاکا (۸/۱۶ درصد) بود (جدول ۳). بالاترین درصد پتاسیم برگ در سربیشه متعلق به رقم گیزاوان (۱۲/۸۸ درصد) بود که اختلاف معنی‌داری با رقم ردکارینا (۱۲/۲۵ درصد) در همان منطقه نداشت. در هر دو منطقه، رقم گیزاوان بیشترین مقدار پتاسیم و رقم تیتیکاکا کمترین مقدار را جذب نموده بود اما در منطقه بیرجند، بین ارقام اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. درصد پتاسیم برگ ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا که در منطقه سربیشه کشت شدند، به‌ترتیب ۲/۰۳، ۲/۰۲ و ۱/۷۶ برابر بیشتر از گیاهان کشت‌شده در منطقه بیرجند بود (جدول ۷). با توجه به این که

جدول ۷- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو گانه بر درصد پتاسیم برگ

Table 7- Mean comparison of double interaction effects on potassium ion leaves (%)

مکان × رقم Location × Cultivar			تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location		
Location	Cultivar		Planting date	Location	
	Giza1	Redcarina		Birjand	Sarbisheh
Birjand	6.34 c	6.04 c	March مردادماه	4.82 d	15.59 a
Sarbisheh	12.88 a	12.25 a	July/August اسفندماه	7.38 c	8.10 b

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

۱۳/۵۳، ۱۷/۱۷ و ۲۴/۸۳ درصد افزایش یافت. بین سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش کلروفیل در شرایط تنش نشان می‌دهد که در تنش خشکی رنگدانه‌های کلروفیل تا حدی به کاهش آب مقاوم هستند (Schutz & Fangmeier, 2001). همچنین به نظر می‌رسد که افزایش میزان کلروفیل در اثر تنش، به دلیل افزایش وزن مخصوص برگ است و وقوع تنش میزان سطح برگ را کاهش می‌دهد که ناشی از کاهش اندازه سلول است، بنابراین در طی بروز تنش به دلیل وجود سلول‌های بیشتر در واحد وزن برگ، میزان کلروفیل نیز افزایش می‌یابد (Nonami & Boyer, 1990). در مطالعه سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya et al., 2021)، افزایش ۳۴ درصدی محتوای کلروفیل a برگ کینوا نسبت به شاهد گزارش گردید. در مطالعه گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2009)، محتوای کلروفیل a در شرایط شاهد و تنش به ترتیب ۲۱/۳ و ۲۰/۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر بود که اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. اما الشامی و همکاران (El-Shamy et al., 2022) گزارش نمودند که در هر دو سال مورد آزمایش، کم‌آبیاری موجب کاهش محتوای کلروفیل a در برگ کینوا شد. به نحوی که محتوای کلروفیل a در سال ۲۰۲۰-۲۰۱۹ از ۰/۴۸۰ به ۰/۳۷۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر و در سال ۲۰۲۱-۲۰۲۰ از ۰/۴۹۴ به ۰/۳۸۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر رسید. برخی محققان دیگر نیز کاهش در محتوای کلروفیل a در شرایط تنش خشکی را گزارش نمودند (Manaa et al., 2021; Naz et al., 2020; Gholami et al., 2021; Tarek et al., 2017; Elewa et al., 2017).

محتوای کلروفیل b: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت × مکان، رقم × سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × رقم ($P \leq 0.05$)، مکان، رقم، سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت × مکان × رقم ($P \leq 0.01$) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل b برگ کینوا داشتند (جدول ۲).

محتوای کلروفیل a: براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات تاریخ کاشت، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی ($P \leq 0.01$) و همچنین تاریخ کاشت × رقم ($P \leq 0.05$) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کلروفیل a برگ کینوا داشتند و تأثیر سایر اثرات بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

اثر ساده تاریخ کاشت و اثرات متقابل تاریخ کاشت در مکان و تاریخ کاشت در رقم: بیشترین محتوای کلروفیل a برگ کینوا، متعلق به کشت مردادماه بیرجند (۱۶/۷۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود. در هر دو منطقه مورد مطالعه، اختلاف معنی‌داری بین تاریخ کاشت مشاهده شد. افزایش محتوای کلروفیل a برگ در مرداد نسبت به اسفند در بیرجند و سربیشه به ترتیب ۱۹/۷۵ و ۷/۴۸ درصد بود. در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد و محتوای کلروفیل a بین بازه ۱۶/۲۱ الی ۱۶/۵۷ متغیر بود اما در کشت اسفندماه، بالاترین محتوای کلروفیل a در رقم گیزاوان مشاهده شد و ارقام ردکارینا و تیتیکاکا، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به طور کلی بالاترین محتوای کلروفیل a در رقم ردکارینا کاشته شده در مردادماه و کمترین آن در رقم تیتیکاکا کاشته شده در اسفندماه مشاهده شد (جدول ۸). رشید و همکاران (Rashid et al., 2021) با بررسی دو تاریخ کاشت نرمال و با تأخیر (به ترتیب ۱۷ نوامبر و ۲۴ دسامبر) بیان نمودند که تأخیر در کاشت اثر نامطلوب بر محتوای کلروفیل برگ کینوا داشت. به گفته ایشان، دسترسی به نور و دمای مطلوب دوعامل قابل اندازه‌گیری مهم می‌باشند که بر روی محتوای کلروفیل برگ تأثیرگذارند. در مطالعه دیگر بیشترین محتوای کلروفیل در منطقه پساری با خاک متوسط و کشت بهاره به میزان ۰/۸۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر، مشاهده شد. در منطقه پاولویتس (خاک سبک)، در بین تاریخ‌های کاشت، اختلاف در محتوای کلروفیل برگ مشاهده نشد (Adamczewska-Sowińska et al., 2021).

اثر سطوح رطوبتی: اعمال کم‌آبیاری منجر به افزایش محتوای کلروفیل a برگ کینوا گردید به نحوی که با افزایش کم‌آبیاری و اعمال تنش بر گیاهان از سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای کلروفیل a به ترتیب ۵/۰۱،

جدول ۸- مقایسه میانگین اثرات متقابل دوگانه بر محتوای کلروفیل a (میلی گرم بر گرم وزن تر)
Table 8- Mean comparison of double interaction effects on chlorophyll a (mg g⁻¹ FW)

تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar			تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location			
Planting date	Cultivar		Planting date	Location		
	Giza1	Redcarina		Birjand	Sarbisheh	
March مردادماه	16.21 ab	16.57 a	16.42 ab	March مردادماه	16.78 a	16.01 b
July/August اسفندماه	15.29 b	14.00 c	13.14 c	July/August اسفندماه	13.47 d	14.82 c

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

خشکی شناخته شده است و شاخص پایداری بالا به معنی بی‌تأثیر بودن تنش بر گیاه بوده و موجب دسترسی بهتر گیاه به کلروفیل می‌گردد (Modhan, Narayanan, & Ibrahim, 2000). عباس و همکاران (Abbas et al., 2023) با بررسی چهار رقم کینوا بیان نمودند که ارقام A7 و Puno دارای محتوای کلروفیل بالاتری نسبت به ارقام Titicaca و Vikinga در شرایط تنش خشکی بودند. در مطالعه دیگر، تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری محتوای کلروفیل b را در همه ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کاهش داد. براساس مطالعه ایشان، در زمان تنش خشکی، ژنوتیپ 2-Want بیشترین و ژنوتیپ Pichaman کمترین میزان کلروفیل b را به خود اختصاص دادند (Iqbal et al., 2018). ناز و همکاران (Naz et al., 2020) نیز با بررسی چهار رقم کینوا (V1، V2، V7 و V9) در سطوح تنش آبی (۱۰۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد ظرفیت زراعی) بیان نمودند که ارقام V1، V2 و V7 به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش یافتند اما در رقم V9 هیچ تغییری با اعمال تنش کم‌آبی مشاهده نشد.

اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت در رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: نتایج نشان داد که در کشت اسفندماه، ارقام ردکارینا و گیزاوان از محتوای کلروفیل b یکسانی برخوردار بودند و در کشت مردادماه، رقم گیزاوان بالاترین محتوا را به خود اختصاص داد. در هر دو تاریخ کاشت، رقم تیتیکاکا کمترین محتوای کلروفیل b را دارا بود. نحوه واکنش ارقام به تاریخ کاشت متفاوت بود. کمترین نوسان در محتوای کلروفیل b در بین تاریخ‌های کاشت، متعلق به رقم گیزاوان (۴/۷۴ و ۴/۹۶ میلی گرم بر گرم وزن تر به‌ترتیب در تاریخ کاشت اسفند و مرداد) بود و اما رقم تیتیکاکا بالاترین درصد تغییرات را به خود اختصاص داد به نحوی که محتوای کلروفیل b از تاریخ کاشت اسفند به مرداد، ۳۳/۱۰ درصد کاهش یافت و میزان این کاهش در رقم ردکارینا، ۲۷/۹۷ درصد بود همچنین در منطقه بیرجند، ارقام ردکارینا و تیتیکاکا دارای اختلاف معنی‌دار بین دو تاریخ کاشت بودند اما در منطقه سریشه، هیچ کدام از ارقام، واکنشی به تاریخ کاشت نشان ندادند. در تاریخ کاشت مردادماه، تنها رقم گیزاوان دارای اختلاف معنی‌دار در بین دو منطقه بیرجند و سریشه

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در

مکان: نتایج نشان داد که تنها در کشت اسفندماه بیرجند، بالاترین محتوای کلروفیل b نسبت به سایر سطوح، مشاهده شد که احتمالاً به دلیل افزایش سطح فتوسنتزکننده بوده است زیرا افزایش سطح برگ و کلروپلاست، اثر مثبتی بر محتوای کلروفیل برگ کینوا دارد (Mahmood & AL-Taweel, 2022). در سریشه، بین تاریخ کاشت در این صفت اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و با تغییر کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کلروفیل b حدود ۳/۵۰ درصد کاهش یافت اما در شهرستان بیرجند، این تغییر کاشت، منجر به کاهش معنی‌دار ۲۶/۸۶ درصدی محتوای کلروفیل b شد در همین راستا آدمچوسکا-سووینسکا و همکاران (Adamczewska-Sowińska et al., 2021) نیز گزارش نمودند که محتوای کلروفیل برگ کینوا در گیاهان کشت شده در بهار (۰/۷۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) نسبت به تابستان (۰/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر)، بیشتر بود.

اثرات ساده رقم، سطوح رطوبتی و اثر متقابل رقم در سطوح

رطوبتی: به‌طور کلی رقم گیزاوان از محتوای کلروفیل b بالاتری (۴/۸۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) برخوردار بود و رقم تیتیکاکا کمترین (۳/۱۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) میزان را داشت. تنش کم‌آبی موجب افزایش معنی‌دار محتوای کلروفیل b برگ کینوا شد. در هر سه رقم مورد مطالعه، با کاهش میزان آبیاری، محتوای کلروفیل b به‌صورت معنی‌داری افزایش یافت اما شیب این افزایش بین ارقام، متفاوت بود. رقم ردکارینا در مواجهه با تنش خشکی، با شیب بالاتری نسبت به سایر ارقام، محتوای کلروفیل b در برگ خود را افزایش داد و کمترین شیب هم متعلق به رقم تیتیکاکا بود. به‌طور کلی، بالاترین محتوای کلروفیل b در رقم گیزاوان و سطح رطوبتی ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه (۵/۷۰ میلی گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که با سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد نیاز آبی در همین رقم (به‌ترتیب ۵/۳۲ و ۵/۱۸ میلی گرم بر گرم وزن تر) و سطوح ۲۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی در رقم ردکارینا (به‌ترتیب ۵/۶۴ و ۵/۴۲ میلی گرم بر گرم وزن تر)، اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین محتوا هم از سطوح ۱۲۵ تا ۵۰ درصد نیاز آبی در رقم تیتیکاکا مشاهده شد. پایداری کلروفیل به‌عنوان شاخصی از تنش

کاشت ۱۵ نوامبر، لاین‌های ۲، ۳، ۴ و ۷ (به ترتیب PIA-922، PIA-924، PIA-928 و PIA-929) بالاترین محتوای کلروفیل را داشتند و کمترین آن در لاین ۸ (PIA-930) مشاهده شد. در تاریخ کاشت ۳۰ نوامبر، لاین‌های ۱، ۲، ۴ و ۱۰ (به ترتیب PIA-921، PIA-922، PIA-925 و PIA-932) و در تاریخ ۱۵ دسامبر لاین‌های ۵، ۶، ۸ و ۹ (به ترتیب PIA-926، PIA-928، PIA-930 و PIA-931) بالاترین محتوای کلروفیل را نسبت به سایر لاین‌ها داشتند.

جدول ۹- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه گانه بر محتوای کلروفیل b

Table 9- Mean comparison of double and triple interaction effects on chlorophyll b (mg g⁻¹ FW)

تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar				تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location			
Planting date	Cultivar			Planting date	Location		
	Giza1	Redcarina	Titicaca		Birjand	Sarbisheh	
March مردادماه	4.96 a	3.77 b	2.72 c	March مردادماه	3.94 b	3.69 b	
July/August اسفندماه	4.74 a	4.83 a	3.62 b	July/August اسفندماه	4.97 a	3.82 b	
رقم × سطوح رطوبتی Cultivar × Moisture levels				تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar			
Moisture levels	Cultivar	Cultivar		Planting date	Cultivar	Location	
		Giza1	Redcarina			Birjand	Sarbisheh
Water requirement نیاز آبی گیاه	125%	3.74 cdef	2.78 defg	March مردادماه	Giza1	5.73 a	4.19 cd
	100%	4.33 bc	3.70 cdef		Redcarina	3.49 de	4.05 cd
	75%	5.19 ab	3.96 cde	Titicaca	2.60 e	2.83 e	
	50%	5.32 ab	5.42 ab	July/August اسفندماه	Giza1	5.02 abc	4.45 cd
	25%	5.70 a	5.64 a	Redcarina	5.34 ab	4.31 cd	
				Titicaca	4.54 bc	2.69 e	

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

اثر ساده سطوح رطوبتی و اثر متقابل تاریخ کاشت در سطوح

رطوبتی: تنش کم‌آبایی منجر به افزایش کاروتنوئیدهای برگ کینوا در هر دو تاریخ کاشت شد در کشت مرداد، بین سطوح ۵۰ و ۲۵ درصد و همچنین ۱۰۰ و ۱۲۵ درصد نیاز آبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد اما در کشت اسفندماه، بین سطوح ۱۰۰ تا ۲۵ درصد نیاز آبی، این اختلاف مشهود نبود. به بیان دیگر، با تغییر سطوح رطوبتی از سطح ۱۲۵ به سطوح ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیاز آبی گیاه، محتوای کاروتنوئیدها در کشت اسفندماه به ترتیب ۱/۱۳، ۱/۱۷، ۱/۲۳ و ۱/۳۴ برابر و در کشت مردادماه به ترتیب ۱/۱۰، ۱/۳۲، ۱/۵۴ و ۱/۶۲ برابر گردید (جدول ۱۰). کاروتنوئیدها ترکیبات تترترپنی هستند که در تنش‌های شدید به‌عنوان حمایت‌کننده‌ای برای سایر رنگیزه‌ها عمل کرده و مانع از تخریب کلروفیل‌ها می‌شود. با افزایش تنش خشکی مقدار کاروتنوئیدها به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان غیرآنزیمی باعث خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد می‌شود (Mortazaeinezhad, & JaziZadeh, 2017). سلیمانی‌نیا و همکاران (Solimaninya et al., 2021) گزارش نمودند

بود ولی در کشت اسفندماه عکس‌العملی کاملاً متفاوت مشاهده شد و ارقام دیگر به‌جز رقم گیزاوان، دارای اختلاف معنی‌دار در دو منطقه مورد بررسی بودند. به‌طور کلی می‌توان بیان نمود که در منطقه بیرجند و در تاریخ کاشت مردادماه، بالاترین محتوای کلروفیل b در ارقام مورد بررسی مشاهده شد (جدول ۹). آسیف و همکاران (Asif et al., 2022) با بررسی اثر متقابل لاین‌های کینوا (۱۰ لاین) و تاریخ کاشت (۱۵ و ۳۰ نوامبر و ۱۵ دسامبر) گزارش نمودند که در تاریخ

محتوای کاروتنوئیدها: براساس نتایج تجزیه مرکب، اثرات

تاریخ کاشت، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × رقم، تاریخ کاشت × مکان × رقم ($P < 0.01$)، مکان و تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی ($P < 0.05$) تأثیر معنی‌داری بر محتوای کاروتنوئید برگ کینوا داشتند و سایر اثرات تأثیر معنی‌دار بر این صفت نداشتند (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در

مکان: نتایج نشان داد که در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری بین مناطق مورد مطالعه، در محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا مشاهده نشد. در بیرجند، با تغییر کشت از اسفند به مرداد، محتوای کاروتنوئیدها ۴۷/۴۹ درصد افزایش یافت اما میزان این افزایش در سربیشه ۹/۸۲ درصد بود. در کشت اسفندماه، با تغییر منطقه کاشت از بیرجند به سربیشه، محتوای کاروتنوئیدها، ۲۸/۹۳ درصد افزایش یافت اما در مردادماه موجب کاهش ۴/۰۱ درصدی صفت مذکور گردید (جدول ۱۰). افزایش تدریجی دما و کاهش رطوبت منجر به تخریب رنگدانه‌های برگ و همچنین آنزیم رویسکو می‌شود (Bhargava, Shukla, & Ohri, 2007).

افزایش ۱۰/۶۱، ۲۰/۸۶ و ۵۰/۴۷ درصدی در محتوای کاروتنوئیدهای برگ ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا گردید. رقم تیتیکاکا بالاترین محتوای کاروتنوئیدها در مردادماه (۰/۶۴ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن در کشت اسفندماه (۰/۴۳ میلی گرم بر گرم وزن تر) را به خود اختصاص داد. در بیرجند، بین تاریخ کاشت در ارقام مورد مطالعه، اختلاف معنی دار مشاهده شد و محتوای کاروتنوئیدها در کشت مرداد و در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکاکا به ترتیب ۱/۴۹، ۱/۴۸ و ۱/۴۷ برابر نسبت به کشت اسفند بود. اما در سریشه، تنها در رقم تیتیکاکا، تفاوت معنی دار با تغییر تاریخ کاشت مشاهده شد و در کشت مرداد افزایش ۱/۵۱ برابری نسبت به کشت اسفندماه داشت. همچنین در مرداد، اثر منطقه بر محتوای کاروتنوئیدها معنی دار نبود اما در اسفندماه در ارقام گیزاوان و ردکارینا، اختلاف معنی دار مشاهده شد. بالاترین محتوای کاروتنوئیدها متعلق به رقم تیتیکاکا در کشت مردادماه سریشه (۰/۶۵ میلی گرم بر گرم وزن تر) و کمترین آن متعلق به رقم گیزاوان در کشت اسفندماه بیرجند (۰/۳۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۱۰).

که تنش خشکی تأثیر معنی داری بر محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا داشت به نحوی که بیشترین میزان کاروتنوئید (۳/۱۰ میلی گرم بر گرم وزن تر)، مربوط به بالاترین سطح خشکی (۹- بار) بود که افزایش دو برابری نسبت به شاهد را نشان داد. زنگنه و همکاران (Zanganeh et al., 2022) نیز با بررسی سه سطح تنش خشکی (شاهد، ملایم و شدید) بیان نمودند که محتوای کاروتنوئیدهای برگ کینوا با افزایش تنش خشکی، افزایش یافت. معمولاً در شرایط تنش زه، میزان کاروتنوئیدها که رنگدانه‌های فرعی هستند، افزایش می‌یابد که به محافظت از کلروفیل در برابر آسیب‌های نوری کمک می‌کنند و انرژی خود را به کلروفیل b منتقل می‌کنند. در شرایط تنش محیطی معمولاً سطح برگ‌ها کم و به دلیل این که در معرض تابش نور خورشید هستند، ضخیم‌تر بوده و نسبت به تیمار شاهد دارای ویژگی‌های بیوشیمیایی و مرفولوژیکی متفاوتی خواهند شد (Taiz, Zeiger, Moller, & Murphy, 2015).

اثر متقابل دوگانه تاریخ کاشت در رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: رفتار ارقام در واکنش به تاریخ کاشت متفاوت بود به نحوی که تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، موجب

جدول ۱۰- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه‌گانه بر محتوای کاروتنوئیدها

Table 10- Mean comparison of double and triple interaction effects on carotenoids (mg g⁻¹FW)

تاریخ کاشت × رقم Planting date × Cultivar				تاریخ کاشت × مکان Planting date × Location			
Planting date	Cultivar			Planting date	Location		
	Giza1	Redcarina	Titicaca		Birjand	Sarbisheh	
March مردادماه	0.548 bc	0.569 b	0.641 a	March مردادماه	0.598 a	0.573 ab	
July/August اسفندماه	0.495 cd	0.471 de	0.426 e	July/August اسفندماه	0.405 c	0.523 b	
تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی Planting date × Moisture levels				تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar			
Moisture levels	Planting date			Planting date	Cultivar	Location	
	March مردادماه	July/August اسفندماه				Birjand	Sarbisheh
Water requirement	125%	0.445 cd	0.396 d	March مردادماه	Giza1	0.58 abc	0.52 cd
نیاز آبی گیاه	100%	0.488 c	0.446 cd	July/August اسفندماه	Redcarina	0.59 abc	0.55 bc
	75%	0.588 b	0.462 cd		Titicaca	0.63 ab	0.65 a
	50%	0.687 a	0.487 c		Giza1	0.39 e	0.60 abc
	25%	0.722 a	0.529 bc		Redcarina	0.40 e	0.54 bc

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

میلی مول بر گرم وزن تر) و کمترین آن در مردادماه سریشه (۱۰/۱۲ میلی مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد. عکس‌العمل کینوا در برابر تاریخ کاشت در دو منطقه متفاوت بود به نحوی که در بیرجند، کشت مردادماه موجب افزایش ۲/۷۶ برابری محتوای پرولین نسبت به کشت اسفندماه گردید اما در سریشه به صورت کاملاً متفاوت عمل نموده و تغییر تاریخ کاشت از مرداد به اسفند موجب کاهش ۱/۸۲ برابری در صفت مذکور شد (جدول ۱۱). گیاهان کشت شده در مردادماه بیرجند،

محتوای پرولین برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی، مکان × سطوح رطوبتی (P < ۰/۰۱)، رقم، تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی و همچنین تاریخ کاشت × مکان × رقم (P < ۰/۰۵) تأثیر معنی داری بر محتوای پرولین برگ کینوا داشتند (جدول ۲).

اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: بیشترین محتوای پرولین برگ در مردادماه بیرجند (۴۲/۷۲)

کاشت (به ترتیب ۱۰/۷۹ و ۱۰/۱۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۱۱). داسیلوا و همکاران (da Silva et al., 2021) گزارش نمودند که محتوای پرولین برگ کینوا در ارقام CPAC11، CPAC4، BRS-Piabiru و CPAC19 به ترتیب ۰/۰۷۳، ۰/۰۷۸، ۰/۰۸۳ و ۰/۰۹۵ میکروگرم بر گرم وزن تر بود. در مطالعه گرانادو-رودریگز و همکاران (Granado-Rodríguez et al., 2021) محتوای پرولین شش رقم کینوا در سه سال مورد بررسی قرار گرفت. ایشان بیان نمودند که محتوای پرولین در ارقام vikinga، Titicaca، Regalona، Puno، Q3 و Q5 در سال ۲۰۱۷ به ترتیب ۷/۱۲، ۷/۱۷، ۶/۲۳، ۴/۰۱ و ۳/۱۹ میلی‌گرم بر گرم دانه، در سال ۲۰۱۸ به ترتیب ۷/۶۸، ۶/۹۲، ۸/۲۸، ۶/۲۹ و ۶/۲۲ میلی‌گرم بر گرم دانه و در سال ۲۰۱۹ به ترتیب ۳/۱۷، ۳/۱۳، ۲/۵۳، ۳/۱۱ و ۳/۰۸ میلی‌گرم بر گرم دانه بود. نادعلی و همکاران (Nadali et al., 2022) با بررسی سه رقم کینوا (Titicaca، Q26 و Q29) بیان نمودند که محتوای پرولین برگ، تحت تأثیر معنی‌دار رقم قرار گرفت.

اثر ساده سطوح رطوبتی، اثرات متقابل تاریخ کاشت در سطوح رطوبتی و مکان در سطوح رطوبتی: نتایج نشان داد که تنش رطوبتی منجر به افزایش معنی‌دار محتوای پرولین برگ کینوا گردید و بالاترین محتوا در سطح ۲۵ درصد نیازآبی گیاه (۲۶/۲۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح ۵۰ درصد نیاز آبی (۲۵/۳۸ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۳). پرولین باعث حفظ تعادل آب، حفظ ساختار سه‌بعدی پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شود و به‌عنوان یک محافظ اسمزی عمل می‌کند. اهمیت تجمع پرولین در حفظ وضعیت آبی گیاه بیشتر از اهمیت سایر مواد آلی است و پرولین به‌عنوان رایج‌ترین اسمولیت انباشته‌شده در شرایط تنش عمل می‌کند (Barandeh & Ksvousi, 2017). همچنین به بیان دیگر، تجمع اسمولایت‌های سازگار، موجب تنظیم اسمزی در گیاهان در شرایط تنش خشکی می‌گردد (Jagesh et al., 2010). پرولین نقش حیاتی در تنظیم اسمزی (Hasegawa, Bressan, Zhu, & Bohnert, 2000)، تثبیت و محافظت از آنزیم‌ها، پروتئین‌ها و غشاءها (Ashraf & Foolad, 2007) در برابر اثرات مخرب تنش‌های خشکی-اسمزی و همچنین کاهش اکسیداسیون غشاهای لیپیدی (دمیرال و تورکان، ۲۰۰۴) دارد. به‌طور کلی در سطوح ۱۲۵، ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی کینوا، محتوای پرولین برگ در بیرجند به ترتیب ۱/۹۵، ۱/۷۷، ۲/۱۰، ۱/۹۴ و ۲/۴۲ برابر نسبت به سربیشه بود. در سربیشه تنها بین سطوح ۱۲۵ و ۵۰ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و سایر سطوح با یکدیگر اختلاف نداشتند اما در بیرجند سطح ۱۲۵ درصد تنها با سطح ۱۰۰ درصد نیازآبی اختلاف معنی‌دار نداشت (جدول ۱۱). بیشترین محتوای پرولین در سطح ۲۵ درصد نیازآبی در مرداد (۳۳/۴۳ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با سطح ۵۰ درصد در همان تاریخ کاشت

درجه حرارت بالاتری را نسبت به سه آزمایش دیگر در تاریخ کاشت رشد رویشی، تجربه نمودند و همچنین تاریخ کاشت رشد زایشی گیاه (زمان نمونه‌برداری)، گیاهان با درجه حرارت پایین (سرما) مواجه شدند در نتیجه احتمال دارد که برآیند این دو اثر، موجب افزایش محتوای پرولین در برگ گردیده است. اما در سربیشه میزان سرمای تجربه شده در رشد زایشی، بیشتر از بیرجند بوده و براساس گزارش غلام‌نیا و همکاران (Gholamnia, Mosleh Arany, Sodaezadeh, Tarkesh Esfahani, & Ghasemi, 2021) که در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، با گذشت زمان تا ۴۸ ساعت، مقدار پرولین افزایش و سپس در ۷۲ ساعت کاهش معنی‌داری نشان داد؛ می‌توان بیان نمود که در زمان نمونه‌برداری، به‌دلیل رفع دوره‌ی سرما، محتوای پرولین برگ کاهش معنی‌داری یافته است. بنا بر گزارش وایز و نتو (Wyse & Netto, 2011)، شکل‌گیری فرآیندهای مقاومت در گیاه تحت تأثیر تغییرات سطح پرولین پایدار نیست، زیرا پرولین یک اسیدآمیننه ناپایدار است که سریع تجزیه شده و به منبع ازت تبدیل می‌شود. در مطالعه دیگر بیان شد که اندوخته پرولین در سلول‌های گیاهان عالی می‌تواند در نقش یک محافظ اسمزی سلول و نیز محافظ در برابر سرما عمل نماید (Lone, Kueh, Wyn Jones, & Bright, 1987). همچنین پرولین در محافظت از غشاهای تیلاکوئیدی کلروپلاست در برابر رادیکال‌های آزاد ناشی از آسیب‌های نوری نیز نقش دارد (Ashraf & Foolad, 2007).

اثر ساده رقم و اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: رقم گیزاوان دارای بالاترین محتوای پرولین (۲۳/۱۹ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نسبت به دو رقم دیگر بود به نحوی که محتوای پرولین برگ در ارقام ردکارینا و تیتیکاکا به ترتیب ۵/۶۶ و ۱۳/۹۰ درصد نسبت به رقم گیزاوان کمتر بود. بین رقم گیزاوان و ردکارینا در صفت مذکور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). در بررسی اثر متقابل سه‌گانه می‌توان بیان نمود که در هر دو منطقه مورد مطالعه، در کشت مردادماه، اختلاف معنی‌داری در بین ارقام مشاهده نشد. اما در کشت اسفندماه تنها در منطقه سربیشه و بین ارقام گیزاوان و تیتیکاکا این اختلاف مشهود بود. همچنین در کشت مردادماه با تغییر منطقه کاشت، در تمام ارقام مورد مطالعه، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد اما در اسفندماه تنها این اختلاف معنی‌دار در رقم گیزاوان مشاهده شد و در دو رقم دیگر، با تغییر مکان کاشت، تغییری در محتوای پرولین در برگ آن‌ها ایجاد نشد. بالاترین محتوای پرولین در کشت مردادماه بیرجند و در رقم گیزاوان (۴۴/۸۱ میلی‌مول بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری با ارقام ردکارینا و تیتیکاکا در همان تاریخ و مکان کاشت (به ترتیب ۴۲/۵۵ و ۴۰/۸۰ میلی‌مول بر گرم وزن تر) نداشت و کمترین نیز متعلق به رقم گیزاوان در کشت مردادماه سربیشه (۹/۴۴ میلی‌مول بر گرم وزن تر) بود که باز هم اختلاف معنی‌دار با ارقام ردکارینا و تیتیکاکا در همان تاریخ و مکان

غلامی و همکاران (Gholami et al., 2021) بیان نمودند که میزان پرولین برگ در تیمارهای خشکی صفر، ۰/۴- و ۰/۸- به ترتیب ۰/۹۴، ۱/۰۴ و ۱/۹۲ میکرومول بر گرم وزن تر بود و در واقع تنش خشکی منجر به افزایش محتوای پرولین برگ کینوا گردید. گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2009) گزارش نمودند که با اعمال تنش خشکی، محتوای پرولین برگ کینوا از ۰/۳۷ به ۰/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن تر رسید.

(۳۱/۹۵ میلی مول بر گرم وزن تر) نداشت. در اسفندماه، افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵ به ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی به ترتیب ۷/۸۳، ۹/۵۲، ۲۷/۵۷ و ۲۹/۰۹ درصد افزایش یافت اما این افزایش معنی دار نبود و در مردادماه با افزایش سطح رطوبتی به ترتیب ۱۰/۹۵، ۲۴/۹۲، ۶۰/۸۳ و ۶۸/۲۷ درصد و به صورت معنی داری افزایش یافت (جدول ۱۱). نتایج این پژوهش با نتایج الشامی و همکاران (El-Shamy et al., 2022)، ناز و همکاران (Naz et al., 2020) و ساداک و همکاران (Sadak et al., 2019) مطابقت داشت. همچنین

جدول ۱۱- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه گانه بر محتوای پرولین برگ

Table 11- Mean comparison of double and triple interaction effects on leaf proline content (mmol g⁻¹FW)

تاریخ کاشت × مکان Planting Date × Location			تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting Date × Location × Cultivar					
Location	Planting Date	July/August اسفندماه	March مردادماه	Location	Planting Date	Cultivar		
						Giza1	Redcarina	Titicaca
Birjand		15.47 c	42.72 a	Birjand	March مردادماه	44.81 a	42.55 a	40.80 a
Sarbisheh		18.38 b	10.12 d	Birjand	July/August اسفندماه	15.58 cd	15.83 c	14.98 cd
				Sarbisheh	March مردادماه	9.44 e	10.79 de	10.11 e
				Sarbisheh	July/August اسفندماه	22.89 b	18.31 bc	13.94 cde

مکان × سطوح رطوبتی Moisture levels × Location			تاریخ کاشت × سطوح رطوبتی Moisture levels × Planting Date				
Moisture levels	Location	Birjand	Sarbisheh	Moisture levels	Planting Date	July/August اسفندماه	March مردادماه
	Water requirement	125%	22.87 c		11.74 e	Water requirement	125%
نیاز آبی گیاه	100%	24.24 bc	13.70 de	نیاز آبی گیاه	100%	15.90 de	22.04 bc
	75%	27.76 b	13.20 de		75%	16.15 de	24.82 b
	50%	33.48 a	17.28 d		50%	18.81 cde	31.95 a
	25%	37.13 a	15.33 de		25%	19.03 cde	33.43 a

میانگین‌های دارای حروف مشابه، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می‌باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

کربوهیدرات محلول متعلق به کشت مردادماه بیرجند (۴۷/۴۷ میلی گرم بر گرم وزن تر) بود که با سایر سطوح اختلاف معنی داری داشت و کمترین آن در کشت مردادماه سربیشه (۱۵/۰۹ میلی گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که اختلاف معنی داری با کشت اسفندماه بیرجند (۱۷/۵۲ میلی گرم بر گرم وزن تر) نداشت (جدول ۱۲). این امر احتمالاً مشابه با تغییرات محتوای پرولین برگ، می‌تواند به دلیل قرارگیری بازه گلدهی در درجه حرارت‌های پایین و به دنبال آن کاهش ناگهانی درجه حرارت محیط، بدون سازگاری در گیاه باشد. کربوهیدرات‌ها در گیاه به راحتی منتقل می‌شوند و به عنوان منبع انرژی قابل دسترس، می‌توانند نقطه انجامد را پایین بیاورند و همچنین محتوای کربوهیدرات در گیاهان سازگار نشده طی تنش سرما، افزایش می‌یابد (Guinhard, Robin, Grieu, & Guckert, 1997).
اثر ساده رقم و اثر متقابل سه گانه تاریخ کاشت در مکان در

محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ: نتایج تجزیه مرکب داده‌ها نشان داد که اثرات تاریخ کاشت، مکان، تاریخ کاشت × مکان، سطوح رطوبتی، مکان × سطوح رطوبتی (P < ۰/۰۱)، رقم و همچنین تاریخ کاشت × مکان × رقم (P < ۰/۰۵) تأثیر معنی داری بر محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ کینوا داشتند (جدول ۲).
اثرات ساده تاریخ کاشت، مکان و اثر متقابل تاریخ کاشت در مکان: نتایج نشان داد که تغییرات محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ در دو منطقه مورد بررسی در تاریخ‌های کاشت مختلف، متفاوت است و در واقع کینوا با توجه به منطقه و تاریخ کاشت، عکس‌العمل متفاوتی را نشان داد به نحوی که در بیرجند، با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ، ۲/۷۱ برابر بیشتر شد ولی در سربیشه با تغییر همان تاریخ‌های کاشت، کاهش ۲ برابری در صفت مذکور مشاهده گردید. بیشترین محتوای

روش‌های مختلف نظیر شرکت در تنظیم اسمزی، غیرسمی کردن گونه‌های اکسیژن فعال، پایداری غشاء و ساختار طبیعی آنزیم‌ها و پروتئین‌ها در برابر تنش خشکی حفظ می‌کنند (Zhu, 2002). تنظیم اسمزی شامل انباشت (تجمع) تعدادی از مولکول‌ها یا یون‌های فعال اسمزی شامل قندهای محلول، الکل‌های قندی، پرولین، گلیسین بتائین، اسیدهای آلی، کلسیم، پتاسیم و یون‌های کلرید هستند. تحت شرایط تنش خشکی و در نتیجه تجمع املاح، پتانسیل اسمزی سلول کاهش می‌یابد، که آب را به داخل سلول جذب کرده و به حفظ آماس (تورگر) کمک می‌کند. به‌وسیله تنظیم اسمزی، اندامک‌ها و فعالیت‌های سیتوپلاسمی در یک حد نرمال اتفاق می‌افتد و به گیاهان در زمینه انجام بهتر رشد، فتوسنتز و تسهیم آسمیلات‌ها به دانه درحال پرشدن کمک می‌کند (Subbarao, Nam, Chauhan, & Johansen, 2000). بنا بر گزارش گونزالز و همکاران (Gonzalez et al., 2009) محتوای قند کل در برگ کینوا با اعمال تنش خشکی از ۴/۶ به ۵/۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر تغییر یافت. در مطالعه دیگر بیان شد که میزان کل قندهای محلول در برگ کینوا در اثر تنش خشکی ۲۲/۰۹ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (Elewa et al., 2017). بنا بر گزارش حسینی و همکاران (Hosseini, Hasanloo, & Mohammadi, 2014)، افزایش قندهای محلول ممکن است به حفظ تورژسانس و تثبیت غشاء سلولی کمک نماید و همچنین قندهای محلول می‌توانند به‌عنوان جذب‌کننده ROS‌ها عمل نموده و منجر به پایداری غشاء گردند.

عملکرد بیولوژیک: براساس نتایج تجزیه مرکب داده‌ها اثرات مکان، تاریخ کاشت، مکان، رقم، سطوح رطوبتی، مکان × سطوح رطوبتی، تاریخ کاشت × رقم، تاریخ کاشت × مکان × رقم، تاریخ کاشت × مکان × رقم (P ≤ ۰/۰۱) و همچنین اثرات رقم × سطوح رطوبتی و تاریخ کاشت × مکان × رقم (P ≤ ۰/۰۵) تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک داشتند (جدول ارائه نشده است).

اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم: براساس نتایج تجزیه واریانس، بیشترین عملکرد بیولوژیک در رقم ردکارینا کشت‌شده در اسفندماه سربیشه به میزان ۱۱۱۶۹ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در رقم تیتیکا کشت‌شده در اسفندماه بیرجند به میزان ۵۶۵۰/۴ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. تغییر تاریخ کاشت تنها در رقم گیزاوان کشت‌شده در منطقه سربیشه، تأثیر معنی‌داری بر عملکرد بیولوژیک نداشت اما در همین منطقه، تغییر تاریخ کاشت از مرداد به اسفند موجب افزایش ۱/۵۵ و ۱/۴۷ برابری عملکرد بیولوژیک به ترتیب در ارقام ردکارینا و تیتیکا گردید. در منطقه بیرجند نیز همین تغییر تاریخ کاشت منجر به کاهش ۱/۶۳، ۱/۲۳ و ۱/۳۰ برابری عملکرد به ترتیب در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکا گردید (جدول ۱۳). تاریخ کاشت مناسب کینوا به شرایط اقلیمی و رقم مورد استفاده

رقم: بیشترین محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ در رقم گیزاوان (۲۹/۴۲ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد که با رقم ردکارینا (۲۷/۲۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳) که این امر نشان‌دهنده، مقاومت بیشتر این دو رقم نسبت به رقم تیتیکا در مواجهه با شرایط نامساعد محیطی می‌باشد. یعقوب و همکاران (Yaqoob et al., 2019) با بررسی دو رقم کینوا بیان نمودند که محتوای کل قندهای محلول برگ کینوا تحت تأثیر رقم قرار گرفت. در مطالعه دیگر با بررسی چهار رقم کینوا بیان شد که رقم ۷۷ دارای بالاترین میزان قند کل در برگ بود (Naz et al., 2020). در بررسی اثر متقابل سه‌گانه می‌توان بیان نمود که در کشت مردادماه، بین دو منطقه مورد بررسی، اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. اما در کشت اسفندماه، صرفاً در سربیشه، اختلاف مابین رقم گیزاوان با سایر ارقام معنی‌دار بود. در بیرجند و سربیشه نیز اختلاف بین تاریخ‌های کاشت در هر سه رقم مورد بررسی، معنی‌دار بود و به‌طور کلی در بیرجند و با تغییر تاریخ کاشت از اسفند به مرداد، محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ در ارقام گیزاوان، ردکارینا و تیتیکا به ترتیب ۲/۵۸، ۲/۵۶ و ۲/۷۳ برابر افزایش و در سربیشه به ترتیب ۲/۳۲، ۲/۰۴ و ۱/۸۴ برابر کاهش یافت. همچنین در تاریخ‌های کاشت مرداد و اسفند نیز با تغییر در مکان کاشت، اختلاف معنی‌دار بین ارقام مشاهده شد. بالاترین محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ متعلق به کشت رقم گیزاوان در مردادماه بیرجند (۱۹/۹۱ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود که اختلاف معنی‌داری با ارقام ردکارینا و تیتیکا در همان تاریخ و مکان کاشت (به ترتیب ۴۷/۰۵ و ۴۵/۴۴ میلی‌گرم بر گرم وزن تر)، نداشت و کمترین آن نیز متعلق به رقم ردکارینا و تیتیکا در کشت اسفندماه سربیشه (به ترتیب ۲۹/۱۲ و ۲۹/۱۹ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) بود (جدول ۱۲).

اثر ساده سطوح رطوبتی و اثر متقابل مکان در سطوح رطوبتی: با افزایش تنش رطوبتی از سطح ۱۲۵ به ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد نیازآبی، محتوای کربوهیدرات برگ در بیرجند به ترتیب ۷/۱۹، ۱۱/۸۷، ۳۰/۶۹ و ۴۸/۴۴ درصد و در سربیشه به ترتیب ۱۱/۸۲، ۱۴/۶۷، ۹/۴۷ و ۲۱/۰۱ درصد افزایش یافت. در سربیشه، تنها بین سطوح ۱۲۵ و ۲۵ درصد نیازآبی، اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و در بیرجند بین سطوح ۱۲۵ تا ۷۵ درصد نیازآبی نیز اختلاف معنی‌دار در صفت مذکور مشاهده نشد (جدول ۱۲). در طی بروز تنش خشکی حفظ و نگهداری پتانسیل اسمزی فشار جهت فعال نگه داشتن فتوسنتز و ادامه رشد، از طریق افزایش غلظت املاح محلول سلول به‌وجود می‌آید که کربوهیدرات‌ها یکی از مهم‌ترین املاح می‌باشند (Amini, Noruzi, Faraji, & Nasiri, 2019). مواد محلول سازگار، مواد با وزن مولکولی پایین می‌باشند و ترکیبات با حلالیت بالا هستند که غالباً حتی در غلظت‌های بالا در سیتوسول، غیر سمی هستند. به‌طور کلی، ترکیبات آلی یادشده گیاهان را از طریق

در کشت مردادماه سربیشه در سطح ۲۵ درصد نیاز آبی به میزان ۳۴۸۳/۱۱ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. به طور کلی در تمام سطوح رطوبتی، در بیرجند کشت مردادماه و در سربیشه کشت اسفندماه بیشترین عملکرد بیولوژیک را به خود اختصاص دادند. بین تاریخ کاشت در تمام سطوح رطوبتی هر دو منطقه (به جز سطح ۲۵ درصد نیاز آبی در بیرجند) اختلاف معنی دار وجود داشت. اعمال تنش شدید (۲۵ درصد نیاز آبی) موجب کاهش ۵۲/۳۶، ۶۶/۳۷، ۳۹/۹۴ و ۶۷/۱۹ درصدی عملکرد بیولوژیک در مردادماه بیرجند و سربیشه و اسفندماه بیرجند و سربیشه نسبت به شاهد بدون تنش (سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی) گردید که درصدها نشان دهنده کاهش بیشتر عملکرد بیولوژیک در هر دو تاریخ کاشت در اثر تنش خشکی در منطقه سربیشه می باشد (جدول ۱۳).

بستگی دارد؛ ارقام زودرس مناسب کاشت در شهریور و یا در کشت بهار در مناطق معتدل خشک کشور می باشند؛ این ارقام در مناطق معتدله در صورتی که در مرحله ۱۲ برگی باشند، در طی زمستان زنده مانده، ولی تولید دانه نمی کنند. کشت در شهریورماه برای فلات مرکزی ایران که بارندگی کمی در طول پاییز دارد مناسب است، زیرا بذور گیاه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک به جوانه زنی روی پانیکول حساس هستند و بارندگی پاییزه موجب وقوع این پدیده می شود. کشت شهریور ماه باید طوری تنظیم شود که در مرحله گرده افشانی میانگین دمای هوا حدود ۲۰ درجه سانتی گراد باشد. دماهای بیشتر و یا کمتر ۲۰ درجه سانتی گراد موجب کاهش شدید عملکرد می شود (Salehi & Dehghani, 2018).

اثر متقابل سه گانه تاریخ کاشت در مکان در سطوح رطوبتی: بیشترین عملکرد بیولوژیک در کشت اسفندماه سربیشه و سطح ۱۲۵ درصد نیاز آبی به میزان ۱۳۶۰۹/۷۵ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن

جدول ۱۲- مقایسه میانگین اثرات متقابل دو و سه گانه بر محتوای کربوهیدرات محلول کل برگ

Table 12- Mean comparison of double and triple interaction effects total leaf soluble carbohydrate content (mg g⁻¹ FW)

تاریخ کاشت × مکان Planting Date × Location				تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting Date × Location × Cultivar				
Location	Planting Date	July/August	March	Location	Cultivar	Planting Date		
		اسفندماه	مردادماه			July/August	March	
مکان × سطوح رطوبتی Moisture levels × Location								
Moisture levels	Location		Birjand	Sarbisheh				
	Birjand	Sarbisheh			July/August	March		
	Birjand		17.52 c	47.47 a	Birjand	Giza1	17.50 d	49.91 a
	Sarbisheh		30.14 b	15.09 c	Birjand	Redcarina	18.41 d	47.05 a
						Titicaca	16.64 d	45.44 a
						Giza1	35.09 b	15.15 d
					Sarbisheh	Redcarina	29.12 c	14.25 d
						Titicaca	29.19 c	15.86 d
	125%		27.16 cd	20.30 f				
	100%		29.11 c	22.70 ef				
Water requirement	75%		30.38 c	23.28 def				
نیاز آبی گیاه	50%		35.50 b	22.22 ef				
	25%		40.31 a	24.56 de				

میانگین های دارای حروف مشابه، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

جدول ۱۳- مقایسه میانگین اثرات متقابل سه گانه بر عملکرد بیولوژیک

Table 13- Mean comparison of triple interaction effects on biological yield (kg ha⁻¹)

تاریخ کاشت × مکان × سطوح رطوبتی Planting date × Location × Moisture levels							تاریخ کاشت × مکان × رقم Planting date × Location × Cultivar				
Location	Planting date	Moisture levels					Location	Planting date	Cultivar		
		125%	100%	75%	50%	25%			Giza1	Redcarina	Titicaca
Birjand	March مردادماه	11403.1 bc	10385.5 d	9785.9de	7229.3gh	5432.9jk	Birjand	March مردادماه	10102.0 b	9125.1cd	7321.1 e
	August اسفندماه	7970.9fg	7047.4gh	6682.0hi	5649.4jk	4787.5kl		August اسفندماه	6216.2 fg	7415.2e	5650.4 g
Sarbisheh	March مردادماه	10356.7d	9290.9e	8296.7f	5834.4ij	3483.1m	Sarbisheh	March مردادماه	8786.4 cd	7184.0e	6387.7 fg
	July اسفندماه	13609.8a	12075.1b	10511.9cd	7914.8fg	4465.1l		July اسفندماه	8591.4 d	11169.0a	9385.2 bc

میانگین های دارای حروف مشابه، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال پنج درصد براساس آزمون FLSD می باشد.

Means followed by the similar letters are not significantly different at the 5% probability level using FLSD.

تنش‌های محیطی، عملکرد گیاه کاهش و محتوای صفات بیوشیمیایی در آن افزایش می‌یابد. طهماسب‌پور و همکاران (Tahmasebpour, Jahanbakhsh, Tarinejad, Mohammadi, & Ebadi, 2023) نیز به همبستگی منفی محتوای کلروفیل و کاروتنوئیدها با عملکرد و اجزای عملکرد گندم اشاره نمودند. ساعدی و همکاران (Saedi, Sirousmehr, & Javadi, 2020) نیز همبستگی منفی غیرمعنی‌دار پرولین، کلروفیل b و کربوهیدرات‌ها با وزن خشک بوته را در نعان فلفلی بیان نمودند.

ضریب همبستگی صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی با عملکرد بیولوژیک در هر چهار آزمایش نشان داد که محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار و نشت الکترولیت‌های برگ، محتوای سدیم، پتاسیم، کلروفیل a، کاروتنوئیدها، پرولین و کربوهیدرات‌های محلول کل برگ در اکثر تاریخ‌ها و مکان‌های کاشت، همبستگی منفی و معنی‌دار با عملکرد بیولوژیک داشتند (جدول ۱۴). نتایج بیانگر این موضوع می‌باشد که قرارگیری گیاه کینوا در شرایط بهینه رشد، منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک و کاهش میزان تولید صفات بیوشیمیایی می‌گردد اما با قرارگیری گیاه در شرایط نامطلوب از قبیل

جدول ۱۴- همبستگی بین عملکرد بیولوژیک و صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی برگ کینوا در دو تاریخ کاشت و منطقه

Table 14- Correlation between quinoa biological yield and quinoa leaf physiological and biochemical traits in two planting dates and location

Location	Planting date	محتوای نسبی آب RWC	نشت الکترولیت‌ها EL	سدیم Na	پتاسیم K	a کلروفیل Chlorophyll a	b کلروفیل Chlorophyll b	کاروتنوئیدها Carotenoids	پروکلین Proline	کربوهیدرات محلول Total carbohydrate
Birjand بیرجند	March اسفند	0.431**	-0.512**	-0.421**	-0.355*	-0.350*	-0.216 ^{ns}	-0.524**	-0.441**	-0.609**
	July/August مرداد	0.582**	-0.507**	-0.458**	-0.475**	-0.464**	0.002 ^{ns}	-0.476**	-0.517**	-0.408**
Sarbisheh سریشیه	March اسفند	0.216 ^{ns}	-0.332*	-0.176 ^{ns}	-0.597**	0.514**	-0.292 ^{ns}	-0.185 ^{ns}	-0.238 ^{ns}	-0.196 ^{ns}
	July/August مرداد	0.717**	-0.452**	-0.311*	-0.344*	-0.552**	-0.514**	-0.602**	-0.574**	-0.383**

*، ** و ^{ns}: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد و عدم معنی‌داری

*, **, and ^{ns} represent significant at of 5% and 1% probability level and not significant, respectively

نتیجه‌گیری

امر منجر به افزایش عملکرد بیولوژیک در رقم مذکور گردید. تنش رطوبتی نیز موجب کاهش معنی‌دار محتوای نسبی آب برگ و افزایش معنی‌دار سایر صفات بیوشیمیایی برگ کینوا گردید. نتایج همبستگی صفات مورد مطالعه با عملکرد بیولوژیک نیز نشان داد که محتوای نسبی آب برگ همبستگی مثبت و سایر صفات همبستگی منفی با عملکرد بیولوژیک داشتند و در شرایط نامساعد محیطی، محتوای صفات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک افزایش می‌یابد ولی این افزایش منجر به افزایش معنی‌دار در عملکرد بیولوژیک نمی‌گردد.

به‌طور کلی با معنی‌دار شدن اثر متقابل سه‌گانه تاریخ کاشت در مکان در رقم، واکنش هر رقم به تاریخ و مکان کاشت آن بستگی دارد. در کشت مردادماه و در منطقه بیرجند به دلیل بالاتر بودن میانگین درجه حرارت و سایر پارامترهای اقلیمی و احتمالاً درک تنش حرارتی، صفاتی از قبیل رنگدانه‌های فتوسنتزی، پرولین و کربوهیدرات، از مقادیر بالاتری برخوردار بودند. رقم گیزاوان نسبت به دو رقم دیگر، دارای مقادیر بالاتری از صفات بیوشیمیایی بود که این

References

1. Abbas, G., Areej, F., Asad, S. A., Saqib, M., Anwar-ul-Haq, M., Afzal, S., Murtaza, B., Amjad, M., Naeem, M. A., Akram, M., & Akhtar, N. (2023). Differential Effect of Heat Stress on Drought and Salt Tolerance Potential of Quinoa Genotypes: A Physiological and Biochemical Investigation. *Plants*, 12(4), 774. <https://doi.org/10.3390/plants12040774>
2. Abrar, M. M., Sohail, M., Saqib, M., Akhtar, J., Abbas, G., Wahab, H. A., Mumtaz, M. Z., Mehmood, K., Memon, M. S., Sun, N., & Xu, M. (2022). Interactive salinity and water stress severely reduced the growth, stress tolerance, and physiological responses of guava (*Psidium guajava* L.). *Scientific Reports*, 12, 18952. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22602-5>
3. Adamczewska-Sowińska, K., Sowiński, J., & Jama-Rodzeńska, A. (2021). The effect of sowing date and harvest

- time on leafy greens of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) yield and selected nutritional parameters. *Agriculture*, 11(5), 405. <https://doi.org/10.3390/agriculture11050405>
4. Al-Naggar, A. M. M., Abd El-Salam, R. M., Badran, A. E. E., & El-Moghazi, M. M. (2017). Drought tolerance of five quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) genotypes and its association with other traits under moderate and severe drought stress. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 3, 1-13. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2017/37216>
 5. Amini, M., Noruzi, H. A., Faraji, A., & Nasiri, B. M. (2019). Evaluation of morphological, physiological, and photosynthetic responses of sunflower cultivars (*Helianthus annuus* L.) under different irrigation regimes. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 14(54), 32-49. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.76712423.1398.14.54.4.4>
 6. Arnon, A. N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. *Agronomy Journal*, 23, 112-121.
 7. AsgarNezhad, M. R., Zareei, G. R., & Zarezadeh, A. (2015). Effects of planting date and plant density on yield and yield components of Brassica nigra under Abarkooh climatic conditions. *Crop production*, 8(3), 183-198. (in Persian with English abstract). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1394.8.3.10.4>
 8. Ashraf, M., & Foolad, M. R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*, 59, 206-216. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2005.12.006>
 9. Asif, A., Khan, S., Asif, B., Ibrar, D., Hasnain, Z., Ismail, M. S., Rizwan, M., Ullah, S., Bashir, S., Rais, A., & Irshad, S. (2022). Preliminary study on growth and yield potential of ten elite lines of quinoa (*Chenopodium quinoa*) cultivated under varying sowing dates. *Plants*, 11(16), 2116. <https://doi.org/10.3390/plants11162116>
 10. Bagheri, M. (2018). *Handbook of quinoa cultivation*. Seed and Plant Improvement Institute Publication. 48 P. (in Persian).
 11. Barandeh, F., & Kavousi, H. R. (2017). Effect of Cadmium on changes of some enzymatic and none-enzymatic antioxidant defense systems in lentil seedlings (*Lens culinaris* Medik.). *Iranian Journal of Pulses Research*, 7(2), 125-137. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v7i2.45542>
 12. Bates, L. S., Waldren, R. P., & Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil*, 39, 205-207.
 13. Bazile, D., & Baudron, F. (2015). The dynamics of the global expansion of quinoa growing in view of its high biodiversity. In FAO & CIRAD. State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013; FAO: Rome, Italy, 2015; Chapter 1.4, pp. 42-55.
 14. Bazile, D., Pulvento, C., Verniau, A., Al-Nusairi, M. S., Ba, D., Breidy, J., Hassan, L., Mohammed, M. I., Mambetov, O., Otambekova, M., Sepahvand, N. A., Shams, A., Souici, D., Miri, K., & Padulosi, S. (2016). Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary results from post international year of quinoa FAO projects in nine countries. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1-18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00850>
 15. Bhargava, A., Shukla, S., & Ohri, D. (2007). Genetic variability and interrelationship among various morphological and quality traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Field Crops Research*, 101(1), 104-116. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.10.001>
 16. da Silva, P. C., Ribeiro Junior, W. Q., Ramos, M. L. G., Celestino, S. M. C., Silva, A. D. N., Casari, R. A. D. C. N., Santana, C. C., de Lima, C. A., Williams, T. C. R., & Vinson, C. C. (2021). Quinoa for the Brazilian Cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. *Plants*, 10(8), 1591. <https://doi.org/10.3390/plants10081591>
 17. Dashti, M., Kafi, M., Tavakoli, H., Mirza, M., & Nezami, A. (2016). Effects of freezing stress on Morpho-physiological indices and chlorophyll fluorescence of *Salvia leriifolia* Benth. Seedlings. *Journal of Plant Researches*, 28(5), 962-973. (in Persian with English abstract).
 18. Dua-e-Zainab, A. H. G., Zafar, A., Sohail, S., Zafar, H., Ijaz, A. B., Farooq, Q., Haider, S., Aslam, M. Z., Rehman, B., Shah, M. S., Yousaf, H., Aslam, M. N., & Husnain, M. M. U. (2021). A brief study of quinoa role and its adaptation towards salinity and drought stress, *Current Research in Agriculture and Farming*, 2(3), 27-40. <https://doi.org/10.18782/2582-7146.143>
 19. Ebrahimiyan, M., Majidi, M. M., Mirlohi, A., & Noroozi, A. (2013). Physiological traits related to drought tolerance in tall fescue. *Euphytica*, 190, 401-414. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0808-8>
 20. Elewa, T. A., Sadak, M. S., & Saad, A. M. (2017). Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research*, 14(1), 21-33.
 21. El-Shamy, M. A., Alshaal, T., Mohamed, H. H., Rady, A. M. S., Hafez, E. M., Alsohim, A. S., & Abd El-oneim, D. (2022). Quinoa response to application of phosphonyls and Plant Growth-Promoting Rhizobacteria under Water Stress Associated with Salt-Affected Soil. *Plants*, 11, 872. <https://doi.org/10.3390/plants11070872>
 22. Esfandiari sabzevar, T., Tatari, M., & Farokhi, H. (2018). Antioxidative properties comparison of *Chenopodium quinoa* leaves and seeds extract: in vitro study. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*, 25(3), 353-361. (in Persian).
 23. FAOSTAT. (2019). Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed on 3 February 2021).

24. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., & Barsa, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Journal of Agronomy and Sustainable Development*, 29, 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
25. Fazeli, F., Akbari, G. A., Akbari, G. A. Naderi Arefi, A., & Benakashani, F. (2021). Response of different quinoa (*Chenopodium quinoa*) genotypes to planting date in terms of morphological traits, yield and yield components in Garmsar region. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 52(2), 41-49. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/IJFCS.2020.303866.654725>
26. Gámez, A. L., Soba, D., Zamarreño, Á. M., García-Mina, J. M., Aranjuelo, I., & Morales, F. (2019). Effect of water stress during grain filling on yield, quality and physiological traits of Ilpa and Rainbow quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Plants*, 8(6), 173, 1-15. <https://doi.org/10.3390/plants8060173>
27. Garcia, M. (2003). Agroclimatic Study and Drought Resistance Analysis of Quinoa for An Irrigation Strategy in the Bolivian Altiplano; Dissertaciones de Agricultura 556; KU Leuven: Leuven, Belgium.
28. Gholami, S., Dehaghi, M. A., Rezazadeh, A., & Naji, A. M. (2022). Seed germination and physiological responses of quinoa to selenium priming under drought stress. *Bragantia*, 81, E0722. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.20210183>
29. Gholamnia, A., Mosleh Arany, A., Sodaeezadeh, H., Tarkesh Esfahani, S., & Ghasemi, S. (2021). The effects of salinity and heat stress on some physiological and vegetative characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.) at different time intervals. *Iranian Journal of Plant Biology*, 13(2), 39-52. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22108/ijpb.2021.127818.1243>
30. Gonzalez, J. A., Gallardo, M., Hilal, M., Rosa, M., & Prado, F. (2009). Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: dry matter partitioning. *Botanical Studies*, 50, 35-42.
31. Granado-Rodríguez, S., Aparicio, N., Matías, J., Pérez-Romero, L. F., Maestro, I., Gracés, I., Pedroche, J. J., Haros, C. M., Fernandez-Garcia, N., Navarro del Hierro, J., & Martin, D. (2021). Studying the impact of different field environmental conditions on seed quality of quinoa: The case of three different years changing seed nutritional traits in Southern Europe. *Frontiers in Plant Science*, 12, 649132. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.649132>
32. Guinchard, M. P., Robin, C., Grieu, P., & Guckert, A. (1997). Cold acclimation in white clover subjected to chilling and frost: changes in water and carbohydrates status. *European Journal of Agronomy*, 6, 225-233. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02046-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02046-1)
33. Hasanfard, A. R., Nezami, A., Kafi, M., & Nabati, J. (2018). Evaluation of freezing tolerance in faba bean (*Vicia faba* L.) using electrolytes leakage index. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 49(1), 77-88. (in Persian with English abstract). <http://doi.org/10.22059/IJFCS.2017.233454.654322>
34. Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K., & Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>
35. Hosseini, S. M., Hasanloo, T., & Mohammadi, S. (2014). Physiological characteristics, antioxidant enzyme activities, and gene expression in 2 spring canola (*Brassica napus* L.) cultivars under drought stress conditions. *Turkish Journal Agricultural Forestry*, 38, 1-8. <https://doi.org/10.3906/tar-1405-102>
36. Heydari SharifAbad, H. (2000). *Plant, drought and drouth*. Research Institute of Forests and Rangelands. First Edition. 171 PP. (in Persian).
37. Iqbal, H., Yanning, C., Waqas, M., Shareef, M., & Raza, S. T. (2018). Differential response of quinoa genotypes to drought and foliage-applied H₂O₂ in relation to oxidative damage, osmotic adjustment and antioxidant capacity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 164, 344-354. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.08.004>
38. Irigoyen, J. J., Einerich, D. W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changes in concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiological Plant*, 84, 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
39. Jabbari Orange, M., & Ebadi, A. (2011). Effect of supplemental irrigation on nutrient uptake, water relations and drought tolerance of safflower cultivars in Ardabil conditions. *Environmental Stresses in Crop Science*, 3(2), 115-127. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2011.88>
40. Jacobsen, S. E. (2003). The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food Reviews International*, 19, 167-177. <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
41. Jacobsen, S. E. (2017). The scope for adaptation of quinoa in Northern Latitudes of Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203, 603-613. <https://doi.org/10.1111/jac.12228>
42. 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, 281-287. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.05.019>
43. Jacobsen, S. E., Quispe, H., & Mujica, A. (2001). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. Scientist and Farmer-Partners in Research for the 21st Century. *CIP Program Report*, 2000, 403-408.

44. Jagesh, K., Tiwari, A. D., Munshi, R. K., Raghu, N., Pandey Ajay, A. J. S., & Bhat, A. K. S. (2010). Effect of salt stress on cucumber: Na⁺/ K⁺ ratio, osmolyte concentration, phenols and chlorophyll content. *Acta Physiologiae Plantarum*, 32(1), 103-114. <https://doi.org/10.1007/s11738-009-0385-1>
45. Jamali, S., Shaifan, H., & Sajadi, F. (2019). The effect of different seawater and deficit irrigation regimes on leaf properties of quinoa. *Water and Irrigation Management*, 8(2), 177-191. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jwim.2018.249473.585>
46. Jensen, C., Jacobsen, S. E., Andersen, M., Nunez, N., Andersen, S., Rasmussen, L., & Mogensen, V. (2000). Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying. *European Journal Agronomy*, 13, 11-25. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00055-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1)
47. Karmollachaab, A., & Gharineh, M. H. (2013). Effect of Zinc Element on Growth, Yield Components and some Physiological Characteristics of Maize under NaCl Salinity Stress. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 11(3), 446-453. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v11i3.29744>
48. Khorshidi Benam, M. B., Rahimzadeh Khoii, F., Mirhadi, M. J., & Nour-Mohamadi, G. (2002). Study of drought stress effects in different growth stages on potato cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 4(1), 48-59. (in Persian with English abstract).
49. Kim, T. E., Kim, S. K., Han, T. J., Lee, J. S. & Chang, S. C. (2002). ABA and polyamines act independently in primary leaves of cold-stressed tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Physiologic Plantarum*, 115, 370-376. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2002.1150306.x>
50. Lin, P. H., & Chao, Y. Y. (2021). Different Drought-Tolerant Mechanisms in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and Djulis (*Chenopodium formosanum* Koidz.) Based on Physiological Analysis. *Plants*, 10(11), 2279. <https://doi.org/10.3390/plants10112279>
51. Lone, M. I., Kueh, J. S. H., Wyn Jones, R. G., & Bright, S. W. J. (1987). Influence of proline and glycine betaine on salt tolerance of cultured barley embryos. *Journal of Experimental Botany*, 38, 479-490. <https://doi.org/10.1093/jxb/38.3.479>
52. Mahmood, R. S., & AL-Taweel, S. K. (2022), July. Physiological Response of Genotypes and Sowing Dates in the Growth and Yield of *Chenopodium Quinoa* Willd. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1060, No. 1, p. 012111). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1060/1/012111>
53. Maleky, A., Saba, J., & Shekary, F. (2009). Inheritance of Leaf Relative Water Content in Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.) under Rainfed Conditions. *Journal of Agricultural Knowledge*, 19(2), 177-183. (in Persian).
54. Manaa, A., Goussi, R., Derbali, W., Cantamessa, S., Essemine, J., & Barbato, R. (2021). Photosynthetic performance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) after exposure to a gradual drought stress followed by a recovery period. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Bioenergetics*, 1862(5), 148383. <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2021.148383>
55. Mirmiran, M., Nezami, A., & Kafi, M. (2017). The effect of freezing stress on electrolyte leakage in *Trigonella foenum-graecum* ecotypes. *Environmental Stresses in Crop Science*, 11(1), 185-198. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2017.76.1019>
56. Modhan, M. M., Narayanan, S. L., & Ibrahim, S. M. (2000). Chlorophyll stability indexes (CSI): its impacts on salt tolerance in rice. *International Rice Research Institute*, 25(2), 38-40.
57. Moradi, L., Rohi, E., Hosseinpanahi, F., & Siosemardeh, A. (2022). Evaluation of some physiological traits and yield of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under different irrigation regimes. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 15(4), 847-863. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2021.4092.1964>
58. Morales, A., Zurita-Silva, A., Maldonado, J., & Silva, H. (2017). Transcriptional responses of Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) under Water Deficit Conditions Uncover ABA-Independent Expression Patterns. *Frontiers in Plant Science*, 8, 216. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00216>
59. Mortazaeinezhad, F., & JaziZadeh, E. (2017). Effects of Water stress on Morphological and Physiological Indices of *Cichorium intybus* L. for introduction in urban landscapes. *Plant Process and Function*, 6(21), 279-290. (in Persian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1396.6.21.27.9>
60. Nadali, F., Asghari, H. R., Abbasdokht, H., Dorostkar, V., & Bagheri, M. (2022). Physiological Responses of Quinoa Varieties (*Chenopodium quinoa* Willd) to Hydropriming and Drought Stress. *Journal of Crop Production and Processing*, 12(2), 49-62. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jcpp.12.2.36912>
61. Naz, H., Akram, N. A., & Kong, H. (2020). Assessment of secondary metabolism involvement in water stress tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to varying water regimes. *Pakistan Journal of Botany*, 52(5), 1553-1559. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-5\(8\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-5(8))
62. Nezami, A., Borzooei, A., Jahani, M., Azizi, M., & Sharif, A. (2007). Electrolyte leakage as an indicator of freezing injury in colza (*Brassica napus* L.). *Iranian Journal of Field Crop Research*, 5(1), 167-175. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/gsc.v5i1.907>
63. Nonami, H., & Boyer, J. S. (1990). Primary events regulating stem growth at low water potentials. *Plant Physiology*, 94, 1601-1609. <https://doi.org/10.1104/pp.93.4.1601>
64. Nourihosseini, S. M., & Zabiha, H. R. (2015). Optimized management of fertilizer recommendation in black cumin

- (*Bunium persicum* L.) cultivated lands. *Land Management Journal*, 3(1), 49-60. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/lmj.2015.103703>
65. Owen, C. P. (1992). Plant analysis reference producers for the southern region of the United States. The University of Georgia, PP: 33-45.
 66. Pathan, S., Eivazi, F., Valliyodan, B., Paul, K., Ndunguru, G., & Clark, K. (2019). Nutritional composition of the green leaves of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Research*, 8(6), 55-65. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n6p55>
 67. Präger, A., Munz, S., Nkebiwe, P. M., Mast, B., & Graeff-Hönninger, S. (2018). Yield and quality characteristics of different quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars grown under field conditions in Southwestern Germany. *Agronomy*, 8(10), 197. <https://doi.org/10.3390/agronomy8100197>
 68. Rashid, N., Khan, S., Wahid, A., Basra, S. M. A., Alwahibi, M. S., & Jacobsen, S. E. (2021). Impact of natural and synthetic growth enhancers on the productivity and yield of quinoa (*chenopodium quinoa* willd.) cultivated under normal and late sown circumstances. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 00: 1-15. <https://doi.org/10.1111/jac.12482>
 69. Sadak, M. S., El-Bassiouny, H. M. S., & Dawood, M. G. (2019). Role of trehalose on antioxidant defense system and some osmolytes of quinoa plants under water deficit. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s42269-018-0039-9>
 70. Saddiq, M. S., Wang, X., Iqbal, S., Hafeez, M. B., Khan, S., Raza, A., Iqbal, J., Maqbool, M. M., Fiaz, S., Qazi, M. A., & Bakhsh, A. (2021). Effect of water stress on grain yield and physiological characters of quinoa genotypes. *Agronomy*, 11(10), 1934(1-16). <https://doi.org/10.3390/agronomy11101934>
 71. Saedi, F., Sirousmehr, A., & Javadi, T. (2020). Effect of nano-potassium fertilizer on some morpho-physiological characters of peppermint (*Mentha piperita* L.) under drought stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33(1), 94-110. (in Prsian). <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23832592.1399.33.1.16.6>
 72. Salehi, M., & Dehghani, F. (2018). Guide to planting, holding and harvesting quinoa in saline conditions. *Agricultural research, education and extension organization*. 96 pp. (in Prsian).
 73. Samadzadeh, A. R., Zamani, G. R., & Fallahi, H. R. (2020). Possibility of quinoa production under South-Khorasan climatic condition as affected by planting densities and sowing dates. *Applied Field Crops Research*, 33(1), 82-104. (in Prsian). <https://doi.org/10.22092/aj.2020.125793.1392>
 74. Saraker, A. M., Rahman, M. S., & Paul, N. K. (1999). Effect of soil moisture on relative leaf water content, chlorophyll, proline and sugar accumulation in wheat. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 183, 225-229. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037x.1999.00339.x>
 75. Schonfeld, M. A., Johnson, R. C., Carver, B., & Morhinweg, D. W. (1988). Water relation in winter wheat as drought resistance indicator. *Crop Science*, 28, 526-531. <https://doi.org/10.2135/cropsci1988.0011183X002800030021x>
 76. Schutz, M., & Fangmeir, E. (2001). Growth and yield responses of spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Minaret) 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)
 77. Shaabani, A., Kamgar Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Emam, Y., & Honar, T. (2009). Effect of water stress on physiological parameters of oil seed rape (*Brassica napus*). *Water and Soil Science (Journal of Science and Technolu of Agriculture and Natural Resours)*, 13(49), 31-42. (in Prsian).
 78. Solimaninya, Z., Mohtadi, A., & Movahhedi Dehnavi, M. (2021). Response of some physiological and morphological properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) by zinc application under drought stress. *Journal of Plant Process and Function*, 10(41), 171-186. (in Persian with English abstract). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23222727.1400.10.41.8.8>
 79. Subbarao, G. V., Nam, N. H., Chauhan, Y. S., & Johansen, C. (2000). Osmotic adjustment, water relations and carbohydrate remobilization in pigeon pea under water deficits. *Journal of Plant Physiology*, 157, 651-659. [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(00\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(00)80008-5)
 80. Sun, Y., Liu, F., Bendevis, M., Shabala, S., & Jacobsen, S. E. (2014). Sensitivity of two quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) varieties to progressive drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200(1), 12-23. <https://doi.org/10.1111/jac.12042>
 81. Taaime, N., El Mejahed, K., Moussafir, M., Bouabid, R., Oukarroum, A., Choukr-Allah, R., & El Gharous, M. (2022). Early sowing of quinoa cultivars, benefits from rainy season and enhances quinoa development, growth, and yield under arid condition in Morocco. *Sustainability*, 14, 1-19. <https://doi.org/10.3390/su14074010>
 82. Tahmasebpour, B., Jahanbakhsh, S., Tarinejad, A. R., Mohammadi, H., & Ebadi, A. (2023). Canonical Correlation Analysis of Physiological and Grain Yield-related Traits in Bread Wheat Genotypes Grown in the Greenhouse under Normal and Flowering Drought Stress Conditions. *Journal of Crop Breeding*, 15(47), 123-133. (in Prsian). <http://dorl.net/dor/20.1001.1.22286128.1402.15.47.12.2>
 83. Taiz, L., Zeiger, E., Moller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. 6th Edition, Sinauer Associates, Sunderland, CT. p: 761.

84. Tarek, A. E., Sadak, M. S., & Dawood, M. G. (2017). Improving drought tolerance of quinoa plant by foliar treatment of trehalose. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal, Special issue*, 245-254.
85. Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovi, L., & Gasparikora, L. (2006). Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relation in two maize. *Plant, Soil and Environmental*, 52(4), 186-191.
86. Van den Besselaar, E. J. M., Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., Klein Tank, A. M. G., & de Laat, A. T. J. (2015). Relationship between sunshine duration and temperature trends across Europe since the second half of the twentieth century. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 120, 10823-10836. <https://doi.org/10.1002/2015JD023640>
87. Vázquez-Luna, A., Veracruzana, U., Cortés, V. P., Carmona, F. F., Díaz-Sobac, R., & De Chile, P. U. C. (2019). Quinoa leaf as a nutritional alternative. *International Journal of Agriculture and Natural Resource*, 46(2), 137-143 <https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2098>
88. Venkateswarlu, B., & Ramesh, K. (1993). Cell membrane stability and biochemical response of cultured cells of groundnut under polyethylene glycol-induced water stress. *Plant Science*, 90, 179-185. [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(93\)90238-U](https://doi.org/10.1016/0168-9452(93)90238-U)
89. Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The Critical Role of Potassium in Plant Stress Response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
90. Wyse, A. T., & Netto, C. A. (2011). Behavioral and neurochemical effects of proline. *Metabolic Brain Disease*, 26(3), 159-172. <https://doi.org/10.1007/s11011-011-9246-x>
91. Yaqoob, H., Akram, N. A., Iftikhar, S., Ashraf, M., Khalid, N., Sadiq, M., Alyemini, M. N., Wijaya, L., & Ahmad, P. (2019). Seed pretreatment and foliar application of proline regulate morphological, physio-biochemical processes and activity of antioxidant enzymes in plants of two cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Plants*, 8(12), 588: 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants8120588>
92. Zaheen, I., Iqbal, S., Naeem, H., Ateeq, M., Afzal, M., Shahzadi, N., & Khalid, B. (2023). Enhancing drought tolerance of quinoa (*Chenopodium quinoa*) through potassium and boron application. *Asian Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 9(1), 21-33. <https://doi.org/10.9734/AJSSPN/2023/v9i1169>
93. Zanganeh, M. M., Ghobadi, M. E., & KhorramiVafa, M. (2022). Effects of drought stress and nitrogen on yield and some physiological characteristics of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Crop Physiology Journal*, 14(53), 49-64. (in Persian).
94. Zhu, J. K. (2002). Salt and drought stress signal transduction in plants, *Annual Review of Plant Biology*, 53, 247-273. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.53.091401.143329>



Effects of Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Nanoparticles on the Dry Matter Transfer Process and Yield Triticale (*Triticosecale Wittmack*) under Irrigation Regimes

F. Aghaei^{1*}, R. Seyed Sharifi², S. Farzaneh³

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

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

3- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

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

Received: 27 November 2023
Revised: 16 January 2024
Accepted: 23 January 2024
Available Online: 15 May 2024

How to cite this article:

Aghaei, F., Seyed Sharifi, R., & Farzaneh, S. (2024). Effects of Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Nanoparticles on the Dry Matter Transfer Process and Yield Triticale (*Triticosecale Wittmack*) under Irrigation Regimes. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 197-210. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85595.1280>

Introduction


Among abiotic stress factors, drought is one of the most detrimental factors in arid and semiarid regions, causing a significant decrease in plant growth and yield in most species, including crops. Under drought conditions, morphological, physiological, and biochemical characteristics are negatively affected. The detrimental impact of water scarcity may be mitigated through the utilization of plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) and nanoparticles (NPs) like nano iron-silicon oxide. PGPR species such as *Azospirillum* and *Pseudomonas* have been found to enhance hormonal balance, maintain nutrient levels, improve plant growth characteristics, and ultimately boost yield. Additionally, the application of NPs aids in enhancing plant growth under stressful conditions by facilitating water retention, fortifying membrane integrity, and enhancing nutrient and water uptake. Consequently, it is plausible that the combined application of PGPR and NPs could enhance triticale yield even in conditions of water limitation.

Materials and Methods

An experiment as factorial split-plot 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 in 2021. Different irrigation regimes in three levels (full irrigation as control, irrigation withholding at 50% of booting and heading stages as severe and moderate water limitation respectively (BBCH 43 and 55 codes respectively) were assigned to the main plots and the combination of bio fertilizers application in four levels (no application 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 (1 g.L⁻¹), nano silicon oxide (50 mg.L⁻¹), both application nano iron-silicon oxide) were assigned to the subplots. *Pseudomonas* and *Azospirillum* were isolated from the rhizospheres of wheat by the Research Institute of Soil and Water, Tehran, Iran. 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 1×10⁸ colony forming units (CFU). In each plot, there



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85595.1280>

were five rows with two m long. In each experimental plot, two beside rows and 0.5 m from the beginning and end of planting lines were removed as margin, and measurements were done on three rows in the middle lines. The used nano silicon-iron oxide had an average particle size of less than 30 nm and the special surface of particles was more than $30 \text{ m}^2.\text{g}^{-1}$. They were product of Nanomaterial US Research which was provided by Pishgaman Nanomaterials Company of Iran. Nano silicon oxide and nano silicon oxide powder added to deionized water and was placed on ultrasonic equipment (100 W and 40 kHz) on a shaker for better solution. Foliar application of nano silicon-iron oxide was done in two stages of period growth BBCH 21 and 30 codes respectively. In this study, dry matter remobilization, volume and root dry weight, leaf area index (LAI), and grain yield of triticale were investigated. Analysis of variance and mean comparisons were performed using SAS ver 9.1. The main effects and interactions were tested using the least significant difference (LSD) test at the 0.05 probability level.

Results and Discussion

The results showed that remobilization from the stem (22.75%) and total dry matter remobilization (21.36%) and contribution of these processes in grain yield (58.29 and 56.24% respectively) decreased in both application of PGPR and nano iron-silicon oxide foliar application under irrigation withholding at booting stage in compared to no application of bio-fertilizers and nanoparticles. Also, the application of PGPR and nanoparticles under irrigation withholding in the booting stage increased the root volume (44.68%), current photosynthesis (48.63), the contribution of photosynthesis contribution in grain yield (15.63%), LAI (32.82%), and grain yield in compared to no application of PGPR and nanoparticles under irrigation withholding at booting stage.

Conclusion

Based on the results of this study, it seems that the application of both PGPR and nanoparticles can be a suitable management factor to increase the grain yield of triticale under water-limited conditions.

Keywords: Dry matter remobilization, Full irrigation, Nano iron oxide, Nano silicon, Root volume

تأثیر تلقیح با باکتری‌های محرک رشد و نانو ذرات بر فرآیند انتقال ماده خشک و عملکرد تریتیکاله تحت رژیم‌های آبیاری

فاطمه آقائی^{۱*}، رئوف سیدشرفی^۲، سلیم فرزانه^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۳

چکیده

به منظور بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد و نانو ذرات بر سهم انتقال ماده خشک و فتوسنتز جاری در عملکرد دانه تریتیکاله در رژیم‌های مختلف آبیاری، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل آبستنی و سنبله‌دهی به ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی معادل کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH) در کرت‌های اصلی قرار داده شدند و ترکیبی از کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح (عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد آزوسپریلوم، سودوموناس و کاربرد توام آزوسپریلوم و سودوموناس) و محلول‌پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول‌پاشی با آب به‌عنوان شاهد، محلول‌پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید آهن، محلول‌پاشی ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانوسیلیکون و محلول‌پاشی توام نانواکسید آهن و نانوسیلیکون) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. نتایج نشان داد که مصرف توام باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، موجب کاهش درصد انتقال ماده خشک از ساقه (۲۲/۷۵٪) و اندام هوایی (۲۱/۳۶٪) و سهم این فرایندها در عملکرد دانه (به ترتیب ۵۸/۲۹ و ۵۶/۲۴٪) نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در همین سطح از سطوح آبیاری شد. همچنین کاربرد توام باکتری‌های محرک رشد در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، حجم ریشه (۴۴/۶۸٪)، فتوسنتز جاری (۴۸/۶۳٪)، سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (۱۵/۶۳٪)، شاخص سطح برگ (۳۲/۸۲٪) و عملکرد دانه (۲۸٪/۵۸) را نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی افزایش داد. براساس نتایج این آزمایش به نظر می‌رسد کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور مدیریتی مناسب برای افزایش عملکرد تریتیکاله در شرایط محدودیت آبی مدنظر باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری کامل، انتقال ماده خشک، حجم ریشه، نانواکسید آهن و نانوسیلیکون

مقدمه

تنش‌های زیستی و غیرزیستی از جمله مهم‌ترین دلایل کاهش عملکرد و کمبود مواد غذایی در سراسر جهان هستند. تقاضای آب آبیاری ممکن است تا سال ۲۰۵۰ به دلیل نوسانات دما، تا ۱۰ درصد افزایش یابد از این رو خشکسالی یکی از مضرترین عوامل در مناطق

خشک و نیمه‌خشک است که موجب کاهش قابل توجه رشد و عملکرد گیاه در اکثر گونه‌ها از جمله محصولات زراعی می‌شود (Ur *et al.*, 2022). خشکی تولید اتیلن را از طریق افزایش سطوح ۱-آمینو سیکلوپروپان-۱-کربوکسیلیک اسید (یا ACC *et al.*, 2022) دامیناز به‌عنوان پیش‌ماده بیوستنز اتیلن) تحریک می‌کند (Yuan, Zu, Sun, & Zuo, 2022). اتیلن موجب فتوسنتز ناکافی، دریافت کمتر مواد مغذی و کاهش ذخیره آب شده و با ایجاد محدودیت در رشد، عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Brunetti *et al.*, 2021). خشکی با مهار فرایندهای مختلف مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی مانند کاهش فعالیت روبیسکو و میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، محدود کردن ورودی CO₂ به برگ یا تغییر در فتوسنتز،

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲ و ۳- به ترتیب استاد و دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
(*) نویسنده مسئول: Email: f.ghaei1994@gmail.com

نمو گیاهان بوده و در بسیاری از فرآیندهای متابولیسم و بیوسنتز کلروفیل، فتوسنتز و تنفس نقش دارد (Rizwan et al., 2019). جذب آهن در گیاهان تحت تنش، به شدت کاهش می‌یابد. از این رو کاربرد آن به‌خصوص به شکل نانو آهن در اشکال مختلف (چون Fe, FeO, Fe₂O₃, Fe₃O₄) در شرایط تنش ممکن است راهی موثر در کاهش علائم کمبود آهن و بهبود عملکرد گیاهان باشد (Nazari et al., 2023). نظری و همکاران (Kreslavskia et al., 2023) در بررسی تاثیر محلول پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون بر عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش، بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه را، از علل اصلی کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی تحت چنین شرایطی عنوان نمودند.

با توجه به اثر محدودیت آبی در مراحل مختلف رشد زایشی در تسریع پیری و کاهش فتوسنتز جاری و از طرفی به دلیل نقش باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانوسیلیکون و نانو اکسید آهن) در کاهش یا تعدیل بخشی از اثرات ناشی از محدودیت آبی و بررسی‌های محدود انجام شده درخصوص برهمکنش این عوامل، موجب شد تا مطالعه حاضر با هدف بررسی تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک و فتوسنتز جاری در عملکرد دانه در رژیم‌های مختلف آبیاری تحت شرایط اقلیمی اردبیل مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا در سال ۱۴۰۰ اجرا شد (Kheirizadeh Arough, 2016). محل اجرای آزمایش دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد است (Narimani, Seyed Sharifi, & Aminzadeh, 2019). نتایج حاصل از تجزیه خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی در جدول ۱ آورده شده است.

عوامل مورد بررسی شامل رژیم‌های مختلف آبیاری در سه سطح (آبیاری کامل در طول دوره رشدی به‌عنوان شاهد، قطع آبیاری در ۵۰ درصد مراحل چکمه‌ای شدن (آبستنی) و سنبله‌دهی به‌ترتیب به‌عنوان محدودیت شدید و ملایم آبی بر اساس کد ۴۳ و ۵۵ مقیاس BBCH) در کرت‌های اصلی، ترکیبی از کاربرد کودهای زیستی در چهار سطح [عدم کاربرد به‌عنوان شاهد، کاربرد آزوسپریلوم لیپوفروم استرین OF (*Azospirillum lipoferum* strain OF)، سودوموناس پوتیدا سویه ۴ (*Pseudomonas putida* strains 4)]، کاربرد توام آزوسپریلوم و

متابولیسم مواد مغذی و جذب یون، سنتز کربوهیدرات و سرعت تثبیت کربن را، کاهش می‌دهد (Kapoor et al., 2020). نریمانی و همکاران (Narimani, Seyed Sharifi, & Sedghi, 2022) گزارش کردند که محدودیت آبی با تسریع پیری گیاه تریتیکاله (*Triticosecale Wittmack*)، سهم فرآیند انتقال مجدد از اندام‌های هوایی به دانه را افزایش داد.

یکی از راه‌کارهای مناسب برای مقابله با اثرات نامطلوب خشکی، استفاده از میکروارگانسم‌های مفید مانند ریزوباکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR¹) است که یک روش سازگار با محیط‌زیست برای بهبود رشد و بهره‌وری گیاهان بوده (Chieb & Gachomo, 2023) و ضمن تاثیر بر فرآیندهای فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی، مولکولی در بهبود خصوصیات رشدی گیاه و افزایش عملکرد موثر است (Abdelaal et al., 2021). کاربرد این باکتری‌ها با کاهش pH و افزایش فسفر قابل دسترس، فسفات‌های اسیدی و قلیایی، در افزایش کارایی کودهای نیتروژن و فسفر و بهبود رشد گیاهان زراعی موثر است (Saleemi, Kiani, Sultan, Khalid, & Mahmood, 2017). محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou, Seyed Sharifi, Narimani, & Nazari, 2023) اظهار داشتند که کودهای زیستی با بهبود شاخص سطح برگ و وزن و حجم ریشه، موجب افزایش فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تریتیکاله در شرایط تنش شد.

یکی دیگر از راهکارهای موثر در افزایش مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی استفاده از نانوذرات است. کاربرد نانوذرات با محافظت از غشاها و دستگاه فتوسنتزی، حفظ روابط آبی و تجمع اسمولیت‌ها، افزایش جذب مواد مغذی و آب، ضمن افزایش قابل‌ملاحظه رشد گیاه در شرایط تنش، موجب مقاومت بهتر در برابر تنش می‌شود (Rasheed et al., 2022). کاربرد سیلیکون (Si) یک رویکرد جدید و موثر در تعدیل اثرات ناشی از تنش خشکی است که ضمن افزایش قابل توجه استحکام مکانیکی و پایداری غشاء سلولی، کمک به پایداری و محافظت گیاه (Rajput et al., 2021)، به بهبود تغذیه معدنی، کارایی فتوسنتزی و سیستم دفاعی گیاه کمک کرده (Desoky, Mansour, Yasin, El Sobky, & Rady, 2020) و در کاهش اثرات منفی ناشی از کمبود آب و بهبود رشد و عملکرد گیاه مفید است (Rady, Elrys, El-Maati, & Desoky, 2019). نظری و همکاران (Nazari, Sedgi, & Narimani, 2022) گزارش کردند که محلول پاشی نانوسیلیکون در شرایط خشکی، از طریق بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری، موجب افزایش عملکرد دانه تریتیکاله شد.

آهن نیز یک از عناصر ریزمغذی ضروری و موثر در تنظیم رشد و

1- Plant growth-promoting rhizobacteria

آب تهران تهیه شد. نانو اکسید آهن از موسسه تجهیزات آزمایشگاهی و شیمیایی جهان کیمیای ارومیه و نانو سیلیکون (SiO₂-Nano) محصول شرکت Nanomaterial US Research بود که از شرکت پیشگامان نانو مواد ایرانیان تهیه و مشخصات آن‌ها در جدول ۲ آورده شده است.

سودوموناس] و محلول پاشی نانوذرات در چهار سطح (محلول پاشی با آب به عنوان شاهد، محلول پاشی یک گرم در لیتر نانو اکسید آهن، محلول پاشی ۵۰ میلی گرم در لیتر نانو سیلیکون، محلول پاشی توام نانو اکسید آهن و سیلیکون) به صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار داده شدند. سویه خالص باکتری‌های محرک رشد از موسسه خاک و

جدول ۱- مشخصات فیزیکی شیمیایی خاک
Table 1- Soil physico-chemical characteristics

ویژگی Characteristic	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	نیترژن کل N	کربن الی O. C	شن Sand	سیلت Silt	رس Clay	آهک CaCO ₃	درصد عصاره اشباع Saturated extract	بافت Texture	pH
مقادیر Amount	mg kg ⁻¹					%				49	Loamy	7.8
	1.8	212	8.29	0.06	0.62	35	42	23	14.4			

جدول ۲- مشخصات نانو اکسید آهن و نانو سیلیکون
Table 2- Nano iron-silicon oxide properties

رنگ Color	سطح ویژه ذرات Specific surface area of particles	میانگین اندازه ذرات Average particle size (nm)	خلوص Purity (%)	وزن Weight (g)	نوع نانوذرات Type of nanoparticles
پودری قرمز Red powder	>30 m ² .g ⁻¹	<30	99	25	نانو اکسید آهن Nano iron oxide
پودری سفید White powder	>30 m ² .g ⁻¹	20-30	99	50	نانو سیلیکون Nano silicon

جدول ۳- مشخصات جوی در طول دوره رشدی تریتیکاله
Table 3- Atmospheric characteristics during triticales growth

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

و آبیاری‌های 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 سانتی‌متر و تراکم ۳۸۰ بذر در مترمربع (که تراکم مطلوب و توصیه شده رقم سناباد است، این رقم متوسطرس، با ارتفاع بوته ۱۱۰-۱۲۰ سانتی‌وزن و وزن هزار دانه آن به‌طور متوسط ۴۵/۴۷ گرم می‌باشد که نسبت به خوابیدگی مقاوم است) بود. مشخصات جوی در طول دوره رشدی در جدول ۳ آورده شده است.

بررسی شاخص سطح برگ (LAI) از رابطه (۱) برآورد شد (Seyed Sharifi & Gholinejad, 2021).

برای تلقیح بذر با باکتری‌های *آزوسپریلوم* و *سودوموناس*، از مایه تلقیحی که هر گرم آن دارای ۱۰^۸ عدد باکتری زنده و فعال بود به‌همراه محلول صمغ عربی 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 پنجاه‌دهی و ساقه‌دهی به‌ترتیب معادل با کد ۲۱ و ۳۰ از مقیاس BBCH) انجام شد. تاریخ کاشت در ۱۵ اردیبهشت و برداشت ۳۱ مرداد ۱۴۰۰ بود. اولین آبیاری بعد از کاشت

می‌باشد.

$$CP = GY - DMT \quad (۶)$$

در این رابطه CP^{10} میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در مترمربع، GY عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع و DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در مترمربع می‌باشد.

$$SSPG = \left(\frac{CP}{GY}\right) \times 100 \quad (۷)$$

در این $CCPG^{11}$ سهم نسبی فتوسنتز جاری در دانه بر حسب درصد، CP میزان فتوسنتز جاری بر حسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع می‌باشد.

به‌منظور اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، قبل از کاشت در ردیف‌های اصلی هر واحد آزمایشی، تعدادی کیسه‌های پلاستیکی به قطر ۴۰ سانتی‌متر در عمق ۴۰ سانتی‌متری خاک و هم سطح با دیگر خطوط کاشت قرار داده شد. تراکم کاشت در این کیسه‌ها مشابه تراکم دیگر قسمت‌های کاشته‌شده در نظر گرفته شد. بعد از برداشت بوته‌ها، برای اندازه‌گیری وزن و حجم ریشه، نسبت به خارج‌سازی ریشه‌ها از این کیسه‌ها اقدام شد. ریشه‌ها برای خشک شدن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت یا بیشتر (تا زمان تثبیت وزن خشک نهایی) قرار داده شد و سپس وزن خشک ریشه با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شد. حجم ریشه با استفاده از حجم مشخصی از آب در استوانه مدرج اندازه‌گیری شد طوری که اختلاف حجم ایجادشده پس از ورود ریشه‌ها در آب استوانه مدرج به‌عنوان حجم ریشه منظور شد. عملکرد دانه از سطحی معادل ۰/۲ مترمربع از خطوط اصلی هر کرت بعد از حذف اثر حاشیه‌ای برآورد شد. تجزیه داده‌ها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای SAS^{9.1} و Excel و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شدند.

نتایج و بحث

میزان انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانواکسید آهن و سیلیکون) بر میزان انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). نتایج نشان داد که کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط آبیاری کامل از کم‌ترین میزان انتقال ماده از اندام هوایی و ساقه (۹۴/۶۴ و ۷۶/۳۴ گرم در مترمربع) برخوردار بوده و از کاهش ۳۴/۹۳ و ۳۶/۹ درصدی سهم این فرآیندها در عملکرد دانه نسبت به

$$LAI = e^{(a+bt+ct^2)} \quad (۱)$$

در این رابطه، t زمان بین مراحل نمونه‌برداری و a ، b و c ضرایب معادله هستند.

به‌منظور برآورد میزان انتقال مجدد مواد از اندام‌های رویشی به دانه، نمونه‌برداری از زمان پرشدن دانه تا مرحله رسیدگی فیزیولوژیک انجام شد (Seyed Sharifi & Gholinejad, 2021). بدین ترتیب که در این مرحله هر چهار روز یک‌بار، ده سانتی‌متر از خطوط اصلی هر کرت بارعایت اثر حاشیه‌ای انتخاب شد. بوته‌های برداشت‌شده به ساقه، برگ و سنبله تفکیک شدند. پس از خشک کردن (قرار دادن در آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت) به اندام‌های مختلف توزین و میزان انتقال ماده خشک، سهم فرآیند انتقال مجدد از بخش رویشی به دانه و میزان مشارکت ذخایر ساقه در عملکرد دانه با استفاده از روابط (۲) تا (۷) محاسبه شدند (Barnett & Pearce, 1983).

$$DMT = DMA - DMM \quad (۲)$$

که در آن DMT^1 میزان انتقال ماده خشک کل بر حسب گرم در مترمربع، DMA^2 حداکثر میزان ماده خشک اندام هوایی در برداشت اول و DMM^3 میزان ماده خشک اندام هوایی (به‌جز دانه) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک است.

$$CDMAG = \left(\frac{DMT}{GY}\right) \times 100 \quad (۳)$$

در این رابطه $CDMAG^4$ سهم فرآیند انتقال مجدد ماده خشک کل در تشکیل دانه بر حسب درصد، DMT میزان انتقال ماده خشک بر حسب گرم در مترمربع و GY^5 عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع می‌باشد.

$$SDMT = SDMM - SDMA \quad (۴)$$

در این رابطه $SDMT^6$ میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در مترمربع، $SDMA^7$ حداکثر وزن خشک ساقه در برداشت اول، $SDMM^8$ وزن خشک ساقه در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک می‌باشد.

$$CSAG = \left(\frac{SDMT}{GY}\right) \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه $CSAG^9$ سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه بر حسب درصد، $SDMT$ میزان انتقال ماده خشک از ساقه بر حسب گرم در مترمربع و GY عملکرد دانه بر حسب گرم در مترمربع

- 1- Dry Matter Translocation
- 2- Dry Matter at Anthesis
- 3- Dry Matter at Maturity
- 4- Contribution of Dry Matter Assimilates to Grain
- 5- Grain Yield
- 6- Stem Dry Matter Translocation
- 7- Stem Dry Matter at Anthesis
- 8- Stem Dry Matter at Maturity
- 9- Contribution of Stem Assimilates to Grain

10- Current photosynthesis

11- Contribution Current photosynthesis in grain

باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات با افزایش حجم و وزن خشک ریشه (جدول ۷ و جدول ۸)، شاخص سطح برگ (جدول ۷) و تعدیل اثر ناشی از محدودیت آبی و بهبود سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه (جدول ۵)، موجب شده است بخش عمده‌ای از عملکرد دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و بخش کمتری به انتقال ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه تخصیص داده شود (جدول ۵).

میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانواکسید آهن و نانوسیلیکون) و همچنین برهمکنش این عوامل بر میزان فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه در سطح احتمال پنج و یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی از بیشترین فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه (به ترتیب ۴۳۷/۴۹ گرم در مترمربع و ۸۰/۶۱ درصد) و از افزایش ۴۸/۶۳ و ۱۵/۶۳ درصدی این صفات نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط همین سطح از سطوح آبیاری برخوردار بود (جدول ۵). عبادی و همکاران (Ebadi, Seyed Sharifi, & Narimani, 2020) بیان داشتند در شرایط پهنه، فتوسنتز جاری بیش‌ترین سهم را در وزن دانه‌ی جو دارد، ولی در شرایط محدودیت آبی، سهم فرآیند انتقال مجدد به دانه‌ها افزایش می‌یابد تا ضمن تعدیل اثر منفی ناشی از تنش خشکی بر میزان فتوسنتز جاری، بخشی از کاهش عملکرد دانه از طریق افزایش سهم انتقال مجدد جبران شود. در مطالعه حاضر، کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات و آبیاری کامل از بیشترین میزان فتوسنتز جاری و از حداقل میزان انتقال مجدد ماده خشک برخوردار بود. بخشی از بالا بودن فتوسنتز جاری را می‌توان به تأثیر مثبت باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۷) و افزایش سهم فتوسنتز جاری نسبت داد. در این راستا محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou et al., 2023) نیز گزارش کردند که کاربرد باکتری‌های محرک رشد با افزایش شاخص سطح برگ، به دلیل افزایش سهم فتوسنتز جاری موجب شد تا سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه گندم کاهش یابد. نظری و همکاران (Nazari et al., 2022) اظهار داشتند که محلول‌پاشی نانوسیلیکون و نانواکسید آهن با بهبود وزن و حجم ریشه و شاخص سطح برگ، موجب افزایش فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه شد. احتمالاً کاربرد نانوذرات موجب افزایش مواد مغذی در گیاهان می‌شود و در نتیجه فتوسنتز را بهبود می‌بخشد. علاوه بر این، نانوسیلیکون ضخامت دیواره سلولی را افزایش داده و انتقال مواد مغذی را که یکی از دلایل

شرایط عدم مصرف باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی برخوردار بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد افزایش انتقال ماده خشک در شرایط محدودیت شدید آبی، به دلیل افزایش تقاضای دانه‌های تشکیل‌شده به مواد فتوسنتزی و کاهش سهم فتوسنتز جاری در برآورد این نیاز مخازن (دانه‌ها) باشد. دیگر محققان نیز اظهار داشتند که در شرایط محدودیت آبی، میزان انتقال ماده خشک گندم نسبت به آبیاری کامل افزایش یافت و گزارش کردند که به هنگام وقوع خشکی در مرحله ساقه‌روی تا گلدهی، بخش بیشتری از مواد فتوسنتزی به دانه‌ها انتقال یافته و موجب افزایش انتقال ماده خشک در این مرحله می‌شود (Liu et al., 2020). به نظر می‌رسد بخشی از افزایش انتقال ماده خشک در شرایط محدودیت آبی می‌تواند ناشی از اثر شرایط تنش در کاهش شاخص سطح برگ (جدول ۷) و به تبع از آن کاهش فتوسنتز جاری (جدول ۵) باشد. در چنین شرایطی به دلیل عدم توانایی منبع در تأمین نیاز مخزن موجب می‌شود که میزان انتقال ماده خشک افزایش یابد تا لااقل بتواند بخشی از نیاز مخازن را برآورده نماید. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان مبنی بر این که در شرایط بروز تنش شوری و محدودیت آبی کاهش شاخص سطح برگ و در نتیجه کاهش فتوسنتز جاری در گیاه، موجب افزایش انتقال مجدد ماده خشک و سهم این فرآیند در عملکرد دانه می‌شود توسط دیگر محققان گزارش شده است (Nazari et al., 2022; Narimani et al., 2022).

در شرایط تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد با افزایش شاخص سطح برگ و متعاقب آن افزایش فتوسنتز و مواد ذخیره‌ای در گیاه بالا می‌رود. در چنین شرایطی منبع قادر به تأمین ظرفیت مخزن بوده و موجب می‌شود بخش عمده‌ای از ذخایر دانه توسط فتوسنتز جاری تأمین شده و در نتیجه سهم فرآیند انتقال ماده خشک در عملکرد دانه کاهش یابد (Abbasi, Mehri, Solimanzadeha, & Alipourb, 2021)، که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

بخش دیگری از کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه به واسطه محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون را می‌توان به اثر این نانوذرات بر بهبود فتوسنتز جاری نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (Nazari et al., 2022) بیان کردند که محلول‌پاشی نانواکسید آهن و نانوسیلیکون با بهبود فتوسنتز جاری و سهم این فرآیند در عملکرد دانه، موجب کاهش انتقال ماده خشک از ساقه و اندام هوایی و سهم این فرآیندها در عملکرد دانه گندم شد. رضاییگی و همکاران (Rezabeighi, Bijanzadeh, & Behpouri, 2020) ضمن گزارش افزایش میزان انتقال ماده خشک تحت شرایط تنش خشکی، اظهار داشتند کاربرد سیلیکون تحت شرایط آبیاری مطلوب با بهبود مکانیسم جذب، تجمع و انتقال بهتر مواد کربوهیدراتی به دانه، موجب کاهش انتقال ماده خشک در گندم شد. در این پژوهش نیز احتمالاً کاربرد توأم

اصلی افزایش سرعت فتوسنتز است افزایش می‌دهد (Khan *et al.*, 2020).

شاخص سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانواکسید آهن و نانوسیلیکون) بر شاخص سطح برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که حداقل شاخص سطح برگ در حالت عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی و بیشترین آن در کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط آبیاری کامل به دست آمد (جدول ۸). به عبارتی کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی منجر به افزایش ۳۲/۸۲ درصدی سطح برگ نسبت به عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در این سطح از آبیاری شد (جدول ۸). محدودیت آبی به

دلیل کاهش جذب آب توسط گیاه، منجر به کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلول‌ها شده (Safi, Moshatati, Gharineh, & Khodaei, 2022) و به تبع از آن سطح برگ و فتوسنتز را کاهش می‌دهد. ولی کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط آبیاری کامل به دلیل افزایش شاخص سطح برگ موجب افزایش فتوسنتز و سهم این فرآیند در عملکرد دانه می‌شود. بخشی دیگری از افزایش شاخص سطح برگ به واسطه محلول‌پاشی نانوذرات را می‌توان به افزایش وزن (جدول ۸) و حجم ریشه (جدول ۷) و بهبود فتوسنتز جاری نسبت داد (جدول ۵). نظری و همکاران (Nazari *et al.*, 2022) اظهار داشتند کاربرد نانوذرات (نانواکسید آهن و سیلیکون) تحت شرایط تنش از طریق بهبود میزان فتوسنتز و افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۶)، موجب افزایش سهم فرآیند فتوسنتزی در عملکرد دانه شد که با یافته‌های محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou *et al.*, 2023) مطابقت دارد.

جدول ۴- تجزیه واریانس تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر انتقال ماده خشک تریبتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 4- Analysis of variance of the effects of PGPR and nanoparticles on dry matter remobilization of triticale under different levels of irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Square)					
		انتقال ماده خشک کل DMT	سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه CDMAG	میزان انتقال مجدد از ساقه SDMT	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه CSAG	میزان فتوسنتز جاری CP	سهم فتوسنتز جاری در عملکرد دانه SSPG
تکرار (R) Replication	2	3856.57**	113.44**	445.96**	34.99**	12725.12**	170.69**
آبیاری Irrigation (I)	2	2462.12**	511**	1508.82**	356.79**	144292**	154.84**
Error a خطای اصلی	4	127.55	6.55	37.91	4.15	1909.15	45.17
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	542.02**	104.31**	273.39**	61.28**	24136.41**	70.28**
نانوذرات nanoparticles (N)	3	511.21**	75.63**	424.88**	64.1**	18896.53**	57.16**
I×B	6	68.23*	4.77*	46.46*	3.89**	485.87 ^{ns}	21.87*
I×N	6	45.78 ^{ns}	3.14 ^{ns}	36.02 ^{ns}	2.09 ^{ns}	392.41 ^{ns}	24.85*
B×N	9	122.9**	6**	105.19**	4.67**	602.76*	16.1 ^{ns}
I×B×N	18	64.87**	4.13**	53.38**	2.71**	538.89*	28.77**
خطای فرعی Error b	90	30.67	1.95	18.92	1.09	304.88	10.28
ضریب تغییرات (CV %)		5.0	6.5	4.8	5.9	4.2	4.1

^{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- مقایسه میانگین تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر انتقال ماده خشک تربیتیکاله در سطوح مختلف آبیاری
Table 5- Means comparison of the effects of PGPR and nanoparticles on dry matter remobilization of triticale under different levels of irrigation

ترکیب تیماری Treatments	میزان انتقال ماده خشک کل (g.m ⁻²) DMT	سهم فرآیند انتقال مجدد در عملکرد دانه (%) CDMAG	میزان انتقال ماده خشک از ساقه (g.m ⁻²) SDMT	سهم ذخایر ساقه در عملکرد دانه (%) CSAG	فتوستنتز جاری CP (g.m ⁻²)	سهم نسبی فتوستنتز جاری در عملکرد دانه (%) SSPG
I0×B0×N0	114.64 ^{d-m}	21.67 ^{h-n}	93.07 ^{d-j}	17.61 ^{i-l}	414.16 ^{k-o}	78.32 ^{l-r}
I0×B1×N0	108.6 ^q	19.23 ^{o-v}	86.95 ⁱ⁻ⁿ	15.39 ^{o-r}	455.98 ^{d-i}	80.76 ^{d-k}
I0×B2×N0	101.71 ^{p-t}	18.85 ^{q-w}	83.37 ^{l-q}	15.46 ^{o-r}	437.64 ^{h-k}	81.14 ^{c-i}
I0×B3×N0	116.1 ^{c-k}	20.38 ^{k-s}	95.64 ^{c-g}	16.79 ^{jo}	454 ^{e-i}	79.61 ^{g-o}
I0×B0×N1	110.83 ^{g-p}	20.13 ^{l-s}	90.2 ^{f-l}	16.39 ^{k-o}	439.42 ^{g-k}	79.86 ^{g-n}
I0×B1×N1	99.89 ^{q-t}	17.03 ^{v-y}	82.25 ^{m-q}	14.03 ^{r-t}	486.1 ^{a-c}	82.96 ^{a-d}
I0×B2×N1	99.6 ^{q-t}	17.21 ^{u-y}	81 ^{n-q}	13.99 ^{r-t}	478.95 ^{a-f}	82.79 ^{a-e}
I0×B3×N1	97.58 ^{r-t}	16.56 ^{w-y}	78.88 ^{pq}	13.39 st	491.23 ^{a-c}	83.43 ^{a-c}
I0×B0×N2	104.89 ^{n-s}	20.41 ^{k-r}	84.88 ^{k-p}	16.53 ^{k-o}	414.15 ^{k-o}	79.58 ^{a-c}
I0×B1×N2	96.7 st	17.05 ^{v-y}	79.07 ^{pq}	13.95 ^{r-t}	470.07 ^{b-g}	82.94 ^{a-d}
I0×B2×N2	115.43 ^{c-l}	19.81 ^{m-s}	96.27 ^{b-g}	16.52 ^{k-o}	467.72 ^{c-h}	80.19 ^{g-m}
I0×B3×N2	96.14 st	16.18 ^{xy}	78.09 ^{pq}	13.14 st	497.62 ^{a-c}	83.81 ^{ab}
I0×B0×N3	103.5 ^{o-t}	18.04 ^{r-x}	83.27 ^{l-q}	14.52 ^{p-s}	469.79 ^{c-g}	81.95 ^{b-h}
I0×B1×N3	95.78 st	16.03 ^{xy}	77.6 ^q	12.99 st	501.18 ^{ab}	83.96 ^{ab}
I0×B2×N3	97.49 ^{r-t}	18.03 ^{s-x}	79.51 ^{o-q}	13.46 st	484.02 ^{a-e}	81.96 ^{ab}
I0×B3×N3	94.64 ^t	16.64 ^y	76.34 ^q	12.62 ^t	510.09 ^a	84.35 ^a
I1×B0×N0	123.23 ^{a-d}	26.23 ^b	99.65 ^{a-d}	21.24 ^{c-e}	347.5 ^{s-v}	73.76 ^x
I1×B1×N0	118.21 ^{a-i}	24.08 ^{b-g}	95.44 ^{c-g}	19.47 ^{e-h}	373.19 ^{p-t}	75.91 ^{s-x}
I1×B2×N0	115.71 ^{c-l}	23.09 ^{d-j}	94.07 ^{c-i}	18.8 ^{f-h}	385.59 ^{o-r}	76.9 ^{q-v}
I1×B3×N0	106.91 ^{k-q}	21.06 ^{l-q}	86.69 ^{jo}	17.08 ^{io}	400.89 ^{m-p}	78.93 ^{i-q}
I1×B0×N1	120.78 ^{a-f}	24.77 ^{b-e}	97.52 ^{a-e}	20.02 ^{d-f}	367.52 ^{q-u}	75.22 ^{u-x}
I1×B1×N1	113.61 ^{e-n}	21.56 ^{h-o}	93.02 ^{d-j}	17.67 ^{i-m}	413.07 ^{k-o}	78.43 ^{r-t}
I1×B2×N1	116.19 ^{c-k}	22.35 ^{f-l}	95.88 ^{c-g}	18.47 ^{f-j}	403.83 ^{l-p}	77.64 ^{n-t}
I1×B3×N1	106.38 ^{l-r}	19.17 ^{p-v}	89.65 ^{g-l}	16.16 ^{f-q}	448.47 ^{f-j}	80.83 ^{d-i}
I1×B0×N2	116.89 ^{c-j}	23.62 ^{c-h}	91.09 ^{e-k}	18.36 ^{f-j}	379.27 ^{p-r}	76.38 ^{t-w}
I1×B1×N2	113.61 ^{e-n}	22.55 ^{e-k}	94.55 ^{c-h}	18.47 ^{f-j}	398.18 ^{n-q}	77.44 ^{o-u}
I1×B2×N2	111.86 ^{f-o}	20.99 ^{i-q}	89.88 ^{f-l}	16.86 ^{j-o}	421.11 ^{j-n}	79 ^{i-q}
I1×B3×N2	113.31 ^{e-n}	20.75 ^{j-q}	91.36 ^{e-k}	16.73 ^{j-q}	432.99 ^{i-l}	79.24 ^{i-p}
I1×B0×N3	116.77 ^{c-j}	22.69 ^{e-k}	92.6 ^{d-j}	17.98 ^{g-k}	398.31 ^{n-q}	77.3 ^{o-u}
I1×B1×N3	111.14 ^{g-p}	19.73 ^{m-t}	89.24 ^{g-m}	15.84 ^{n-q}	451.98 ^{f-j}	80.26 ^{f-m}
I1×B2×N3	104.9 ^{m-s}	19.57 ^{m-u}	85.27 ^{k-p}	15.92 ^{m-q}	430.87 ^{i-m}	80.42 ^{e-m}
I1×B3×N3	100.28 ^{q-t}	17.4 ^{t-y}	81.6 ^{n-q}	14.16 ^{q-t}	475.7 ^{b-f}	82.59 ^{a-e}
I2×B0×N0	127.7 ^a	30.28 ^a	104.51 ^a	24.82 ^a	294.34 ^x	69.71 ^y
I2×B1×N0	124.79 ^{a-c}	25.59 ^{bc}	101.23 ^{a-c}	22.54 ^{bc}	334.85 ^{vw}	74.41 ^{wx}
I2×B2×N0	110.93 ^{g-p}	23.62 ^{c-h}	87.94 ^{h-n}	18.71 ^{f-i}	368.45 ^{qu}	76.37 ^{r-w}
I2×B3×N0	118.69 ^{a-h}	26.15 ^b	95.47 ^{c-g}	21.06 ^{c-e}	336.09 ^{vw}	73.84 ^x
I2×B0×N1	126.55 ^{ab}	28.82 ^a	103.29 ^{ab}	23.58 ^{ab}	312.86 ^{wx}	71.17 ^y
I2×B1×N1	118.07 ^{b-i}	24.52 ^{b-f}	100.36 ^{a-c}	20.95 ^{c-e}	362.02 ^{r-v}	75.47 ^{t-x}
I2×B2×N1	121.01 ^{a-f}	26.19 ^b	97.07 ^{b-f}	21.03 ^{c-e}	342.06 ^{t-w}	73.8 ^x
I2×B3×N1	114.17 ^{d-n}	23.18 ^{d-i}	91.92 ^{e-k}	18.67 ^{f-i}	379.16 ^{p-r}	76.81 ^{q-u}
I2×B0×N2	108.84 ^{i-q}	24.37 ^{b-f}	87.23 ⁱ⁻ⁿ	19.56 ^{e-g}	335.84 ^{vw}	75.62 ^{t-x}
I2×B1×N2	122.65 ^{a-e}	26.35 ^b	99.74 ^{a-d}	21.46 ^{cd}	343.63 ^{s-w}	73.64 ^x
I2×B2×N2	120.23 ^{a-g}	25.32 ^{b-d}	99.26 ^{a-d}	20.97 ^{c-e}	355.15 ^{r-v}	74.67 ^{w-x}
I2×B3×N2	110.11 ^{h-p}	21.52 ^{h-p}	91.6 ^{e-k}	17.93 ^{g-l}	401.27 ^{m-p}	78.47 ^{j-r}
I2×B0×N3	118.52 ^{a-h}	25.83 ^{bc}	95.41 ^{c-g}	20.8 ^{c-e}	339.74 ^{u-w}	74.16 ^{wx}
I2×B1×N3	115.29 ^{c-l}	23.61 ^{c-h}	90.46 ^{e-l}	18.5 ^{f-j}	374.26 ^{p-s}	76.38 ^{r-w}
I2×B2×N3	114.06 ^{d-n}	21.77 ^{g-m}	90.94 ^{e-k}	17.67 ^{h-l}	402.15 ^{l-p}	78.22 ^{m-s}
I2×B3×N3	105.22 ^{m-s}	19.38 ^{n-v}	85.14 ^{k-n}	15.68 ^{o-r}	437.49 ^{h-k}	80.61 ^{d-l}
LSD 0.05	9.56	2.38	7.2	1.79	31.31	2.38

I0, I1, and I2 به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی، B0, B1, B2, B3 به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلیوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلیوم. N0, N1, N2, N3 و N3 به ترتیب عدم محلول‌یابی، محلول‌یابی نانواکسید آهن و محلول‌یابی نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

I0, I1, and I2: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages respectively. B0, B1, B2, and B3 are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azospirillum, application azospirillum + pseudomonas. N0, N1, and N2 are no foliar application, nano iron oxide foliar application, nano silicon, nano iron-silicon foliar application.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 0.05 probability level.

حجم و وزن ریشه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر حجم ریشه در سطح احتمال یک درصد و اثر ترکیب تیماری باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر وزن ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط آبیاری کامل موجب افزایش ۶۳/۹۶ درصدی حجم ریشه نسبت به شرایط عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات تحت شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی شد (جدول ۷). مقایسه میانگین اثرات ترکیب تیماری نشان داد که کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بیشترین وزن خشک ریشه (۴۵۱/۶۴ گرم در مترمربع) را به خود اختصاص داده و از افزایش ۴۱/۴۹ درصدی وزن ریشه نسبت به عدم کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات برخوردار بود (جدول ۸). به نظر می‌رسد افزایش محدودیت آبی موجب محدود شدن ترکیباتی مانند سیتوکینین‌ها و افزایش تولید ترکیباتی مانند آسبیزیک اسید می‌شود که منجر به توقف تقسیم سلولی و رشد ریشه می‌شود. همچنین گزارش شده است که محدودیت آبی با کاهش فتوسنتز، کاهش انتقال مواد فتوسنتزی و تقسیم سلولی و همچنین افزایش احتیاجات قندی برای تنظیم اسمزی در گیاه، موجب توقف رشد ریشه و در نهایت کاهش وزن ریشه می‌شود (Sharifani, Farhadi, Alizade, Hokmabadi, & Aliniaiefard, 2021).

افزایش سطح ریشه‌ها از طریق افزایش سطح جذب آب و عناصر غذایی می‌تواند کارایی جذب آب و عناصر غذایی را افزایش دهد. از این رو کاربرد باکتری‌های محرک رشد، با تغییر معماری ریشه به نفع گسترش طول و افزایش سطح ریشه، موجب افزایش جذب آب توسط ریشه گیاه می‌شوند. همچنین، تغییرات فیتوهورمونی ناشی از تلقیح باکتری‌های محرک رشد موجب افزایش تعداد ریشه‌های جانبی و ریشه‌های موئین و همچنین افزایش سطح، وزن خشک و طول ریشه و فراهمی بیشتر آب و عناصر غذایی می‌شود (Karimi, Alisgharзад, Mousavi, & Aliloo, 2022). به نظر می‌رسد بخشی از بهبود وزن و حجم ریشه به واسطه کاربرد باکتری‌های محرک رشد می‌توان به اثرات ناشی از تاثیر این باکتری‌ها در افزایش فراهمی و جذب عناصر غذایی و بهبود فتوسنتز جاری (جدول ۵) نسبت داد، که مطابق با یافته‌های محمدی کله‌سرلو و همکاران (Mohammadi Kale Sarlou et al., 2023) بود. بخش دیگری از افزایش وزن و حجم ریشه به واسطه نانوذرات را می‌توان به اثر این مواد در گسترش شاخص سطح برگ و بهبود فتوسنتز نسبت داد. در این راستا نظری و همکاران (Nazari et al., 2022) اظهار داشتند که محلول پاشی نانواکسید آهن و سیلیکون با بهبود فتوسنتز و انتقال مواد فتوسنتزی به ریشه، ضمن بهبود رشد گیاه موجب افزایش وزن و حجم ریشه گیاه گندم شد.

جدول ۶- تجزیه واریانس تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر حجم و وزن خشک ریشه، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 6- Analysis of variance of the effects of PGPR and nanoparticles on volume and root dry weight, leaf area index (LAI), and grain yield of triticale under different levels of irrigation

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات (Mean Square)			
		وزن خشک ریشه Root dry weigh	حجم ریشه Root volume	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد دانه Grain yield
تکرار (R) Replication	2	82149.18**	332751.46**	1.095**	9294.9*
آبیاری Irrigation (I)	2	70298.18**	232025.18**	4.488**	52308.47**
Error خطای اصلی		2757.31	1410.15	0.04	5032.62
کودهای زیستی Bio fertilizers (B)	3	49457.03**	109152.5**	1.804**	5558.4**
نانوذرات nanoparticles (N)	3	14223.76**	45081.75**	0.968**	8358.02**
I×B	6	1027.76 ^{ns}	2807.92 ^{ns}	0.293**	2324.67**
I×N	6	1281.96 ^{ns}	2569.18 ^{ns}	0.144**	1610.9*
B×N	9	2328.18**	4883.44**	0.16**	2495.99**
I×B×N	18	1132.85 ^{ns}	5250.22**	0.173**	2383.89**
Error خطای فرعی	90	953.54	2078.39	0.04	574.28
ضریب تغییرات (CV %)	-	8.1	7.0	6.0	4.5

ns, * و ** به ترتیب غیرمعنی‌دار 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 ۷- مقایسه میانگین تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر حجم ریشه، شاخص سطح برگ و عملکرد دانه تریتیکاله در سطوح مختلف آبیاری

Table 7- Means comparison of the effects of PGPR and nanoparticles on volume root, LAI, and grain yield of triticale under different levels of irrigation

Treatments ترکیب تیماری	حجم ریشه (cm ³ .m ⁻²)	شاخص سطح برگ LAI	عملکرد دانه (g.m ⁻²)
I ₀ ×B ₀ ×N ₀	648.33 ^{l-m}	3.36 ^{h-l}	528.8 ^{m-r}
I ₀ ×B ₁ ×N ₀	630.5 ^{j-p}	3.68 ^{d-h}	564.58 ^{g-i}
I ₀ ×B ₂ ×N ₀	642.33 ⁱ⁻ⁿ	2.96 ^{o-r}	539.35 ^{k-o}
I ₀ ×B ₃ ×N ₀	762 ^{a-d}	3.9 ^{a-d}	570.1 ^{e-h}
I ₀ ×B ₀ ×N ₁	562.33 ^{o-u}	3.44 ^{f-k}	550.25 ^{i-l}
I ₀ ×B ₁ ×N ₁	760 ^{a-d}	3.9 ^{a-e}	586 ^{b-e}
I ₀ ×B ₂ ×N ₁	733 ^{a-g}	2.72 ^{q-s}	578.55 ^{c-g}
I ₀ ×B ₃ ×N ₁	793.5 ^{ab}	4.06 ^{ab}	588.81 ^{a-d}
I ₀ ×B ₀ ×N ₂	673.67 ^{f-k}	3.49 ^{f-k}	562.56 ^{g-j}
I ₀ ×B ₁ ×N ₂	763.17 ^{a-d}	3.9 ^{a-e}	566.76 ^{f-i}
I ₀ ×B ₂ ×N ₂	762.17 ^{a-d}	3.9 ^{a-d}	583.15 ^{b-f}
I ₀ ×B ₃ ×N ₂	787.33 ^{ab}	4.03 ^{a-c}	593.76 ^{a-c}
I ₀ ×B ₀ ×N ₃	693 ^{d-j}	3.58 ^{g-j}	573.3 ^{d-g}
I ₀ ×B ₁ ×N ₃	764.33 ^{a-d}	3.9 ^{a-e}	596.96 ^{ab}
I ₀ ×B ₂ ×N ₃	782.67 ^{a-c}	4 ^{a-c}	590.43 ^{a-d}
I ₀ ×B ₃ ×N ₃	805.33 ^a	4.14 ^a	604.73 ^a
I ₁ ×B ₀ ×N ₀	536.5 ^{r-u}	2.82 ^{p-s}	470.73 ^{a-c}
I ₁ ×B ₁ ×N ₀	558.83 ^{p-u}	2.95 ^{o-s}	491.4 ^{w-z}
I ₁ ×B ₂ ×N ₀	558.5 ^{p-u}	2.98 ^{n-r}	501.3 ^{u-x}
I ₁ ×B ₃ ×N ₀	647.17 ^{i-m}	3.35 ^{i-m}	507.8 ^{s-w}
I ₁ ×B ₀ ×N ₁	564.83 ^{o-t}	2.98 ^{n-r}	488.3 ^{x-a}
I ₁ ×B ₁ ×N ₁	649.17 ^{i-m}	3.37 ^{h-l}	526.68 ^{n-r}
I ₁ ×B ₂ ×N ₁	680.83 ^{e-k}	3.48 ^{f-k}	520.01 ^{p-t}
I ₁ ×B ₃ ×N ₁	733.5 ^{a-f}	3.75 ^{b-f}	554.85 ^{h-k}
I ₁ ×B ₀ ×N ₂	570.83 ^{n-t}	3.03 ^{m-q}	496.16 ^{v-y}
I ₁ ×B ₁ ×N ₂	680 ^{e-k}	3.46 ^{f-k}	523.48 ^{o-s}
I ₁ ×B ₂ ×N ₂	633.83 ^{j-o}	3.3 ^{j-n}	532.96 ^{l-q}
I ₁ ×B ₃ ×N ₂	729.5 ^{b-h}	3.73 ^{c-g}	546.3 ^{i-m}
I ₁ ×B ₀ ×N ₃	581.33 ^{m-s}	3.07 ^{h-p}	515.08 ^{q-u}
I ₁ ×B ₁ ×N ₃	678.33 ^{f-k}	3.46 ^{f-k}	563.11 ^{g-j}
I ₁ ×B ₂ ×N ₃	671 ^{f-l}	3.67 ^{d-i}	535.76 ^{l-p}
I ₁ ×B ₃ ×N ₃	753.33 ^{a-e}	3.85 ^{a-e}	575.98 ^{c-g}
I ₂ ×B ₀ ×N ₀	491.17 ^u	2.62 ^s	422.05 ⁱ
I ₂ ×B ₁ ×N ₀	506.5 ^{uv}	2.69 ^{rs}	450.71 ^{e-h}
I ₂ ×B ₂ ×N ₀	659.33 ^{h-l}	3.38 ^{h-l}	435.86 ^{hi}
I ₂ ×B ₃ ×N ₀	562.17 ^{o-u}	2.96 ^{o-r}	454.78 ^{d-g}
I ₂ ×B ₀ ×N ₁	512.67 ^{s-u}	3.42 ^{g-k}	439.41 ^{g-i}
I ₂ ×B ₁ ×N ₁	570.5 ^{n-t}	3.01 ^{n-r}	480.1 ^{v-b}
I ₂ ×B ₂ ×N ₁	547.33 ^{q-u}	2.87 ^{p-s}	463.06 ^{b-e}
I ₂ ×B ₃ ×N ₁	660 ^{g-l}	3.39 ^{h-l}	493.33 ^{v-z}
I ₂ ×B ₀ ×N ₂	617.67 ^{k-q}	3.01 ^{n-r}	444.68 ^{f-h}
I ₂ ×B ₁ ×N ₂	566.17 ^{o-t}	2.99 ^{n-r}	466.28 ^{b-e}
I ₂ ×B ₂ ×N ₂	548.17 ^{q-u}	2.9 ^{o-s}	475.38 ^{z-c}
I ₂ ×B ₃ ×N ₂	657 ^{h-l}	3.37 ^{h-l}	511.38 ^{r-v}
I ₂ ×B ₀ ×N ₃	534.17 ^{r-u}	2.81 ^{p-s}	458.26 ^{x-z}
I ₂ ×B ₁ ×N ₃	599.17 ^{l-r}	3.09 ^{h-p}	489.55 ^{x-z}
I ₂ ×B ₂ ×N ₃	612.33 ^{k-q}	3.22 ^{k-o}	504.51 ^{t-x}
I ₂ ×B ₃ ×N ₃	710.67 ^{c-i}	3.48 ^{f-k}	542.71 ^{k-n}
LSD 0.05	73.4	0.326	18.15

I₀, I₁ and I₂ به ترتیب آبیاری کامل، قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی و آبستنی. B₀, B₁, B₂ و B₃ به ترتیب عدم کاربرد کودهای زیستی، کاربرد سودوموناس، کاربرد آزوسپریلوم و کاربرد توام سودوموناس و آزوسپریلوم. N₀, N₁, N₂ و N₃ به ترتیب عدم محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و محلول‌پاشی نانوسیلیکون. میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون اختلاف آماری معنی‌داری بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد با هم ندارند.

I₀, I₁, and I₂: full irrigation, irrigation withholding at heading and booting stages respectively. B₀, B₁, B₂, and B₃ are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azospirillum, application azospirillum + pseudomonas. N₀, N₁, and N₂ are no foliar application, nano iron oxide foliar application, nano silicon, nano iron-silicon foliar application.

Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 0.05 probability level.

جدول ۸- مقایسه میانگین تاثیر باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر وزن خشک ریشه تریتیکاله

تیمارها Treatments	نانوذرات Nanoparticles			
	Root dry weigh وزن خشک ریشه (g.m ²)			
باکتری‌های محرک رشد PGPR	N ₀	N ₁	N ₂	N ₃
B ₀	319.19 ^h	323.42 ^h	353.68 ^{e-h}	349.31 ^{f-h}
B ₁	329.22 ^{gh}	384.56 ^{c-f}	382.49 ^{c-f}	411.01 ^{a-c}
B ₂	383.24 ^{c-f}	367.42 ^{d-g}	399.89 ^{b-d}	406.95 ^{b-d}
B ₃	395.68 ^{b-e}	435.25 ^{ab}	422.55 ^{a-c}	451.64 ^a
LSD	43.32			

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 محلول‌پاشی، محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و محلول‌پاشی نانوسیلیکون، کاربرد توام محلول‌پاشی نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون.

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

B₀, B₁, B₂, and B₃ are no application of biofertilizers, application of pseudomonas, azospirillum, application azospirillum + pseudomonas. N₀, N₁, and N₂ are no foliar application, nano iron oxide foliar application, nano silicon, nano iron-silicon foliar application. Means with similar letters in each column are not significantly different based on the LSD test at the 0.05 probability level.

عملکرد تک بوته

به واسطه‌ی باکتری‌های محرک رشد گیاه را به رشد و توسعه بهتر ریشه و به تبع از آن در افزایش رشد سیستم ریشه‌ای گیاه در جذب عناصر غذایی مانند نیتروژن نسبت دادند. همچنین بخشی از اثر سودمند کاربرد نانوذرات بر عملکرد دانه را می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۷) و حجم و وزن ریشه (جدول ۷ و ۸) نسبت داد. برخی محققین نیز افزایش عملکرد دانه گندم به واسطه محلول‌پاشی نانو آهن و سیلیکون را به بهبود شاخص سطح برگ و فتوسنتز جاری نسبت دادند که موجب افزایش وزن و حجم ریشه شد (Nazari et al., 2022). در این بررسی نیز به نظر می‌رسد کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات با افزایش شاخص سطح برگ (جدول ۷)، وزن خشک و حجم ریشه (جدول ۷ و ۸) و میزان فتوسنتز جاری (جدول ۵) موجب افزایش عملکرد دانه (جدول ۷) تریتیکاله شد.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر نشان داد که در شرایط محدودیت آبی، حضور باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات (نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون) به صورت توأم و منفرد نقش چشمگیری در بهبود شاخص سطح برگ، بیوماس کل، حجم و وزن ریشه، عملکرد دانه و فتوسنتز جاری داشت. محدودیت آبی موجب افزایش میزان انتقال مجدد ماده خشک از کل بوته و ساقه گردید. به نظر می‌رسد برای کاهش اثر منفی محدودیت آبی و بهبود عملکرد دانه تریتیکاله تلقیح بذر با باکتری‌های محرک رشد و محلول‌پاشی نانوذرات (نانو اکسید آهن و نانوسیلیکون) می‌تواند مفید باشد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر سطوح آبیاری، باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات بر عملکرد تک‌بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد بیشترین عملکرد دانه از کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط آبیاری کامل به دست آمد. از طرفی عدم کاربرد باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در شرایط قطع آبیاری در مرحله آبستنی، موجب کاهش ۲۸/۵۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به کاربرد توأم باکتری‌های محرک رشد و نانوذرات در این سطح از آبیاری شد (جدول ۷). به نظر می‌رسد در شرایط محدودیت آبی دلیل اصلی کاهش عملکرد دانه، کاهش سرعت فتوسنتز و پیری سریع برگ‌ها (کاهش قدرت منبع) و کاهش قدرت مخزن باشد (Salehi, Ahmadi, Mirabzadeh, & Rafei, 2020). محققین دیگر نیز بیان کردند کمبود آب در گیاه موجب کاهش وزن و حجم ریشه می‌شود که در ادامه با کاهش فتوسنتز جاری و انتقال مواد به دانه‌ها، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود (Narimani et al., 2022). همچنین در شرایط کمبود آب، باکتری‌های محرک رشد از طریق اثر بر فعالیت ریشه و افزایش سطح جذب آب، به دلیل بهبود شاخص سطح برگ (جدول ۷) و در نتیجه جذب بهتر تشعشع، افزایش فتوسنتز گیاه و تخصیص مواد فتوسنتزی به بخش‌های هوایی و زیرزمینی گیاه را به همراه داشت که به نوبه خود موجب افزایش وزن حجم ریشه شد. نتایج مشابهی نیز توسط دیگر محققان گزارش شده است (Mindani, Khani, Jalali Honarmand, & Saeedi, 2020). عباسی و همکاران (Abbasi et al., 2021) نیز افزایش عملکرد دانه

References

- Abbasi, A., Mehri, Sh., Solimanzadeha, H., & Alipourb, S. (2021). Investigation the effect of plant growth

- promoting rhizobacteria on growth, yield and dry matter remobilization in barley. *Journal of Plant Ecophysiology*, 13(47), 1-16. (in Persian with English abstract).
2. Abdelaal, K., AlKahtani, M., Attia, K., Hafez, Y., Király, L., & Künstler, A. (2021). The role of plant growth-promoting bacteria in alleviating the adverse effects of drought on plants. *Biology*, 10, 520. <https://doi.org/10.3390/biology10060520>
 3. Barnett, K. H., & Pearce, P. B. (1983). Source-sink ratio alteration and its effect on physiological parameters in maize. *Crop Science*, 23(2), 101-109. <https://doi.org/10.2135/cropsci1983.0011183X002300020028x>
 4. Brunetti, C., Saleem, A. R., Della Rocca, G., Emiliani, G., De Carlo, A., Balestrini, R., Khalid, A., & Mahmood, T. (2021). Effects of plant growth-promoting rhizobacteria strains producing ACC deaminase on photosynthesis, isoprene emission, ethylene formation and growth of *Mucuna pruriens* (L.) DC. in response to water deficit. *Journal of Biotechnology*, 331, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2021.03.008>
 5. Chieb, M., & Gachomo, E. W. (2023). The role of plant growth promoting rhizobacteria in plant drought stress responses. *Chieb and Gachomo BMC Plant Biology*, 23, 407. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04403-8>
 6. Desoky, E. S. M., Mansour, E., Yasin, M. A., El Sobky, E. S. E., & Rady, M. M. (2020). Improvement of drought tolerance in five different cultivars of *Vicia faba* with foliar application of ascorbic acid or silicon. *Span. Journal of Agricultural Research*, 18, 16. <https://doi.org/10.5424/sjar/2020182-16122>
 7. Ebadi, N., Seyed Sharifi, R., & Narimani, H. (2020). Effects of supplementary irrigation and biofertilizers on grain yield, dry matter remobilization and some physiological traits of barley (*Hordeum vulgare* L.) under rainfed conditions. *Journal of Crop Production and Processing*, 10(2), 123-135. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.47176/jcpp.10.2.25857>
 8. Kapoor, D., Bhardwaj, S., Landi, M., Sharma, A., Ramakrishnan, M., & Sharma, A. (2020). The impact of drought in plant metabolism: how to exploit tolerance mechanisms to increase crop production. *Applied Sciences*, 10, 5692: 1-19. <https://doi.org/10.3390/app10165692>
 9. Karimi, E., Alisgharзад, N., Mousavi, S. B., & Aliloo, A. (2022). The effect of growth promoting bacteria on barley yield and morphological root characteristics under different water conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 13(2), 67-81. (in Persian). <https://doi.org/10.47176/jspi.13.2.20531>
 10. Khan, Z. S., Rizwan, M., Hafeez, M., Ali, Sh., Adrees, M., Farooq Qayyum, M., Khalid, S., Zia Ur Rehman, M., & Aleem Sarwar, M. (2020). Effects of silicon nanoparticles on growth and physiology of wheat in cadmium contaminated soil under different soil moisture levels. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 4958-4968. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06673-y>
 11. 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. Ph.D thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Iran.
 12. Kreslavskia, V. D., Shmarev, A. N., Ivanov, A. A., Zharmukhamedov, S. K., Strokina, V., Kosobryukhov, A., Yu, M., Allakhverdiev, S. I., & Shabala, S. (2023). Effects of iron oxide nanoparticles (Fe₃O₄) and salinity on growth, photosynthesis, antioxidant activity and distribution of mineral elements in wheat (*Triticum aestivum*). *Functional Plant Biology*. <https://doi.org/10.1071/fp23085>
 13. Liu, Y., Zhang, P., Li, M., Chang, L., Cheng, H., Chai, S., & Yang, D. (2020). Dynamic responses of accumulation and remobilization of water-soluble carbohydrates in wheat stem to drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 155, 262-270. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.07.024>
 14. Mindani, F., Khani, K., Jalali Honarmand, S., & Saeedi, M. (2020). Studying effect of plant growth-promoting rhizobacteria on ecophysiological traits of soybean (*Glycine max* L.) under irrigation regimes. *Journal of Agroecology*, 11(4). (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i4.73655>
 15. Mohammadi Kale Sarlou, S., Seyed Sharifi, R., Narimani, H., & Nazari, Z. (2023). Effect of flavobacterium, vermicompost and humic acid on current photosynthesis, dry matter remobilization and their contribution in grain yield of triticale under salinity stress conditions. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 69(1), 26-43. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.30495/iper.2022.690242>
 16. 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).
 17. Narimani, H., Seyed Sharifi, R., & Sedghi, M. (2022). Effect of biofertilizer and putrescine application on grain filling components and dry matter remobilization of triticale (*Triticosecale Wittmack*) under water limitation conditions. *Cereal Research*, 11(4), 359-373. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22124/cr.2022.22374.1726>
 18. Nazari, G., Sedgi, M., & Narimani, H. (2022). Effect of salinity and application of humic acid, iron and silicon nanoxide on the contribution of remobilization process and current photosynthesis in wheat grain yield. *Crop Physiology Journal*, 14(54), 5-25. (in Persian).
 19. Rady, M. M., Elrys, A. S., El-Maati, M. F. A., & Desoky, E. S. M. (2019). Interplaying roles of silicon and proline effectively improve salt and cadmium stress tolerance in Phaseolus vulgaris plant. *Plant Physiology and*

- Biochemistry*, 139, 558-568. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.04.025>
20. Rajput, V. D., Minkina, T., Feizi, M., Kumari, A., Khan, M., Mandzhieva, S., Sushkova, S., El-Ramady, H., Verma, K. K., Singh, A., et al. (2021). Effects of silicon and silicon-based nanoparticles on rhizosphere microbiome, plant stress and growth. *Biology*, 10, 791. <https://doi.org/10.3390/biology10080791>
 21. Rasheed, A., Li, H., Tahir, M. M., Mahmood, A., Nawaz, M., Shah, A. N., Aslam, M. T., Negm, S., Moustafa, M., Hassan, M.U., & Wu, Z. (2022). The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 976179. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976179>
 22. Rezabeighi, S., Bijanzadeh, E., & Behpouri, A. (2020). Effect of silicone spraying on assimilate remobilization and yield of two bread and durum wheat under late season water stress. *Journal of Plant Production*, 27(3), 55-71. (in Persian). <https://doi.org/10.22069/jopp.2020.16384.2491>
 23. Rizwan, M., Ali, Sh., Ali, B., Adrees, M., Arshad, M., Hussain, A., Zia Ur Rehman, M., & Waris, A. A. (2019). Zinc and iron oxide nanoparticles improved the plant growth and reduced the oxidative stress and cadmium concentration in wheat. *Chemosphere*, 214, 269-277. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.09.120>
 24. Safi, S. N., Moshatati, A., Gharineh, M. H., & Khodaei Joghani, A. (2022). The effect of sugarcane residue compost on growth and grain yield of triticale under drought stress. *Plant Productions*, 45(2), 253-266. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22055/ppd.2021.36017.1961>
 25. Saleemi, M., Kiani, M. Z., Sultan, T., Khalid, A., & Mahmood, S. (2017). Integrated effect of plant growth-promoting rhizobacteria and phosphatesolubilizing microorganisms on growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) under rainfed condition. *Agriculture and Food Security*, 6, 46. <https://agricultureandfoodsecurity.biomedcentral.com/articles/10.1186/s40066-017-0123-7>
 26. Salehi, F., Ahmadi, A., Mirabzadeh, M., & Rafei, H. R. (2020). Evaluation of storage and remobilization of stem dry matter of three wheat cultivars under different moisture regimes in before and after flowering stages. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(1), 35-49. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.227966.654279>
 27. Seyed Sharifi, R., & Gholinejad, E. (2021). Evaluation of agronomic and morphophysiological traits of crops. Mohaghegh Ardabili university press. Number page 410.
 28. Sharifani, M. M., Farhadi, H., Alizade, M., Hokmabadi, H., & Aliniaiefard, S. (2021). Evaluation of chlorophyll fluorescence changes, the amount of biomass of the rootstocks and interspecific hybrids of the genus pistachios (*P. Vera* × *P. integerrima*) in order to achieve drought tolerant rootstocks. *Pomology Research Scientific Journal*, 5(2), 155-171. (in Persian with English abstract).
 29. Ur Rehman, M. M., Zhu, Y., Abrar, M., Khan, W., Iqbal, A., Khan, A., Chen, Y., Rafiq, M., Tufail, M. A., Ye, J., & Xiong, Y. (2022). Moisture- and period-dependent interactive effects of plant growth-promoting rhizobacteria and AM fungus on water use and yield formation in dryland wheat. *Plant and Soil*, 6, 1-25. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1516690/v1>
 30. Yuan, Y., Zu, M., Sun, L., & Zuo, J. (2022). Isolation and screening of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) deaminase producing PGPR from *Paeonia lactiflora* rhizosphere and enhancement of plant growth. *Scientia Horticulturae*, 297, 110956. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110956>

Evaluation of Agricultural Characteristics and Yield of Different Populations of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) Collected from Different Regions of Iran

B. Gholizadeh-Khajeh¹, J. Shafagh-Kolvanagh^{2*}, S. Zehtab-Salmasi², M. Moghaddam Vahed³, M. Amani⁴

1- Ph.D. Student in Physiology of Horticultural Plant Production and Post-harvest, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2- Professor, Department of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3- Professor, Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4- PhD Student in Production and Post-Harvest Physiology of Medicinal Plants, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

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

Received: 15 December 2023

Revised: 10 January 2024

Accepted: 26 February 2024

Available Online: 15 May 2024

How to cite this article:

Gholizadeh-Khajeh, B., Shafagh-Kolvanagh, J., Zehtab-Salmasi, Z., Moghaddam Vahed, M., & Amani, M. (2024). Evaluation of Agricultural Characteristics and Yield of Different Populations of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) Collected from Different Regions of Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 211-226. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85893.1283>

Introduction


The great importance of identifying, studying, evaluating, and protecting native ecotypes of medicinal plants as human heritage, collecting agricultural medicinal plants and ecological evaluation of their native ecotypes, and introducing their compatible ecotypes is a necessity for farmers. Considering the few studies in the field of the agricultural role of non-native plants such as Dragon's head in Iran to meet the country's nutritional needs, the present research aims to study and evaluate the performance of local medicinal and multi-purpose plant stands of urban sycamore and also to obtain new scientific materials in the case of these local masses has been done in the research farm of University of Tabriz Faculty of Agriculture. It is necessary to explain that in recent years, due to the crisis of water shortage and drought, this plant is in line with changing the cultivation pattern of the region from plants with high water requirement to plants with low water requirement or dry land has been added to the official cultivation pattern of East Azerbaijan province and is being promoted among the farmers of the region.

Materials and Methods

To evaluate and investigate the agronomic characteristics and performance of 49 selected Dragon's head stands from different regions of the country, an experiment was carried out in the form of a simple 7*7 square lattice design with three replications. A field experiment was carried out at the research station of the Faculty of Agriculture of University of Tabriz, located in building number 2 of the Faculty of Agriculture in Basmanj. According to meteorological maps, the climate of this region is among the steppe and semi-arid climates of the world. In this area, although rain sometimes occurs in the summer season, it generally has a dry season in the summer. The area is located at an altitude of 1360 meters above sea level, with a latitude of 38 degrees and five minutes north and a longitude of 46 degrees and 17 minutes east, and its annual rainfall is 285 millimeters. The average annual temperature is 10 degrees Celsius, the average annual maximum temperature is 16.6 degrees Celsius, and the average annual minimum temperature is 4.2 degrees Celsius.



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

 <https://doi.org/10.22067/jcsc.2024.85893.1283>

Results and Discussion

In the comparison of the average traits, the best ecotypes in terms of yield were the ecotypes of Kolvang local population 10 and 15, Tabriz local population 3 and 4 and Ahar local population 1 respectively, simple correlation analysis, stepwise regression, and causality showed that biomass traits, number of seeds per plant, number of seeds in capsule and weight of 1000 seeds are the most important factors affecting the increase of seed yield. By analyzing it into components, the first four components explained 80.44% of the changes related to primary traits. Ecotypes Kolvang 10, Tabriz 3, and number Tabriz 4 yield 1661, 1464, and 1404 kg ha⁻¹ respectively, and 3848, 4119, and 3848 kg ha⁻¹ respectively. They produced 4581 kg ha⁻¹ of biomass and were superior in most traits related to economic performance.

Conclusion

Taking into account the crisis of Lake Urmia and the lack of water in most regions, especially the Azerbaijan region, the medicinal plant Dragon's head is one of the few plants that can be placed in the spring cycle in most areas of rainfed and irrigated cultivation and in improving the water balance. Lake Urmia and agriculture in the region can play a positive role. Therefore, the ecotypes of Tabriz native population 3, Kolvanagh native population 10, and Tabriz native population 4, which had more grain yield and were superior in most of the traits related to yield, can be considered the most suitable ecotypes of Dragon's head for use in water conditions and the air of the region advised the farmers for the next crops.

Acknowledgements

We are grateful to all the colleagues located in the Agricultural Research Station of the Faculty of Agriculture.

Keywords: Biomass, Economic yield, Ecotype, Seed weight

ارزیابی خصوصیات زراعی و عملکرد توده‌های مختلف بانگویی شهری (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور ایران

بهنام قلی‌زاده خواجه^۱، جلیل شفق کلوانق^{۲*}، سعید زهتاب سلماسی^۲، محمد مقدم واحد^۳، مینا امانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۷

چکیده

به منظور ارزیابی و بررسی خصوصیات زراعی و عملکرد ۴۹ توده بانگویی شهری انتخابی از مناطق مختلف کشور، آزمایشی در قالب طرح لاتیس مربع ساده ۷×۷ با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا گردید. در مقایسه میانگین صفات، برترین اکتیپ‌ها از لحاظ عملکرد به ترتیب اکتیپ‌های توده محلی کلوانق ۱۰ و ۱۵، توده محلی تبریز ۳ و ۴ و توده محلی اهر ۱ بودند. تجزیه‌های همبستگی ساده، رگرسیون گام‌به‌گام و علیت نشان داد که صفات زیست‌توده، تعداد دانه در بوته، تعداد دانه در کیسول و وزن هزاردانه مهم‌ترین اجزای مؤثر بر افزایش عملکرد دانه هستند. با انجام تجزیه به مؤلفه‌ها، چهار مؤلفه اول ۸۰/۴۴ درصد تغییرات مربوط به صفات اولیه را توجیه کردند. اکتیپ‌های توده بومی کلوانق ۱۰، توده بومی تبریز ۳ و توده بومی تبریز ۴ به ترتیب ۱۶۶۱، ۱۴۶۴ و ۱۴۰۴ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه و به ترتیب ۳۸۴۸، ۴۱۱۹ و ۴۵۸۱ کیلوگرم در هکتار زیست‌توده تولید نمودند و در اکثر صفات مرتبط با عملکرد اقتصادی برتر بودند. این اکتیپ‌ها می‌توانند به‌عنوان مناسب‌ترین اکتیپ‌های بانگویی شهری برای استفاده در شرایط آب‌وهوایی منطقه و شرایط مشابه این آب‌وهوا در کشور برای کشت‌های بعدی به کشاورزان توصیه نمود.

واژه‌های کلیدی: اکتیپ، زیست‌توده، عملکرد اقتصادی، وزن دانه

مقدمه

باتوجه به جمعیت رو به افزایش بشر، به‌کارگیری روش‌های علمی مؤثر در تولید هرچه بیشتر محصولات زراعی و ایجاد تنوع بیشتر در آن، امری ضروری محسوب می‌شود. کشاورزی پایدار سودمندترین نحوه استفاده از انرژی خورشید و تبدیل آن به محصولات کشاورزی است که بدون تخریب خاک، آب و محیط‌زیست انجام می‌گیرد

(Moslemi, Akbarian, Ravari, Yavarzadeh, & Modafeh- Behzadi, 2023). رویکرد جهانی به استفاده از گیاهان دارویی و ترکیب‌های طبیعی در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی و به دنبال آن توجه مردم، مسئولین و صنایع داخلی به استفاده از گیاهان دارویی و معطر نیاز مبرم به تحقیقات پایه‌ای و کاربردی وسیعی را در این زمینه نمایان می‌سازد (Shafagh-Kolvanagh et al., 2022). گیاهان دارویی یکی از منابع بسیار ارزشمند در گستره وسیع منابع طبیعی ایران هستند که در صورت شناخت علمی، کشت، توسعه و بهره‌برداری صحیح می‌توانند نقش مهمی در سلامت جامعه، اشتغال‌زایی و صادرات غیرنفتی داشته باشند (Shaltouki, Nazeri, Shokrpour, Tabrizi, & Aghaei, 2021). تنوع آب‌وهوا و شرایط اکولوژیکی مختلف، باعث تنوع و غنای گیاهان دارویی در سراسر ایران شده است. لزوم تحقیقات همه‌جانبه و بهره‌برداری صحیح از این گیاهان، به‌ویژه در زمانی که استفاده جهان از گیاهان دارویی در صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی و غذایی شتاب گرفته، بسیار ضروری است (Nezamivand Chegini, Benakashani, Alahdadi, &

- ۱- کارشناسی ارشد فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
 - ۲- استاد، گروه اکوفیزیولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
 - ۳- استاد، گروه به‌نژادی و بیوتکنولوژی گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
 - ۴- دانشجوی دکتری تخصصی فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان باغبانی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
- (*) نویسنده مسئول: shafagh.jalil@gmail.com

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.85893.1283>

گیاه دارویی بالنگوی شهری (*Lallemantia iberica Fisch. et Mey*) گیاهی است یک‌ساله و دولپه از تیره نعناع است که در منطقه آذربایجان و اغلب مناطق ایران، در بین کشاورزان با نام قَره زَرک شناخته می‌شود. بالنگوی شهری از زمان‌های ماقبل تاریخ در جنوب غرب آسیا و جنوب شرق اروپا کشت می‌شود و بومی نواحی قفقاز می‌باشد. بالنگوی شهری به‌خوبی در مناطق خشک رشد می‌کند، از این رو می‌تواند جایگزین مناسبی برای گیاهان زراعی سنتی در مناطق خشک باشد (Abdollahi & Maleki Farahani, 2015).

در این راستا اهمیت زیاد شناسایی، مطالعه، ارزیابی و حفاظت از اکوتیپ‌های بومی گیاهان دارویی به‌عنوان میراث بشری، جمع‌آوری گیاهان دارویی زراعی و ارزیابی اکولوژیکی اکوتیپ‌های بومی آن‌ها و معرفی اکوتیپ‌های سازگار آن‌ها برای کشاورزان یک ضرورت محسوب می‌گردد (Abdoli, 2017). با توجه به تحقیقات اندک در زمینه نقش زراعی گیاهان غیراصلی مانند بالنگوی شهری در ایران جهت تأمین نیاز دارویی کشور، تحقیق حاضر به‌منظور مطالعه و ارزیابی عملکرد توده‌های محلی گیاه دارویی و چندمنظوره بالنگوی شهری و همچنین به‌دست آوردن مطالب علمی جدید در مورد این توده‌های محلی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز انجام شده است. لازم به توضیح است که با توجه به این که در سال‌های اخیر به‌دلیل بحران کمبود آب و خشکسالی، این گیاه در راستای تغییر الگوی کشت منطقه از گیاهان با نیاز آبی زیاد به گیاهان با نیاز آبی کم و یا دیم، به الگوی کشت رسمی استان آذربایجان شرقی اضافه شده است و در حال ترویج در بین کشاورزان منطقه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای در ایستگاه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز واقع در محل ساختمان شماره ۲ دانشکده کشاورزی در اراضی باسمنج در سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ اجرا شد. بر اساس نقشه‌های هواشناسی، آب و هوای این منطقه در زمره اقلیم استپی و نیمه‌خشک جهان قرار دارد. در این منطقه با این که بارندگی گاهی در فصل تابستان اتفاق می‌افتد، ولی در مجموع دارای فصل خشک در تابستان است. منطقه در ارتفاع ۱۳۶۰ متری از سطح دریا با عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۷ دقیقه شرقی قرار گرفته و میزان بارندگی سالیانه آن ۲۸۵ میلی‌متر است. میانگین دمای سالیانه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، میانگین حداکثر دمای سالیانه ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل دمای سالیانه ۴/۲ درجه سانتی‌گراد است. مشخصات خاک ایستگاه تحقیقاتی در جدول ۱ آورده شده است.

(Soltani, 2021). اطلاعات مربوط به اثرات و خواص دارویی گیاهان از زمان‌های بسیار دور و به‌تدریج به‌دست آمده و به‌طور ضمنی با آداب و سنن قومی نیز درآمیخته، سرانجام با زحمت زیاد و از طریق تجربه‌های فراوان مهم‌ترین اثرات و خواص آن‌ها در اختیار نسل‌های معاصر قرار گرفته است (Fakhar, Biabani, Zarei, & Moghadam, 2019). اروپاییان در استفاده دارویی از گیاهان در قرن هفده و هجده پیشرفت زیادی داشته‌اند. این روند تا مدت‌ها ادامه داشته تا این که پس از به‌بازار آمدن داروهای شیمیایی، مصرف مواد طبیعی به‌طور چشمگیری کاهش یافت، ولی در سال‌های اخیر آشنایی علمی و بنیادی انسان با خواص و آثار مفید مواد دارویی طبیعی مجدداً موجبات استفاده روزافزون از آن‌ها را فراهم کرده است (Akbarpour, Kavooosi, Hosseinfarahi, Tahmasebi, & Gholipour, 2021). مطالعات انجام‌شده روی گیاهان دارویی در اکوسیستم‌های طبیعی و زراعی گویای آن است که استفاده از نظام کشاورزی پایدار بهترین شرایط را برای تولید این گیاهان فراهم آورده و حداکثر عملکرد کمی و کیفی در چنین شرایطی حاصل می‌گردد (Rashidzadeh et al., 2023). با توجه به تأکیدی که کشاورزی پایدار و افزایش کیفیت و پایداری عملکرد دارد، گیاهان دارویی که محصولات کیفی می‌باشند گزینه مناسبی در تنوع کشت محسوب می‌شوند و به‌نظر می‌رسد که در چنین شرایطی حداکثر رشد و عملکرد از آن‌ها حاصل می‌گردد (Aghaei-Gharachorlou, Nasrollahzadeh, & Shafagh-Kolvanagh, 2013). نتایج مطالعه راشوند و همکاران (Rashvand, Jafari, & Fakhr-Vaezi, 2021) روی اکوتیپ‌های مختلف بالنگو از سه گونه شامل *L. roylana* و *L. peltata iberica* نشان داد که بیشترین عملکرد دانه با ۴/۲۸ گرم در بوته در اکوتیپ آذرشهر مربوط به گونه *L. iberica* به‌دست آمد که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با اکوتیپ تبریز و قزوین نداشت. از جمله برتری بالنگوی شهری، سطح تاج پوشش بیشتر و طول دوره رویش طولانی‌تر نسبت به دو گونه دیگر است که از میزان عملکرد دانه بالاتری برخوردار می‌باشد. کوچکی و همکاران (Koocheki, Bakhshaei, Tabraei, & Jafari, 2012) در بالنگو با مصرف کود دامی ۱۰ تن در هکتار عملکرد بین ۲۷۲/۵ تا ۴۸۷/۳ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. نتایج مطالعه شفق کلوانق و همکاران (Shafagh Kolvanagh et al., 2018) نشان داد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به‌ترتیب در ارقام کردستان ۱/۵۱ گرم و خوانسار ۱/۴۸ گرم گزارش کردند که از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند. مطالعات نصرتی و همکاران (Nosrati, Diyanat, Rafiee, & Hasanpour, 2022) روی توده‌های بالنگوی شهری نشان داد که بیشترین عملکرد دانه در توده کردستان (۴۷۷ کیلوگرم در هکتار) و کمترین آن از توده کلیبر (۱۸۲ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد.

جدول ۱- برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش
Table 1- Some physical and chemical properties of the tested soil

پتاسیم قابل جذب Absorbable potassium (ppm)	فسفر قابل جذب Absorbable phosphorus (ppm)	ازت کل Total nitrogen (%)	ماده آلی Organic matter (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	EC (dS m ⁻¹)	pH	بافت خاک Soil texture
304	61	0.08	0.76	65	15	20	1.12	7.7	لومی- شنی (Loam-Sandy)

طرح آزمایشی و بذر مورداستفاده

در این پژوهش از ۴۹ اکوتیپ در قالب طرح لاتیس مربع سه‌گانه، در ۷×۷ در سه تکرار استفاده شد. بذرهای بالنگوی شهری طی چند سال از توده‌های بومی مناطق مختلف کشور جمع‌آوری و تهیه شدند. هر یک از توده‌های بومی به‌عنوان یک تیمار مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر واحد آزمایشی شامل پنج ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر و به فواصل خطوط ۲۰ سانتی‌متر بود. میزان بذر مورد کشت نیز بر اساس ۵۰۰ بذر در مترمربع (Shafagh Kolvanagh et al., 2018) تنظیم شد. هر تکرار شامل هفت بلوک ناقص و هر بلوک ناقص نیز دارای هفت اکوتیپ متفاوت بود. پس از رسم نقشه اولیه طرح و به‌منظور استقلال خطاهای آزمایشی، بلوک‌های ناقص درون تکرارها و تیمارهای موجود در هر بلوک ناقص به‌صورت تصادفی توزیع شدند. مراحل آماده‌سازی زمین شامل شخم اولیه در پاییز و تسطیح زمین قبل از کاشت در اسفندماه سال ۱۳۹۹ انجام شد. کرت‌بندی و تفکیک بلوک‌های آزمایش در فروردین ماه صورت پذیرفت. عملیات کاشت تمامی کرت‌های بالنگوی شهری در اردیبهشت و با دست و به روش کشت در بستر مسطح انجام شد. هر کرت کاشت به مساحت ۱/۵ مترمربع بود. در هر کرت با ۵ ردیف کاشت به طول ۱/۵ متر با فاصله بین ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله بین بذر در روی ردیف حدود ۱ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. بذرهای بالنگوی شهری در عمق حدود کمتر از ۳ سانتی‌متر از سطح خاک کشت شدند. کوددهی قبل از کاشت در اردیبهشت ماه انجام شد و کود به‌وسیله شن‌کش با خاک زراعی واحدهای آزمایشی مخلوط شد. اوره (۴۶ درصد نیتروژن) به میزان ۴۳/۴۸ کیلوگرم در هکتار (معادل ۲۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار) و سوپرفسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر) به میزان ۱۰۸/۷ کیلوگرم در هکتار (معادل ۵۰ کیلوگرم فسفر خالص در هکتار) به زمین داده شد (Shafagh Kolvanagh et al., 2018). تراکم کاشت بالنگوی شهری ۵۰۰ بذر در مترمربع در نظر گرفته شد (Shafagh Kolvanagh et al., 2018). پس از کاشت به‌منظور تسهیل در جوانه‌زنی، سبزشدن و عدم شست‌وشوی بذرها، اولین آبیاری در اردیبهشت‌ماه انجام پذیرفت و از زمان سبزشدن تا رسیدگی محصول تقریباً هفت بار آبیاری انجام شد. کنترل علف‌های هرز در داخل

کرت‌ها از طریق وجین دستی در هر هفت روز در طول فصل رشد صورت گرفت. مشخصات اکوتیپ‌های مورد مطالعه بالنگوی شهری در جدول ۲ آورده شده است.

عملیات برداشت و اندازه‌گیری صفات مورد ارزیابی

به‌منظور تعیین عملکرد و اجزای عملکرد، در مردادماه برداشت نمونه‌های بالنگوی شهری در مساحت نیم مترمربع در هر کرت صورت پذیرفت. به این صورت که از ۵ ردیف موجود در هر کرت پس از حذف دو ردیف کناری و ۱۰ سانتی‌متر از ابتدا و انتهای ردیف‌ها به‌عنوان حاشیه، نیم مترمربع به‌عنوان سطح نمونه‌برداری برای اندازه‌گیری عملکرد دانه و زیست‌توده واحد سطح در نظر گرفته شد. محصول پس از برداشت به آزمایشگاه منتقل شد و پس از خشک شدن آن، زیست‌توده با استفاده از ترازو با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین و ثبت شد. سر کپسول‌های بالنگوی شهری که دانه‌ها در داخل آن قرار دارند، در هوای خشک بسته هستند و این امر مانع ریزش بذرها از داخل کپسول می‌گردد. این کپسول‌ها در هوای مرطوب یا بارندگی باز می‌شوند و با استفاده از خاصیت طبیعی این گیاه و بعد از جمع‌آوری، مقداری آب روی بوته‌های خشک و کپسول‌ها اسپری شد و بعد از چند دقیقه که سر کپسول‌ها با جذب رطوبت باز شدند، بوته‌ها را دسته‌دسته با دست گرفته و به صورتی که سر گیاه به سمت پایین است، در داخل ظرفی تکان داده و با چند ضربه، بذرها از داخل کپسول‌ها به داخل ظرف افتادند و بعد از بوجاری به مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق (دمای تقریبی ۲۵ درجه سانتی‌گراد) قرار گرفتند. دانه‌های خشک‌شده با ترازوی حساس توزین و به این ترتیب عملکرد دانه در واحد سطح برای هر واحد آزمایشی به‌دست آمد. افزون بر این، تعداد ۱۰ بوته از سطح باقی‌مانده، به‌صورت تصادفی نمونه‌برداری شد و ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، زیست‌توده در واحد سطح، عملکرد دانه در واحد سطح، عملکرد دانه در تک بوته و وزن هزاردانه مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. برای تعیین وزن هزاردانه اکوتیپ‌های بومی بالنگوی شهری مقداری بذر به‌صورت تصادفی از بذرهای هر کرت جدا شد و روی میز کار به‌طور مساوی به هشت قسمت تقسیم

شد. بعد از جدا کردن ۱۰۰ بذر تصادفی و بعد از اندازه‌گیری وزن هر قسمت، وزن هزاردانه برای هر اکوتیپ مورد آزمون محاسبه و ثبت شد.

جدول ۲- مشخصات ۴۹ اکوتیپ مورد مطالعه بالنگوی شهری در آزمایش مزرعه‌ای
Table 2- Characteristics of the 49 ecotypes studied in the field experiment

استان (State)	اکوتیپ‌ها (Ecotypes)	طول جغرافیایی Longitude (E)	عرض جغرافیایی Latitude (N)
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱) (Local Kolvanagh 1)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۲) (Local Kolvanagh 2)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۳) (Local Kolvanagh 3)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۴) (Local Kolvanagh 4)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	اهر (Ahar)	47	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۵) (Local Kolvanagh 5)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۶) (Local Kolvanagh 6)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۷) (Local Kolvanagh 7)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (سراب ۱) (Local Sarab 1)	47.54	37.92
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۸) (Local Kolvanagh 8)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۹) (Local Kolvanagh 9)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۲ (Tabriz 2)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۵ (Tabriz 5)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۳ (Tabriz 3)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۱ (Tabriz 1)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۷ (Tabriz 7)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۶ (Tabriz 6)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۸ (Tabriz 8)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۰) (Local Kolvanagh 10)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۱) (Local Kolvanagh 11)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۲) (Local Kolvanagh 12)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۳) (Local Kolvanagh 13)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تبریز ۴ (Tabriz 4)	46.33	38.08
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۴) (Local Kolvanagh 14)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (تازه کند ۱) (local Tazekand 1)	47	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	محلی (کلوانق ۱۵) (Local Kolvanagh 15)	46.99	38.10
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	پارام ۱ (Param 1)	46	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	زرناق (Zarnak)	50	36.16
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	ورزقان ۱ (Warzghan 1)	47	38.44
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	اهر ۱ (Ahar 1)	47	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	تازه کند ۲ (Tazekand 2)	47	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	ملکان (Malekan)	46.10	37.14
مشهد (Mashhad)	توده مشهد (Mashhad)	59	36
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	ورزقان ۲ (Warzghan 2)	47	38.34
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	پارام ۲ (Param 2)	46	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای پیغام کلیبر (Piqam Kalibar village)	47	30
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای الوار بستان آباد (Alwar Bostan-Abad village)	46.83	37.84
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای دهلان هشتروود (Dehlan Hashtroud village)	47	37
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای کمارسفلج جلفا (Komarsefli Jolfa village)	46	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای گوندک (Gundak village)	47.52	35.87
ارومیه (Urmia)	مرز سرو ارومیه (Orumieh0)	44.64	37.72
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای ارلان مرند (Arlan Marand village)	45	38
اردبیل (Ardabil)	روستای مجره خلخال (Majra Khalkhal village)	48	37
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای لیلاب ورزقان (Lilab Varzghan village)	46	38
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	خاروانا (Kharwana)	46.17	38.68
کردستان (Kurdistan)	کردستان ۲ (Kurdistan 2)	46.99	35.31
ارومیه (Urmia)	تکاب (Tekab)	47.11	36.40
زنجان (Zanjan)	زنجان (Zanjan)	48.48	36.66
آذربایجان شرقی (East Azarbaijan)	روستای نظیرلو و درویش بقال (Nazirlu and Dervish Bakhal village)	45	38

قبل از تجزیه واریانس، یکنواختی واریانس‌ها و نرمال بودن

تجزیه آماری

را در بهترین موقعیت از نظر فتوسنتز قرار می‌دهد (Abdoli, 2017). یکی از اختلافات بین ارقام همین ویژگی است، از طرفی یکی از عوامل اصلی و تعیین‌کننده ارتفاع گیاه، تأمین عناصر غذایی مورد نیاز گیاه است، تیمارهای کود آلی با تأمین تدریجی عناصر غذایی این عمل را به خوبی انجام می‌دهند و باعث افزایش ارتفاع گیاه می‌شوند (Shahbazi, Alizadeh, & Fathirezaie, 2012). ارتفاع بوته در طول دوره رشد گیاه نقش اساسی در قراردادن برگ‌ها در معرض نور، سایه‌اندازی روی گیاهان رقیب و توسعه ساختارهای زایشی گیاه دارد (Shahbazi et al., 2012). بالا بودن تعداد برگ و گره در اکوتیپ توده بومی شهرستان اهر، بالا بودن ارتفاع را همراهی می‌کند. در اکثر موارد اکوتیپ‌هایی با تعداد گره در ساقه اصلی و ارتفاع بوته بیشتر، زیست‌توده بیشتری نیز تولید می‌کنند که این به نوبه خود اهمیت ارتفاع بوته را در میزان علوفه تولیدی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که داشتن ارتفاع بیشتر، از طریق افزایش سطح فتوسنتزکننده (برگ و بخش‌های سبز گیاه)، باعث افزایش زیست‌توده و نیز عملکرد دانه می‌شود (Sirus Mehr, Shakiba, Alyari, Tourchi, & Dabbagh Mohammadi Nasab, 2008).

تعداد دانه در کپسول

بر اساس تجزیه واریانس داده، بین اکوتیپ‌ها از نظر تعداد دانه در کپسول اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد وجود داشت (جدول ۳). اکوتیپ توده بومی کلوانق ۱۲ با میانگین ۲/۸ دانه در کپسول بیشترین مقدار را برای این صفت دارا بود. اکوتیپ‌های توده بومی روستای گوندک بیجار) و توده بومی کلوانق ۱۴ در مراتب بعدی واقع شدند. توده بومی روستای ارلان مرند با میانگین ۱/۲ دانه در کپسول کمترین مقدار را برای این صفت دارا بود (جدول ۴). افزایش تعداد دانه در کپسول تأثیری در افزایش زیست‌توده و عملکرد دانه ایجاد نکرد و همبستگی مثبتی مشاهده نگردید. تعداد دانه در کپسول با ثبات‌ترین جزء عملکرد است، زیرا تعداد سلول‌های تخم تقریباً در همه تخمدان‌ها برابر است، تعداد دانه در کپسول به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای متأثر از شرایط تلقیح و موقعیت کپسول در گیاه است و روش‌های زراعی و شرایط آب‌وهوایی اختلاف کمی در تعداد دانه در کپسول ایجاد می‌کنند.

خطاهای آزمایشی ارزیابی شدند و سپس تجزیه واریانس برای طرح لاتیس مربع سه‌گانه انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز با آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای بررسی ارتباط بین صفات، ضرایب همبستگی ساده پیرسون محاسبه گردید. همچنین تجزیه رگرسیون چندگانه برای عملکرد دانه به روش گام به گام انجام شد. برای تعیین اثرات مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقلی که درصد بیشتری از تغییرات متغیر وابسته (عملکرد دانه) را تبیین می‌کنند از تجزیه علیت استفاده شد. در این پژوهش برای گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد مطالعه از تجزیه خوشه‌ای براساس میانگین داده‌های استاندارد شده و به‌وسیله Ward استفاده شد. این گروه‌بندی یک بار بر اساس کلیه صفات و بار دیگر بر اساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن در رگرسیون گام‌به‌گام صورت گرفت. برای تعیین محل برش دندروگرام، تجزیه تابع تشخیص انجام شد. از نرم‌افزارهای EXCEL، MSTAT-C و SPSS16 برای انجام آزمون‌های آماری و رسم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث

ارتفاع بوته

بر اساس تجزیه واریانس داده‌ها، بین اکوتیپ‌ها از نظر ارتفاع بوته اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت (جدول ۳). اکوتیپ توده بومی اهر با میانگین ارتفاع ۳۴/۶ سانتی‌متر به‌عنوان بلندترین اکوتیپ شناسایی شد و اکوتیپ‌های توده بومی روستای لیلاب ووزقان، توده بومی سراب، توده بومی زرنق و توده بومی تازه‌کند اختلاف معنی‌داری با آن نداشتند. توده بومی روستای ارلان مرند با میانگین ارتفاع ۲۱/۷۹ سانتی‌متر کوتاه‌ترین اکوتیپ بود. بعد از آن اکوتیپ توده بومی مشهد با ارتفاع ۲۱/۴۸ سانتی‌متر قرار داشت (جدول ۴). افزایش ارتفاع بوته موجب افزایش در زیست‌توده و عملکرد دانه همان اکوتیپ‌ها شده است. در بررسی امکان کشت توده‌های بومی بالنگوی شهری در شرایط دیم سردسیر مراغه، توده‌های زنجان و کردستان دارای بیشترین میانگین ارتفاع بوته به‌ترتیب ۴۹ و ۵۰ سانتی‌متر بودند. نوسانات ارتفاع معمولاً بارزترین مشخصه از خصوصیات ژنتیکی و تغییرشکل محیطی در اغلب گیاهان است، گاهی افزایش ارتفاع از نظر رقابت با سایر گیاهان در جامعه گیاهی یک ویژگی مفید محسوب می‌شود که یکی از نتایج آن تشکیل برگ‌های جدید در بالای کانوپی است. این ویژگی کارآمدترین برگ‌ها

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات در ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری
Table 3- Variance analysis of traits in 49 ecotypes of Dragon's head

منابع تغییر Sources of variation	درجه آزادی df	ارتفاع بوته Plant height	میانگین مربعات (Mean square)				
			تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزاردانه 1,000 grain weight	عملکرد دانه در تک بوته Seed yield per plant	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield per unit area	زیست توده در واحد سطح Biomass per unit area
تکرار (Repetition)	2	363 ^{ns}	0.09 ^{**}	0.95 ^{ns}	0.709 ^{ns}	2078.3 ^{**}	15276.3 [*]
تیمار (Treatment)	48	17.9 [*]	0.2 ^{**}	0.16 ^{**}	0.049 [*]	120.7 ^{**}	7250. [*]
بلوک (Block)	18	48.4	0.054	0.09	0.063	458.8	9187
خطا (Error)	78	11.9	0.048	0.08	0.030	450.5	4438.2
ضریب تغییرات (C.V)(%)	-	11.8	12.49	5.61	28.16	21.33	20.13

^{ns}، ^{*} و ^{**} به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪، ۵٪ و غیرمعنی‌دار
^{ns}، ^{**} and ^{*}: non-significant, significant at $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.05$, respectively

وزن هزاردانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد بین اکوتیپ‌ها از نظر وزن هزاردانه در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). به طوری که توده بومی تبریز ۷ با میانگین وزن ۵/۳۷ گرم بالاترین وزن هزاردانه را داشت و بعد از آن توده بومی روستای الوار بستان‌آباد، توده بومی کلوانق ۱۵ و توده بومی کلوانق ۵ قرار داشتند (جدول ۴). بر اساس پژوهشی همبستگی بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه در مقایسه با همبستگی بین سایر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است. باتوجه‌به این‌که وزن هزاردانه یکی از اجزای مهم عملکرد دانه می‌باشد، تاریخ‌های مختلف کاشت در گیاه دارویی کتان به‌طور معنی‌داری بر وزن هزاردانه تأثیرگذار می‌باشد، به طوری که با تأخیر در کاشت، وزن هزاردانه کاهش می‌یابد. وزن هزاردانه مستقیماً تحت تأثیر جریان مواد فتوسنتزی بعد از گرده‌افشانی است، این مواد می‌توانند از فتوسنتز جاری گیاه و یا انتقال مجدد مواد ذخیره شده در ساقه‌ها، برگ‌ها و یا کپسول‌ها تأمین شوند (Abdoli, 2017). در بررسی دیگری که توسط صمدی و همکاران (Samadi, Khaiyamian, & Hasanzadeh-Goorut Tappe, 2007) بر روی شش رقم بالنگوی شهری انجام شد، رقم شاهین‌دژ با متوسط ۵/۰۱ گرم و رقم اهر با میانگین ۴/۵ گرم به ترتیب دارای بیشترین و کمترین وزن هزاردانه بودند. یکی از اجزای مهم عملکرد دانه، وزن هزاردانه می‌باشد. بیشتر بودن وزن هزاردانه در کنار تعداد دانه در کپسول و تعداد دانه در بوته بالا، باعث افزایش عملکرد می‌شود. با این حال همبستگی بین وزن هزاردانه با عملکرد دانه در مقایسه با همبستگی بین سایر اجزای عملکرد و عملکرد دانه، بسیار ناچیز و قابل اغماض است. معمولاً بین تعداد دانه در بوته و وزن هزاردانه رابطه معکوس وجود دارد و بوته‌هایی با تعداد دانه بیشتر، وزن هزاردانه کمتری دارند. این شرایط

به ارتباط بین منبع و مخزن، میزان مواد فتوسنتزی، تعداد مخزن و نحوه تخصیص مواد فتوسنتزی وابسته است. همچنین احتمال می‌رود تفاوت در وزن هزاردانه برخی از اکوتیپ‌ها باهم ناشی از تفاوت در ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها باشد (Abdoli, 2017). با این حال، نظر قطعی در این مورد نیازمند مطالعه تنوع ژنتیکی آن‌ها است. صفایی و همکاران (Safaei, Afiuni, & Zeinali, 2013) نیز در مطالعات خود بر روی ۱۲ ژنوتیپ رازبانه تفاوت‌های معنی‌داری را برای این صفت گزارش کردند. از آن‌جاکه وزن هزاردانه یکی از اجزای اصلی عملکرد دانه در بوته در گیاه است، می‌توان از روش‌های انتخاب به‌منظور بهبود این صفت در جهت بهبود عملکرد دانه استفاده نمود.

عملکرد دانه در تک بوته

بر اساس تجزیه واریانس داده، بین اکوتیپ‌ها از نظر عملکرد دانه در تک بوته اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد وجود داشت (جدول ۳). به طوری که توده بومی تبریز ۳ با میانگین ۰/۸۷ گرم دانه در تک بوته در رتبه اول بیشترین عملکرد را داشت. با افزایش عملکرد دانه در تک بوته، عملکرد دانه در واحد سطح و بیوماس همان اکوتیپ‌ها افزایش معنی‌داری یافت، به طوری که اکوتیپ توده بومی تبریز ۳ که بالاترین عملکرد دانه را داراست (جدول ۴). در بین صفات بیوماس و عملکرد دانه جزء برترین اکوتیپ‌ها بود. اصلی‌ترین و مهم‌ترین هدف در آزمایش‌های مزرعه‌ای، رسیدن به حداکثر عملکرد است. عملکرد گیاه در حقیقت پاسخی به میزان کارایی آب در مراحل مختلف رشد گیاه و به کارگیری آب در سرتاسر فصل رشد گیاه است. در حقیقت تولید دانه یک پدیده پیچیده بوده که عوامل چندی به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر آن مؤثرند. عملکرد دانه برآیند عواملی مانند طول دوره رشد گیاه، سرعت، مدت و ارتباط بسیاری از فرآیندهای حیاتی در مراحل نمو گیاهی است.

جدول ۴- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه برای ۴۹ اکوتیپ بانگوی شهری
Table 4- Comparison of the average studied traits for 49 ecotypes of Dragon's head

اکوتیپ‌ها Ecotypes	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در کیسول Number of seeds per capsule	وزن هزاردانه 1,000 grain weight (g)	عملکرد دانه در تک بوته Seed yield per plant (g)	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield per unit area (g m ⁻²)	زیست‌توده در واحد سطح Biomass per unit area (g m ⁻²)
محلی (کلوانق ۱) (Kolvanagh 1)	27 ^{b-e}	2.7 ^{a-e}	5.2 ^{ab}	0.492 ^{b-e}	97.6 ^{c-i}	312.4 ^{b-e}
محلی (کلوانق ۲) (Kolvanagh 2)	30.3 ^{a-d}	2.7 ^{a-d}	4.94 ^{ab}	0.68 ^{a-d}	101.9 ^{c-i}	377.7 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۳) (Kolvanagh 3)	30.5 ^{a-d}	2.6 ^{a-g}	5.02 ^{ab}	0.614 ^{a-e}	98.9 ^{c-i}	379.2 ^{a-d}
محلی (کلوانق ۴) (Kolvanagh 4)	26.7 ^{c-e}	2.2 ^{f-k}	4.78 ^b	0.389 ^{d-f}	71.5 ^{g-i}	275.7 ^{b-f}
اهر (Ahar)	34.7 ^a	2.3 ^{c-k}	5.04 ^{ab}	0.624 ^{a-e}	121.4 ^{b-e}	378.5 ^{a-d}
محلی (کلوانق ۵) (Kolvanagh 5)	30.7 ^{a-d}	2.3 ^{c-k}	5.32 ^{ab}	0.767 ^{a-c}	99.2 ^{c-i}	328.4 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۶) (Kolvanagh 6)	27.4 ^{b-e}	2.5 ^{a-j}	4.77 ^b	0.523 ^{a-e}	88 ^{d-i}	296.4 ^{b-e}
محلی (کلوانق ۷) (Kolvanagh 7)	29.3 ^{a-d}	2.7 ^{a-f}	5.27 ^{ab}	0.707 ^{a-d}	99.6 ^{c-i}	327.1 ^{a-e}
محلی (سراب ۱) (Sarab 1)	32.6 ^{a-c}	2.4 ^{a-k}	5.03 ^{ab}	0.711 ^{a-d}	109.5 ^{b-h}	348.4 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۸) (Kolvanagh 8)	28.1 ^{a-e}	2.4 ^{a-k}	5.03 ^{ab}	0.506 ^{b-e}	92.6 ^{d-i}	290.1 ^{b-e}
محلی (کلوانق ۹) (Kolvanagh 9)	28.4 ^{a-e}	2.6 ^{a-i}	4.83 ^{ab}	0.567 ^{b-e}	91.5 ^{d-i}	283.8 ^{b-e}
تبریز ۲ (Tabriz 2)	27.5 ^{b-e}	2.3 ^{e-k}	4.97 ^{ab}	0.609 ^{a-e}	74.8 ^{f-i}	261.8 ^{d-f}
تبریز ۵ (Tabriz 5)	29.2 ^{a-d}	2.5 ^{a-j}	5.10 ^{ab}	0.285 ^{ef}	116.6 ^{b-f}	366.4 ^{a-e}
تبریز ۳ (Tabriz 3)	31.1 ^{a-d}	2.6 ^{a-i}	4.86 ^{ab}	0.862 ^a	146.4 ^{ab}	411.9 ^{ab}
تبریز ۱ (Tabriz 1)	26.8 ^{c-e}	2.8 ^{a-d}	5.20 ^{ab}	0.587 ^{a-e}	111.5 ^{b-g}	310.8 ^{b-e}
تبریز ۷ (Tabriz 7)	28.7 ^{a-e}	2.6 ^{a-i}	5.37 ^a	0.636 ^{a-d}	67.8 ^{hi}	356.8 ^{a-e}
تبریز ۶ (Tabriz 6)	31.2 ^{a-d}	2.3 ^{e-k}	5.15 ^{ab}	0.652 ^{a-d}	92.5 ^{d-i}	327 ^{a-e}
تبریز ۸ (Tabriz 8)	31.7 ^{a-c}	2.5 ^{a-j}	5.04 ^{ab}	0.67 ^{a-d}	122.1 ^{b-d}	375.3 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۱۰) (Kolvanagh 10)	31.3 ^{a-d}	2.3 ^{c-k}	5 ^{ab}	0.684 ^{a-d}	166.1 ^a	384.8 ^{a-d}
محلی (کلوانق ۱۱) (Kolvanagh 11)	31.6 ^{a-c}	2.4 ^{b-k}	5.13 ^{ab}	0.699 ^{a-d}	93.7 ^{d-i}	330.8 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۱۲) (Kolvanagh 12)	29.1 ^{a-d}	2.8 ^a	5 ^{ab}	0.491 ^{b-e}	81.5 ^{d-i}	303 ^{b-e}
محلی (کلوانق ۱۳) (Kolvanagh 13)	27.7 ^{a-e}	2.2 ^{h-k}	4.97 ^{ab}	0.585 ^{a-e}	112.8 ^{b-g}	377.2 ^{a-e}
تبریز ۴ (Tabriz 4)	30.6 ^{a-d}	2.6 ^{a-i}	4.97 ^{ab}	0.716 ^{a-d}	140.4 ^{a-c}	458.1 ^a
محلی (کلوانق ۱۴) (Kolvanagh 14)	27.3 ^{b-e}	2.8 ^{a-c}	5 ^{ab}	0.61 ^{a-e}	115.7 ^{b-f}	355.6 ^{a-e}
محلی (تازه کند ۱) (Tazekand 1)	27.6 ^{a-e}	2.4 ^{b-k}	4.9 ^{ab}	0.76 ^{a-c}	110.5 ^{b-h}	349.7 ^{a-e}
محلی (کلوانق ۱۵) (Kolvanagh 15)	30 ^{a-d}	2 ^k	5.33 ^{ab}	0.701 ^{a-d}	105.1 ^{b-i}	399.8 ^{a-c}
پارام ۱ (Param 1)	30.5 ^{a-d}	2.5 ^{a-j}	4.83 ^{ab}	0.615 ^{a-e}	110.1 ^{b-h}	367.3 ^{a-e}
زرناق (Zarnak)	32.6 ^{a-c}	2.3 ^{d-k}	5.04 ^{ab}	0.628 ^{a-e}	122.8 ^{b-d}	371.7 ^{a-e}
ورزقان ۱ (Warzghan 1)	27.7 ^{a-e}	2.6 ^{a-i}	5.1 ^{ab}	0.55 ^{a-e}	78.22 ^{e-i}	317.8 ^{b-e}

اهر ۱ (Ahar 1)	31.8 ^{a-c}	2.3 ^{d-k}	5.04 ^{ab}	0.589 ^{a-e}	1248 ^{cd}	383.4 ^{a-d}
تازه کند ۲ (Tazekand 2)	32.5 ^{a-c}	2.3 ^{d-k}	5 ^{ab}	0.731 ^{a-d}	98.3 ^{c-i}	351.1 ^{a-e}
ملکان (Malekan)	29.3 ^{a-d}	2.3 ^{d-k}	5.19 ^{ab}	0.666 ^{a-d}	97.5 ^{c-i}	304.7 ^{b-e}
توده مشهد (Mashhad)	24.5 ^{d-e}	2.1 ^{jk}	5.28 ^{ab}	0.501 ^{b-e}	104.9 ^{b-i}	342.4 ^{a-e}
ورزقان ۲ (Warzghan 2)	28.7 ^{a-d}	2.4 ^{a-k}	5.16 ^{ab}	0.697 ^{a-d}	74.62 ^{f-i}	299.1 ^{b-e}
پارام ۲ (Param 2)	29.6 ^{a-d}	2.3 ^{e-k}	5.17 ^{ab}	0.656 ^{a-d}	89.6 ^{d-i}	269.4 ^{c-f}
روستای پیغام کلیر (Piqam Kalibar village)	28.5 ^{a-e}	2.5 ^{a-j}	5.03 ^{ab}	0.707 ^{a-d}	88.3 ^{d-i}	309.6 ^{b-e}

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Treatments with at least one letter in common do not have a significant difference at the one percent probability level.

ادامه جدول ۴-

Continued table 4-

اکوتیپ‌ها Ecotypes	ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزاردانه 1,000 grain weight (g)	عملکرد دانه در تک بوته Seed yield per plant (g)	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield per unit area (g m ⁻²)	زیست توده در واحد سطح Biomass per unit area (g m ⁻²)
روستای الوار بستان آباد (Alwar Bostan-Abad village)	32.1 ^{a-c}	2.2 ^{g-k}	5.34 ^{ab}	0.655 ^{a-d}	106.2 ^{b-i}	357.1 ^{a-e}
روستای دهلان هشترود (Dehlan Hashtroud village)	26.9 ^{b-e}	2.3 ^{d-k}	5.07 ^{ab}	0.431 ^{c-f}	104.9 ^{b-i}	338.2 ^{a-e}
روستای کمارسفلج جلفا (Komarsefli Jolfa village)	27.5 ^{b-e}	2.1 ^{jk}	4.9 ^{ab}	0.667 ^{a-d}	64.3 ^l	241.2 ^{ef}
روستای گوندک (Gundak village)	27.9 ^{a-e}	2.8 ^{ab}	4.96 ^{ab}	0.616 ^{a-e}	88.7 ^{d-i}	280.4 ^{b-f}
مرز سرو ارومیه (Orumieh)	31.7 ^{a-c}	2.4 ^{ak}	5.1 ^{ab}	0.733 ^{a-d}	105.2 ^{b-i}	321.9 ^{b-e}
روستای ارلان مرند (Arlan Marand village)	21.8 ^e	1.2 ^l	3.84 ^c	0.137 ^f	23.4 ^j	158.8 ^f
روستای مجره خلخال (Majra Khalkhal village)	25.8 ^{c-e}	2.4 ^{a-k}	4.84 ^{ab}	0.54 ^{a-e}	95.8 ^{d-i}	310.4 ^{b-e}
روستای لیلاب ورزقان (Lilab Varzghan village)	33.9 ^{ab}	2.5 ^{aj}	5.1 ^{ab}	0.839 ^{ab}	111.6 ^{c-g}	358.9 ^{a-e}
خاروانا (Kharwana)	27.1 ^{b-e}	2.5 ^{aj}	5.01 ^{ab}	0.662 ^{a-d}	92.4 ^{d-i}	319.4 ^{b-e}
کردستان ۲ (Kurdistan 2)	29.5 ^{a-d}	2.5 ^{aj}	5.27 ^{ab}	0.629 ^{a-e}	95.9 ^{d-i}	295.5 ^{b-e}
تکاب (Tekab)	31.5 ^{a-d}	2.6 ^{ah}	5.2 ^{ab}	0.656 ^{a-d}	100.5 ^{c-i}	303.4 ^{b-e}
زنجان (Zanjan)	28.2 ^{a-e}	2.2 ^{±k}	4.82 ^{ab}	0.603 ^{a-e}	99.4 ^{c-i}	313.3 ^{b-e}
روستای نظیرلو و درویش بقال (Nazirlu and Dervish Bakhal village)	29.7 ^{a-d}	2.7 ^{a-f}	5.1 ^{ab}	0.511 ^{a-e}	91.6 ^{d-i}	334.2 ^{a-e}

تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد ندارند.

Treatments with at least one letter in common do not have a significant difference at the one percent probability level.

عملکرد دانه در واحد سطح

مهم‌ترین صفت در گیاهان زراعی میزان عملکرد دانه است. باتوجه به معنی‌دار بودن اختلاف اکوتیپ‌ها در تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، مقایسه میانگین‌ها نشان داد که توده بومی کلوانق ۱۰ با میانگین عملکرد ۱۶۶/۱ گرم در مترمربع (۱۶۶۱ کیلوگرم در هکتار) در مرتبه اول و سپس توده بومی تبریز ۳، توده بومی تبریز ۴، توده بومی اهر ۱ و توده بومی اهر بیشترین عملکرد دانه در واحد سطح را به خود اختصاص دادند (جدول ۴). عملکرد دانه در واحد سطح ارتباط

تنگاتنگی با بیوماس دارد، به طوری که اکوتیپ‌هایی که عملکرد دانه بالایی دارند با افزایش بیوماس همراه هستند. عملکرد دانه هر جامعه گیاهی، نحوه فعالیت آن را طی یک فصل رشد و نحوه استفاده از تشعشع، مواد غذایی، آب و سایر منابع محیطی را نشان می‌دهد. تقسیم و تخصیص مواد فتوسنتزی در گیاهان مختلف تابع خصوصیات ژنتیکی گیاه و شرایط محیطی است. لذا کم بودن عملکرد در یک گیاه نمی‌تواند دلیل بر کم بودن رشد آن باشد. ظرفیت مخزن، روابط بین مبدأ و مخزن، نسبت بین هورمون‌های مختلف شرایط محیطی به خصوص دما و رطوبت از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شکل‌گیری

۰/۸۲۳، ۰/۵۶۲ بیشترین همبستگی را با عملکرد دانه داشتند. زیست‌توده در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته، تعداد دانه در کپسول، وزن هزاردانه و عملکرد دانه در تک بوته در سطح احتمال یک درصد نشان داد. وزن هزار دانه با زیست‌توده، عملکرد دانه، تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال یک درصد و با ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد. تعداد دانه در کپسول با وزن هزاردانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت. ارتفاع بوته با زیست‌توده و عملکرد دانه همبستگی مثبت و معنی‌دار داشت (جدول ۵). بر اساس مطالعه آقای و همکاران (Aghaei-Gharachorlou *et al.*, 2013) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین زیست‌توده و عملکرد دانه بالنگوی شهری مشاهده شده است. شهبازی و همکاران (Shahbazi *et al.*, 2012) بررسی سه توده بومی بالنگوی شهری گزارش کردند که عملکرد دانه بیشترین همبستگی مثبت و معنی‌داری با صفات زیست‌توده، تعداد دانه در بوته و ارتفاع بوته دارند که با یافته‌های حاضر مطابقت بالایی دارد.

تجزیه رگرسیون گام‌به‌گام عملکرد دانه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس رگرسیون چندگانه برای عملکرد دانه به روش رگرسیون گام‌به‌گام جهت تشخیص صفات مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه در جدول ۶ و ۷ آمده است. رگرسیون با ۴ درجه آزادی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. در این تجزیه متغیرهایی که تأثیر آن‌ها معنی‌دار بود و در معادله باقی ماندند، عبارت بودند از وزن هزاردانه و تعداد دانه در کپسول. ضریب تبیین تصحیح شده در مدل برازش یافته برابر با ۰/۹۴۹ بود که نشان از توجیه ۹۴/۹ درصد تغییرات موجود در عملکرد دانه به‌وسیله این صفات بود. اولین متغیر واردشده به مدل تعداد دانه در کپسول بود که به‌تنهایی ۰/۹۳۲ تغییرات را توجیه کرد. دومین متغیر وزن هزاردانه بود که ضریب تبیین مدل را به ۰/۹۴ رساند. درنهایت ضریب تبیین مدل با حضور کلیه متغیرهای واردشده به مدل به ۰/۹۴۹ رسید. آقای و همکاران (Aghaei-Gharachorlou *et al.*, 2013) براساس تفسیر رگرسیون خطی چندگانه گام‌به‌گام بیان نمودند، حداکثر تغییر در عملکرد دانه بالنگوی شهری به تغییرات ناشی از عملکرد بیولوژیکی مربوط بوده است. درنتیجه عملکرد بیولوژیکی می‌تواند برای گزینش در برنامه‌های اصلاحی با هدف بهبود عملکرد دانه بالنگوی شهری در شرایط نیمه‌خشک در نظر گرفته شود. در بررسی سه توده بومی بالنگوی شهری، صفات درصد سبز و ارتفاع بوته به مدل رگرسیونی گام‌به‌گام وارد شده و ۷۴/۶ درصد از کل تغییرات عملکرد دانه را توجیه کردند (Shahbazi *et al.*, 2012).

عملکرد گیاهان زراعی هستند. با کاهش تراکم، بوته‌ها از فضای بیشتری برخوردار بوده و عملکرد بذر تک گیاه نیز افزایش پیدا می‌کند، ولی در تراکم کم به دلیل کاهش تعداد بوته در واحد سطح عملکرد بذر در هکتار با محدودیت مواجه می‌شود. کشت با تراکم بالاتر کاهش عملکرد بذر تک بوته را جبران می‌کند. با افزایش تراکم، عملکرد افزایش می‌یابد، زیرا در تراکم پایین عملکرد دانه به دلیل تابش مستقیم نور خورشید و از دست رفتن رطوبت ناشی از تبخیر از سطح خاک کاهش می‌یابد و گیاه در مرحله پرشدن غلاف‌ها با تنش رطوبتی و گرما مواجه می‌شود، ولی در تراکم‌های بالا و در حد مطلوب به‌خاطر ایجاد یک سایه‌انداز مناسب گیاهی بر روی سطح خاک، کارایی مصرف آب بالا رفته و نور خورشید مستقیماً بر سطح خاک نمی‌تابد که این امر باعث می‌گردد رطوبت، مورد استفاده گیاه قرار گرفته و سبب افزایش دانه می‌گردد.

زیست‌توده در واحد سطح

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که بین تیمارها از لحاظ زیست‌توده در واحد سطح در سطح احتمال یک درصد اختلاف معنی‌داری وجود داشت (جدول ۳). به طوری که توده بومی تبریز ۴ با میانگین ۴۵۸/۱ گرم در مترمربع بیشترین زیست‌توده را دارا بود و در رتبه‌بندی توده بومی تبریز ۳ و توده بومی کلوانق ۱۵ واقع شدند (جدول ۴). اکوتیپ‌هایی که زیست‌توده بالایی داشتند از عملکرد دانه بالایی نیز برخوردار بودند. در عین حال وجود چنین تطابقی منطقی به نظر می‌رسد، زیرا زیست‌توده از مجموع عملکرد دانه و عملکرد کاه تشکیل شده است. زیست‌توده عبارت است از عملکرد کاه و کلش و دانه که به‌عنوان یکی از اجزای مهم عملکرد در گیاهان زراعی محسوب می‌شود، به‌عبارتی زیست‌توده کل قسمت‌های هوایی گیاه را شامل می‌شود و خود به‌عنوان عامل اصلی در محاسبه شاخص برداشت به‌شمار می‌رود. در تحقیق عبدلی (Abdoli, 2017) بیشترین زیست‌توده در واحد سطح متعلق به اکوتیپ توده بومی کلوانق ۵ بود و کمترین آن نیز در اکوتیپ توده بومی روستای ارلان مرن دیده شد.

همبستگی بین صفات مورد ارزیابی

عملکرد دانه در واحد سطح همبستگی مثبت و معنی‌داری با ارتفاع بوته و عملکرد دانه در تک بوته در سطح احتمال یک درصد و با تعداد دانه در کپسول در سطح احتمال ۵ درصد همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت. همبستگی سایر صفات مورد ارزیابی با عملکرد دانه معنی‌دار نبود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود اجزای اصلی عملکرد دانه در بالنگوی شهری (تعداد دانه در کپسول و وزن هزاردانه) همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد دانه داشتند. از بین صفات مذکور، زیست‌توده در واحد سطح و ارتفاع بوته به‌ترتیب با ضریب همبستگی

جدول ۵- همبستگی بین صفات مورد ارزیابی
Table 5- Correlation between evaluated traits

صفات Traits	ارتفاع بوته Plant height	عملکرد دانه در تک بوته Seed yield per plant	تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	وزن هزاردانه 1,000 grain weight	زیست‌توده در واحد سطح Biomass per unit area	عملکرد دانه در واحد سطح Grain yield per unit area
ارتفاع بوته (Plant height)	1					
عملکرد دانه در تک بوته (Seed yield per plant)	.634**	1				
تعداد دانه در کپسول (Number of seeds per capsule)	.287*	.51	1			
وزن هزاردانه (1,000 grain weight)	.428**	.46**	.473**	1		
زیست‌توده در واحد سطح (Biomass per unit area)	.594**	.44**	.372**	.421**	1	
عملکرد دانه در واحد سطح (Grain yield per unit area)	.562**	.349*	.357*	.339*	.823**	1

جدول ۶- تجزیه واریانس مربوط به رگرسیون چندگانه به روش گام به گام برای عملکرد دانه

Table 6- Variance analysis related to stepwise multiple regression for seed yield

منابع تغییرات (Sources of variation)	درجه آزادی (d.f)	میانگین مربعات (Mean square)
رگرسیون (Regression)	3	1.728**
انحراف از رگرسیون (Deviation from regression)	142	0.003
کل (Total)	146	
ضریب تبیین تصحیح‌نشده (Uncorrected coefficient of explanation)	-	0.951
ضریب تبیین تصحیح‌شده (Corrected coefficient of explanation)	-	0.949

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

Significant at the 1% probability level **

جدول ۷- ضرایب رگرسیون عملکرد دانه (متغیر وابسته) با سایر صفات باقی‌مانده در مدل رگرسیون چندگانه

Table 7- Regression coefficients of grain yield (dependent variable) with other traits remaining in the multiple regression model

متغیر وابسته Dependent variable	ضریب تبیین تصحیح‌شده Corrected coefficient of explanation	ضریب رگرسیون استاندارد شده (Standardized regression coefficient)			
		تعداد دانه در کپسول Number of seeds per capsule	قطر ساقه Diameter of the stem	وزن هزاردانه Weight of thousand grains	تعداد دانه در بوته Number of seeds per plant
عملکرد دانه (Grain yield)	0.949	-0.063	0.08	0.12	0.94
ضریب تبیین تجمعی (Cumulative coefficient of explanation)		0.949	0.946	0.94	0.932

در دو گروه قرار گرفتند (شکل ۱). برای نشان دادن ارزش هر یک از خوشه‌ها از لحاظ صفات مورد ارزیابی، درصد انحراف میانگین هر یک از خوشه‌ها از لحاظ صفات مورد ارزیابی، درصد انحراف میانگین هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد. خوشه اول شامل اکوتیپ‌های ۱، ۲، ۴، ۷، ۸، ۱۱، ۱۵، ۲۱، ۲۷، ۲۹، ۳۳، ۳۸، ۴۲، ۴۳، ۴۷، ۴۹ بود. درصد انحراف از میانگین این خوشه تنها برای صفت تعداد دانه در

تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های مورد بررسی بر اساس کلیه صفات مورد ارزیابی

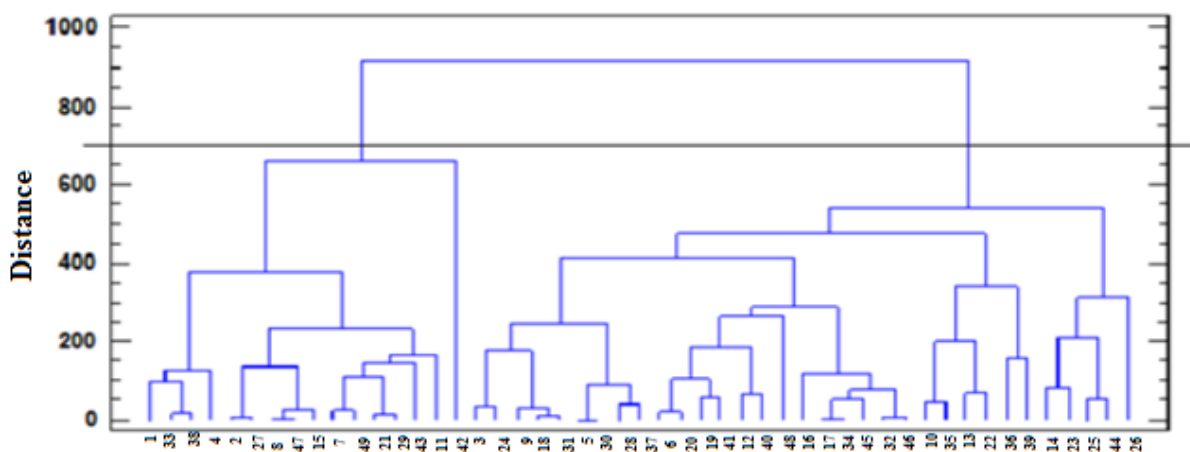
اکوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس کلیه صفات با استفاده از میانگین داده‌های استاندارد شده و به وسیله روش ward گروه‌بندی شدند (جدول ۸). بر اساس نتایج این تجزیه و همچنین باتوجه به محل بیشترین فاصله ادغام، برش انجام شد و ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری

۳۷، ۴۰، ۴۱، ۴۴، ۴۵، ۴۶، ۴۸ را شامل شد. درصد انحراف از میانگین این خوشه برای اکثر صفات از جمله عملکرد دانه و زیست‌توده مثبت بود. بنابراین گروه دوم را می‌توان در برنامه‌های اصلاح این گیاه مورد استفاده قرار داد.

کپسول مثبت بود. اکوتیپ‌های این گروه به‌غیر از تعداد دانه در کپسول در بقیه پایین‌ترین ارزش را از میانگین کل اکوتیپ‌ها داشتند. خوشه دوم اکوتیپ‌های ۳، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۶، ۱۷، ۱۸، ۱۹، ۲۰، ۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵، ۲۶، ۲۸، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۴، ۳۵، ۳۶، ۳۹

جدول ۸- تجزیه تابع تشخیص برای تعیین برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش ward و بر اساس میانگین کلیه صفات
Table 8- Analysis of the detection function to determine the cut of the dendrogram resulting from the cluster analysis using the ward method and based on the average of all traits

گروه (Group)	سطح احتمال (Probability level)	Wilks lambda	Chi-square
2	5.78×10^{-5}	0.263	50.763
3	0.00114	0.341	40.385
4	0.142	0.551	22.027
5	0.373	0.643	16.141
6	0.423	0.671	14.367



شکل ۱- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش ward و بر اساس میانگین کلیه صفات
Figure 1- Dendrogram resulting from cluster analysis using the ward method and based on the average of all traits

گروه برای کلیه صفات به‌غیر از تعداد دانه در کپسول منفی بوده و نسبت به خوشه دوم و سوم میانگین پایین‌تری داشت. خوشه دوم شامل ۲۵ اکوتیپ بود که درصد انحراف از میانگین کل در این گروه برای دو صفت عملکرد دانه و تعداد دانه در کپسول مثبت بود. خوشه سوم ۱۸ اکوتیپ را شامل شد که در این گروه برای صفت وزن هزاردانه ارزش بالاتری از میانگین کل مشاهده شد و درصد انحراف از میانگین کل برای صفات عملکرد دانه و تعداد دانه در کپسول منفی بود. در بررسی عبدلی (Abdoli, 2017) به‌منظور گروه‌بندی ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری با استفاده از تجزیه خوشه‌ای و براساس عملکرد دانه ۲ گروه حاصل گردید که گروه اول شامل ۲۸ اکوتیپ و گروه دوم شامل ۲۱ اکوتیپ بودند.

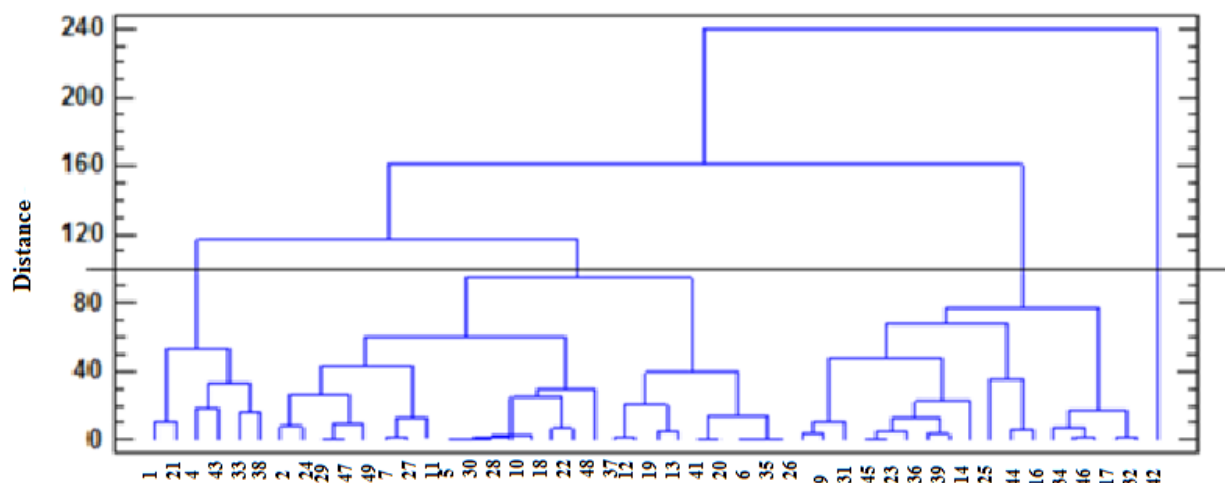
تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد دانه و صفات مرتبط با آن بر اساس رگرسیون گام‌به‌گام

نتایج گروه‌بندی اکوتیپ‌های مورد مطالعه بر اساس عملکرد و صفات مرتبط با عملکرد که در تجزیه رگرسیون معنی‌دار شدند، به‌وسیله روش ward در شکل دیده می‌شود (شکل ۲). جدول ۹ نیز اطلاعات مربوط به تجزیه تابع تشخیص را برای تعیین محل برش دندروگرام نشان می‌دهد. بر اساس نتایج حاصل ۴۹ اکوتیپ بالنگوی شهری در سه گروه قرار گرفتند. برای نشان دادن ارزش هر یک از خوشه‌ها از لحاظ صفات مورد ارزیابی، درصد انحراف از میانگین هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل محاسبه شد. خوشه اول شامل اکوتیپ‌های ۴، ۱، ۲۱، ۳۳، ۳۸ و ۴۳ بود. درصد انحراف از میانگین کل در این

جدول ۹- تجزیه تابع تشخیص برای تعیین برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد و صفات مرتبط

Table 9- Breakdown of the detection function to determine the cut of the dendrogram resulting from the cluster analysis based on performance and related traits

گروه (Group)	سطح احتمال (Probability level)	Wilks lambda	Chi-square
2	7.14×10^{-11}	0.262	59.013
3	9.6×10^{-7}	0.438	35.96
4	0.373	0.906	4.254
5	0.304	0.918	3.631



شکل ۲- دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس عملکرد و صفات مرتبط

Figure 2- Dendrogram resulting from cluster analysis based on performance and related traits

گزینش بر اساس مؤلفه اول منجر به گزینش اکوتیپ‌هایی با عملکرد بالا خواهد شد.

نتیجه‌گیری

با در نظر گرفتن بحران دریاچه ارومیه و کمبود آب، اکثر مناطق به‌ویژه منطقه آذربایجان، گیاه دارویی بالنگوی شهری جزو معدود گیاهانی به‌شمار می‌رود که قابلیت قرارگیری در تناوب بهاره در اکثر مناطق کشت دیم و آبی را دارد و در بهبود وضعیت بیلان آبی دریاچه و زراعت‌های منطقه نقش مثبتی می‌تواند ایفا کند. بنابراین اکوتیپ‌های توده بومی تبریز ۳، توده بومی کلوانق ۱۰ و توده بومی تبریز ۴ که عملکرد دانه بیشتری داشتند و در اکثر صفات مرتبط با عملکرد برتر بودند می‌توان به‌عنوان مناسب‌ترین اکوتیپ‌های بالنگوی شهری برای استفاده در شرایط آب و هوایی منطقه برای کشت‌های بعدی به کشاورزان توصیه کرد.

سپاسگزاری

از همه همکاران مستقر در ایستگاه تحقیقاتی کشاورزی دانشکده کشاورزی تشکر و قدردانی می‌شود.

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

تجزیه به مؤلفه‌ها یکی از روش‌های آماری مؤثر در کاهش تعداد زیادی متغیرهای هم بسته به تعداد کمی از عوامل اصلی فرضی می‌باشد. تجزیه به مؤلفه‌ها به‌طور مؤثری برای درک روابط و ساختار اجزای عملکرد و صفات مورفولوژیکی گیاهان زراعی به‌کار گرفته شده است. با توجه به وجود تنوع میان اکوتیپ‌های مورد بررسی، برای تعیین نقش هریک از صفات در تنوع موجود تجزیه به مؤلفه‌های اصلی انجام شد که نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در ۴۹ اکوتیپ مورد ارزیابی، بر اساس صفات مورد مطالعه و بر مبنای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک در جدول ۱۰ آمده است. حدود ۸۰/۴۴ درصد از تغییرات کل، توسط چهار مؤلفه اصلی اول توجیه شد. بر اساس نتایج، مؤلفه اول بیشترین میزان تغییرات داده‌ها را دربرگرفت و دارای ضریب مثبت و بالا برای زیست‌توده و عملکرد دانه در تک بوته بود. بنابراین این مؤلفه را می‌توان به‌عنوان مؤلفه مؤثر بر عملکرد دانه و صفاتی که بالاترین همبستگی را با عملکرد داشتند در نظر گرفت. مؤلفه دوم ۱۵/۱۹ درصد از تغییرات را تبیین کرد که دارای ضرایب بالا برای تعداد دانه در کپسول بود. مؤلفه سوم که حدود ۱۰/۳۲ درصد از تغییرات را تبیین نمود، دارای ضرایب منفی بالا برای عملکرد دانه تک بوته بود. در نتیجه می‌توان گفت که در شرایط این آزمایش

جدول ۱۰- بردارهای ویژه مؤلفه‌های اصلی برای صفات مورد مطالعه
Table 10- Special vectors of the main components for the studied traits

صفات Traits	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه سوم Third component	مؤلفه چهارم Fourth component
ارتفاع بوته (Plant height)	0.741	0.338	0.006	-0.038
عملکرد دانه تک بوته (Single plant seed yield)	0.887	0.174	-0.178	0.281
تعداد دانه در کپسول (Number of seeds per capsule)	0.218	0.546	0.492	0.432
وزن هزاردانه (1,000 grain weight)	0.49	0.214	0.36	0.432
زیست‌توده در واحد سطح (Biomass per unit area)	0.718	0.445	0.302	-0.34
عملکرد دانه در واحد سطح (Grain yield per unit area)	0.637	0.451	0.389	-0.184

References

- Abdoli, S. (2017). Comparison of yield and some qualitative and quantitative characters of common ecotypes of *Lallemantia* (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey). Master's thesis in the field of agriculture, Faculty of Agriculture, University of Tabriz. Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract).
- Abdollahi, M., & Maleki Farahani, S. (2015). The effect of watering pattern on growth, yield and yield components in two species of Dragon's Head (*Lallemanti royleana* & *Lallemanti iberica*) of Mashhad and Urmia region. *Iran Agricultural Research*, 12(3), 502-515. (in Persian with English abstract).
- Aghaei-Gharachorlou, P., Nasrollahzadeh, S., & Shafagh-Kolvanagh, J. (2013). Effect of different irrigation treatments and plant density on yield and yield components of Dragon's head (*Lallemantia iberica* Fish. et Mey.). *International Journal of Biological Sciences*, 3(8), 144-149. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.12692/ijb/3.8.144-149>
- Akbarpour, A., Kavooosi, B., HosseiniFarahi, M., Tahmasebi, S., & Gholipour, S. (2021). Evaluation of yield and phytochemical content of different Iranian garlic (*Allium sativum* L.) ecotypes. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 8(4), 385-400. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2020.303657.373>
- Fakhar, F., Biabani, A., Zarei, M., & Moghadam, A. N. (2019). Effects of cultivar and planting spacing on yield and yield components of garlic (*Allium sativum* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 14(2), 108-113. <https://doi.org/10.4081/ija.2019.1303>
- Koocheki, A. R., Bakhshaei, S., Tabraei, A., & Jafari, L. (2012). Evaluation of the effect of plant density and cultivation patterns on the quantitative and qualitative characteristics of the medicinal plant Balango (*Lallemantia royleana* Benth.). *Journal of Agroecology*, 6(2), 229-237. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v6i2.39365>
- Moslemi, E., Akbarian, M. M., Ravari, S. Z., Yavarzadeh, M. R., & Modafeh-Behzadi, N. (2023). Investigation of the effect of drought stress on yield and yield components of cumin (*Cuminum cyminum* L.) ecotypes in climatic conditions of Kerman Province. *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 10(4). <https://doi.org/10.30495/ejmp.2022.1958000.1690>
- Nezamivand Chegini, R., Benakashani, F., Alahdadi, I., & Soltani, E. (2021). Quantification of salinity stress and drought effects on fourteen ecotypes of black caraway (*Nigella sativa* L.) medicinal plant. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(1), 211-220. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22077/escs.2020.2653.1688>
- Nosrati, H., Diyanat, M., Rafiee, M., & Hasanpour, J. (2022). Yield and components of yield reactions of Dragon's head (*Lallemantia iberica* L.) landraces to different tillage systems in rainfed conditions. *Applied Field Crops Research*, 34(4), 118-98. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/aj.2022.355803.1563>
- Rashidzadeh, H., Mosavi, F. S., Shafiee, T., Adyani, S. M., Eghlima, G., Sanikhani, M., & Ramazani, A. (2023). Anti-Plasmodial effects of different ecotypes of *Glycyrrhiza glabra* traditionally used for malaria in Iran. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 33(2), 310-315. <https://doi.org/10.1007/s43450-022-00353-8>
- Rashvand, S., Jafari, A., & Fakhr-Vaezi, A. (2021). Evaluation of seed yield in some ecotypes of three *Lallemantia* species. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, 37(2), 278-289. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2021.343024.2796>
- 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. (in Persian). <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2013.2900>
- Samadi, S., Khaiyamiand, M., & Hasanzadeh-Goorut Tappe, A. (2007). A comparison of important physical and

- chemical characteristics of six *Lallemantia iberica* (Bieb.) Fish. et Mey. *Pakistan Journal of Nutrition*, 6, 387-390. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.3923/pjn.2007.387.390>
14. Shafagh Kolvanagh, J., Azadmard Taleshmikaeel, A., Raei Salmasi, Y., Zehtab Salmasi, S., Azadmard Damirchi, S., & Dastborhan, S. (2018). Evaluation of Morphological Traits, Yield Components and Essential Oil Content of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fischer & C.A. Meyer) under Weed Interference Periods. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28, 135-150. (in Persian with English abstract).
 15. Shafagh-Kolvanagh, J., Dehghanian, H., Mohammadi-Nassab, A. D., Moghaddam, M., Raei, Y., Salmasi, S. Z., & Gholizadeh-Khajeh, B. (2022). Machine learning-assisted analysis for agronomic dataset of 49 Balangu (*Lallemantia iberica* L.) ecotypes from different regions of Iran. *Scientific Report*, 12(1), 19237. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-23335-1>
 16. Shahbazi, S., Alizadeh, K., & Fathirezaie, V. (2012). Study on planting possibility of Dragon's head (*Lallemantia iberica* F. & C. M.) landraces in cold rainfed conditions. *Iranian Dryland Agronomy Journal*, 1(2), 82-95. <https://doi.org/10.22092/idaj.2013.100159>
 17. Shaltouki, M., Nazeri, V., Shokrpour, M., Tabrizi, L., & Aghaei, F. (2021). Phenotypic and genotypic assessment of some Iranian *Ziziphora clinopodioides* Lam. Ecotypes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 23(3), 645-660. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.16807073.2021.23.3.4.1>
 18. Sirus Mehr, A. R., Shakiba, M. R., Alyari, H., Tourchi, M., & Dabbagh Mohammadi Nasab, A. (2008). Effect of drought stress and density on yield and some morphological characteristics of autumn safflower cultivars. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*, 78, 80-87.

Evaluation of Yield, Yield Components, and Forage Quality in the Intercropping of Kochia (*Kochia scoparia* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata*)

E. Mish Mast¹, M. Dahmardeh^{2*}, M. Galavi³, I. Khammari²

1- M.Sc. Graduated Student of Agroecology, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran

2- Associate Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran

3- Professor, Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran

(*- Corresponding Author Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

Received: 30 December 2023
Revised: 13 March 2024
Accepted: 18 March 2024
Available Online: 15 May 2024

How to cite this article:

Mish Mast, E., Dahmardeh, M., Galavi, M., & Khammari, I. (2024). Evaluation of Yield, Yield Components, and Forage Quality in the Intercropping of Kochia (*Kochia scoparia* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata*). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 22(2), 227-242. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86148.1292>

Introduction

The agricultural systems are facing numerous challenges in maintaining and providing food security. Achieving this goal, considering the growing global population is possible through the application of sustainable agricultural principles to increase crop yield and reduce environmental costs. The widespread use of chemical inputs, particularly nitrogen fertilizers, by farmers globally to enhance yields has resulted in numerous environmental hazards, including soil and groundwater pollution. Intercropping systems emerge as a viable strategy to augment yield, curtail reliance on chemical fertilizers, and safeguard the environment. Enhancing the yield and quality of forage has become a paramount concern in the agricultural sector in recent times. Various approaches exist to achieve this objective, among which intercropping cereals and legumes stands out as a promising solution. One of the most sustainable farming methods in saline and arid lands is drying livestock products using salt-tolerant plants, which can also be beneficial for farmers.

Materials and Methods

This experiment was conducted at the Agricultural Research Institute of Zabol University using a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments include different patterns of intercropping kochia and cowpea, namely: 100% Kochia (K100), 50% kochia: 50% cowpea (K50:C50), 75% kochia: 25% cowpea (K75:C25), 25% kochia: 75% cowpea (K25:C75), 100% kochia: 50% cowpea (K100:C50), 50% kochia: 100% cowpea (K50:C100), 100% kochia:100% cowpea (K100:C100), and 100% cowpea (C100). Dry forage yield, yield components, percentage of crude protein (CP), ash, acid detergent fiber (ADF), and dry matter digestibility (DMD) were measured in Kochia plants. Additionally, in cowpea, economic and biological yield, the number of pods per plant, and the 1000-grain weight were measured. To assess the profitability of intercropping, the land equivalent ratio (LER) was utilized.

Results and Discussion

According to the obtained results, the planting pattern had a significant effect on the yield of kochia and cowpea, as well as the morphological characteristics of cowpea, including height, lateral branch, stem weight, and leaf weight. Additionally, the planting pattern had a significant effect on the quality parameters of forage, including the percentage of protein, ash, ADF, and DMD of Kochia. The highest yield was obtained for kochia (22,788 kg.ha⁻¹) in the cropping pattern of K100:C100, and for cowpea (3590.3 kg.ha⁻¹) in pure cowpea. The



©2024 The author(s). This is an open access article distributed under [Creative Commons Attribution 4.0 International License \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source.

<https://doi.org/10.22067/jcesc.2024.86148.1292>

highest percentages of protein (19.90) and ash (14.83) were achieved in the additive intercropping pattern of K100:C100. It also achieved the highest and lowest percentage of DMD (41%) and, ADF (41.30%), respectively, in the pattern of K100:C50. The research results indicated that the highest LER (1.80) was achieved from the treatment of K50:C50.

Conclusion

The yield and quality of forage in dry areas have significant importance, considering the prevailing climatic conditions. Therefore, intercropping is considered a practical solution to achieve the mentioned goals. or Despite the numerous benefits of intercropping, the selection of compatible forage and companion plants that are suitable for specific regional conditions, combined with the design of an appropriate cropping pattern, can greatly enhance the yield and efficiency of this cultivation system. According to the results, intercropping demonstrates higher forage quality compared to the sole crop of Kochia. High-quality forage has higher percentages of CP, ash, and DMD while having lower levels of ADF. Based on these findings, the additive patterns K100:C100 and K100:C50 are recommended. The research results indicate an increase in the quantitative and qualitative characteristics of both kochia and cowpea in intercropping. The LER in all replacement patterns was greater than one, indicating an increase in land efficiency compared to the sole crop. As a result, the natural potential of Kochia, a salt-tolerant plant, can be used as a suitable strategy for using saline soil and water resources and feeding livestock in the Zabol region.

Keywords: Ash, Crude protein, Dry mater digestibility, Land equivalent ratio

بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط کوشیا (*Kochia scoparia* L.) و لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*)

اسماعیل میش مست^۱، مهدی دهمرده^{۲*}، محمد گلوی^۳، عیسی خمیری^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۲۸

چکیده

کاهش کمی و کیفی منابع آب همراه با شوری خاک یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مناطق خشک است و تولید گیاهان شورزیست تحت این شرایط جهت تغذیه دام از پایدارترین روش‌های حفاظت از این مناطق محسوب می‌شود. به‌منظور ارزیابی عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی آزمایشی به‌صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه آموزشی-پژوهشی دانشگاه زابل اجرا شد. الگوهای جایگزینی و افزایشی کشت مخلوط (۱۰۰ درصد کوشیا (K100)، ۵۰ درصد کوشیا: ۵۰ درصد لوبیا (K50:C50)، ۲۵ درصد کوشیا: ۷۵ درصد لوبیا (K25:C75)، ۷۵ درصد کوشیا: ۲۵ درصد لوبیا (K75:C25)، ۱۰۰ درصد کوشیا: ۱۰۰ درصد لوبیا (K100:C100)، ۵۰ درصد کوشیا: ۱۰۰ درصد لوبیا (K50:C100)، ۱۰۰ درصد کوشیا: ۱۰۰ درصد لوبیا (K100:C50)، ۱۰۰ درصد لوبیا (100C)) تیمارهای این آزمایش بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد کوشیا ($22788 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) مربوط به تیمار 100C:100K و بیشترین عملکرد اقتصادی لوبیا چشم‌بلبلی ($3590/3 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) مربوط به تک‌کشتی لوبیا بود. برای کوشیا بیشترین درصد پروتئین خام (۱۹/۹۰ درصد) و خاکستر (۱۴/۸۳ درصد) از تیمار K100:C100 به‌دست آمد. در رابطه با خصوصیات مورفولوژیکی لوبیا چشم‌بلبلی بیشترین میزان عملکرد و اجزای عملکرد مربوط به تک‌کشتی لوبیا بود. بیشترین نسبت برابری زمین (۱/۸۰) از تیمار K50: C50 به‌دست آمد. افزایش عملکرد، پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک علوفه کوشیا حاکی از برتری الگوهای افزایشی کشت مخلوط در مقایسه با الگوهای جایگزینی و تک‌کشتی کوشیا بود. از این رو می‌توان گفت که کیفیت علوفه کوشیا در کشت مخلوط با لوبیا چشم‌بلبلی بهبود یافته است.

واژه‌های کلیدی: پروتئین خام، خاکستر، قابلیت هضم ماده خشک، نسبت برابری زمین

مقدمه

به‌ویژه کودهای نیتروژن توسط کشاورزان در سراسر جهان جهت افزایش عملکرد منجر به خطرات زیست‌محیطی متعدد از جمله آلودگی منابع خاک و آب‌های زیرزمینی شده است. از این‌رو لزوم استفاده از سایر شیوه‌های کشاورزی که ضمن افزایش خدمات زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری، استراتژی‌های سازگار جهت مبارزه با اثرات منفی تغییرات اقلیم را نیز داشته باشند، بیش از پیش احساس می‌شود. در همین راستا سیستم‌های کشت مخلوط را می‌توان به‌عنوان یکی از استراتژی‌های سازگار در جهت افزایش عملکرد، کاهش استفاده از کودهای شیمیایی و حفاظت از محیط‌زیست نام برد (BenYoussef et al., 2019). از جمله مزایای عمده کشت مخلوط می‌توان به تثبیت بیولوژیکی نیتروژن و کاهش آبتیوی مواد مغذی و در نتیجه کاهش انرژی و کودهای شیمیایی لازم، کاهش آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز، بهبود رشد و بازدهی محصولات، استفاده

امروزه سیستم‌های کشاورزی برای حفظ و تامین امنیت غذایی با چالش‌های متعددی مواجه هستند که با توجه به رشد روزافزون جمعیت جهان دستیابی به این هدف با کاربرد اصول کشاورزی پایدار از طریق افزایش عملکرد محصول و کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی امکان‌پذیر است (Mortada, Abou Najm, Yassine, El Fadel, Alamiddine, 2018).

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آگروکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۲- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

۳- استاد، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

*- نویسنده مسئول: (Email: dr.dahmardeh@uoz.ac.ir)

انجام شده کیفیت علوفه کوشیا از لحاظ ترکیبات شیمیایی، میزان پروتئین خام و قابلیت هضم قابل مقایسه با یونجه گزارش شده است (Sherrod, 1971 & 1973; Riasi, Mesgaran, Stern, & Moreno, 2008; Kafi, Asadi & Ganjali, 2010; Valizdeh, Mahmoudi-Abyane & Ganjavi, 2016).

هدف از کشت مخلوط به‌ویژه مخلوط گیاهان علوفه‌ای، افزایش عملکرد در واحد سطح و کیفیت محصول می‌باشد. پتانسیل طبیعی گیاه متحمل به شوری کوشیا در کنار بقولات در کشت مخلوط می‌تواند به‌عنوان استراتژی مناسب در کاهش بحران شوری در حال افزایش مورد استفاده قرار گیرد (Ghafarian, Yadavi, Dabbagh, Mohammadi Nasab, Salehi, & Movahedi Dehnavi, 2021). کردالی (Kurdali, 2010) بیان نمود که کشت مخلوط گیاه شورزی و علوفه‌ای آتریپلکس (*Atriplex Spp*) و یونجه درختی (*Cytisus proliferus*)، یک سیستم کشاورزی شورزیست ایجاد کرد که ضمن استفاده از خاک‌های شور دارای مزایایی همچون افزایش عملکرد علوفه و تثبیت بیولوژیکی نیتروژن بود. در کشت مخلوط کوشیا (*Kochia scoparia*)، سببانی (*Sesbania aculeate*) و گوار (*Cyamopsis tetragonoloba*) اختلاف در ارتفاع و فرم بوته سه گونه با افزایش جذب تشعشع خورشیدی و فتوسنتز موجب افزایش عملکرد علوفه در کشت مخلوط گردید. بررسی رفتار رقابتی گونه‌ها نیز نشان داد که کوشیا در کشت مخلوط با گوار و همچنین ترکیب سه گونه قدرت رقابت بیشتری داشت. در نتیجه اظهار داشتند که کشت مخلوط این سه گونه در مناطقی با آب شور علاوه بر ایجاد تنوع در اکوسیستم و ایجاد پایداری تولید موجب افزایش درآمد اقتصادی کشاورزان می‌گردد (Ghafarian et al., 2021).

تامین علوفه با کیفیت برای دام‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری بوده و تاکنون مطالعه‌ای برای بررسی عملکرد علوفه کوشیا در کشت مخلوط انجام نگردیده است. این مطالعه جهت ارزیابی سودمندی کشت مخلوط و تاثیر آن بر عملکرد و کیفیت علوفه کوشیا در شرایط آب و هوایی زابل انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در پژوهشکده کشاورزی دانشگاه زابل (چاه نیمه) به‌صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل الگوهای مختلف کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی (۱۰۰ درصد کوشیا (K100)، ۵۰ درصد کوشیا: ۵۰ درصد لوبیا (K50:C50)، ۲۵ درصد کوشیا: ۷۵ درصد لوبیا (K25:C75)، ۷۵ درصد کوشیا: ۲۵ درصد لوبیا (K75:C25)، ۱۰۰ درصد کوشیا: ۱۰۰ درصد لوبیا (K100:C100)، ۵۰ درصد کوشیا: ۱۰۰ درصد لوبیا (K50:C100)، ۱۰۰ درصد کوشیا: ۵۰ درصد لوبیا (K100:C50)، ۱۰۰ درصد لوبیا (100C)) در سه تکرار

بهینه از منابع آب و تشعشع خورشیدی و افزایش کیفیت محصولات اشاره کرد (Tosti, Benincasa, Farneselli, Tei, & Guiducci, 2014; Tribouillois, Cruz, Cohan, & Justes, 2015; Klimek-Kopyra, Skowera, Zajac, & Kulig, 2017). جهت دستیابی به این مزایا، انتخاب گیاهان مناسب که فنولوژی و خصوصیات مرفولوژیک متفاوت داشته باشند به نحوی که کمترین رقابت بین گونه‌ای را در یک آشیانه اکولوژیک ثابت از نظر استفاده از منابع محیطی و زمان ایجاد کند، می‌تواند با استفاده بهینه از منابع محیطی عملکرد کل را در واحد سطح افزایش داده و تسهیل‌کننده شرایط رشد گیاهان در مجاور یکدیگر باشد (Abusuwar & Al-Solimani, 2013). بهبود عملکرد و کیفیت علوفه در چند سال اخیر به‌عنوان یکی از اولویت‌های بخش کشاورزی مطرح است. جهت دستیابی به این هدف راهکارهای متعددی وجود دارد که از جمله می‌توان به کشت مخلوط غلات و بقولات اشاره کرد (Belel, Halim, Rafii, & Saud, 2014).

در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، به‌خصوص در نواحی مرکزی و شرقی عمده‌ترین محدودیت کشاورزان، کمبود باران و منابع آب شیرین است. از این‌رو کشاورزان ناچار به استفاده از آب‌های نامتعارف و شور جهت دستیابی به تولید اقتصادی هستند، از طرفی کاربرد این منابع موجب تشدید شوری خاک شده و چالش‌های جدی برای تولید محصولات زراعی و دامی ایجاد خواهند کرد. در همین راستا کاشت گیاهان مقاوم به شوری جهت بهره‌برداری از منابع آب‌های شور ضروری می‌باشد (Guerrero-Rodriguez, 2006; Jami Al Ahmadi & Kafi, 2008; Kafi, Asadi & Ganjeali, 2010). تولید گیاهان شورزیست با استفاده از منابع آب و خاک شور برای تغذیه دام‌ها یکی از پایدارترین روش‌های حفاظت از زیست‌بوم‌های مناطق خشک جهت تولید غذا برای ساکنین این مناطق است. این گیاهان برای چرای دام و یا به‌عنوان بخشی از جیره دام نقش خوراک مکمل را در تغذیه دام داشته و به دلیل سازگاری با شرایط این زیست‌بوم‌ها می‌توانند سهم ویژه‌ای در تأمین خوراک دام‌ها داشته باشند (Kafi, Asadi & Ganjeali, 2010; Tawfik et al., 2013; Moosavifar, Khazaei & Kafi, 2019). کوشیا (*Kochia scoparia* L. گونه‌ای از همین شورزیست‌ها، علفی و از خانواده کنوپودیاسه^۱ است که از تنوع ژنتیکی بالایی برخوردار می‌باشد. رشد سریع، دامنه گسترش وسیع و مقاومت به خشکی این گیاه نشان‌دهنده پتانسیل بالای تولید علوفه به‌ویژه در مناطق خشک می‌باشد (Jami Al-Ahmadia & Kafi, 2008; Friesen, Beckie, Warwick, & Van Acker, 2009; Gul, Ansari, Aziz, & Khan, 2010). برای این گیاه عملکرد ۸-۲ تن ماده خشک در هکتار گزارش شده است. کوشیا از کیفیت علوفه مناسبی برخوردار است و در مطالعات

1- Chenopodiaceae

گیاه کاهش یافت. تراکم بوته در تک کشتی کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد (Jami Al-Ahmadi, 2005; Jamshidi, Mazaheri, Hosseini, Mashhadi, & Peyghambari, 2011). نمونه برداری از خاک محل آزمایش از عمق ۰-۳۰ سانتی متری انجام شد و نتایج نشان داد که خاک محل آزمایش دارای بافت لوم-شنی و pH برابر با ۷/۷ است. اطلاعات مربوط به ویژگی‌های خاک و آب محل آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

بودند. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی زابل میانگین دراز مدت ۳۰ ساله بارندگی ۶۳ میلی‌متر، میانگین دمای منطقه ۲۳ درجه سانتی‌گراد و میزان تبخیر سالیانه به‌طور متوسط ۴۵۰۰-۵۰۰۰ میلی‌متر می‌باشد. در این تحقیق از روش کشت مخلوط افزایشی و جایگزینی استفاده شد و به‌صورت افزایش و یا کاهش تراکم بر روی ردیف‌های کاشت بود. به این شکل که با افزایش نسبت کاشت هر گونه فاصله بین بوته‌ها روی ردیف بر مبنای فاصله تعیین‌شده در تک‌کشتی هر

جدول ۱- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the experiment soil

بافت خاک Soil texture	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	اسیدیته خاک pH	فسفر قابل‌دسترس Available P (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل‌دسترس Available K (mg.kg ⁻¹)	نیترژن کل Total nitrogen (%)	کربن آلی OC (%)
لوم-شنی (Sandy loam)	1.8	7.70	11.30	241	0.06	0.70

جدول ۲- ویژگی‌های شیمیایی آب

Table 3- Chemical properties of water

اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS.m ⁻¹)	جامدات محلول در آب TDS (meq.lit ⁻¹)	نسبت سدیم محلول SSP (%)	نسبت جذب سدیم SAR	سختی کل Water hardness (meq.lit ⁻¹)	سولفات Sulphate (meq.lit ⁻¹)
8	3760	8334	108.16	27.68	2755	28.25

برگ‌ها در بوته و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای یک مترمربع از هر کرت برداشت شد سپس مساحت برداشت‌شده و بذره‌های هر کرت توزین و به هکتار تعمیم داده شد.

پس از رسیدن کوشیا به ارتفاع نهایی و مرحله رسیدگی فیزیولوژیک، قبل از برداشت نهایی با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پنج بوته از هر کرت را به‌طور تصادفی انتخاب کرده و ارتفاع ساقه اصلی، تعداد شاخه‌های جانبی، وزن خشک ساقه و وزن خشک برگ در بوته اندازه‌گیری شد. برداشت علوفه کوشیا در اواخر تیرماه در مرحله گرده‌افشانی که گیاه دارای نسبت مناسبی از برگ و ساقه است و هنوز ساقه خشبی نشده بود (ابتدای مرحله گلدهی) انجام شد. همچنین برای اندازه‌گیری عملکرد علوفه خشک یک مترمربع از هر کرت برداشت شد و پس از خشک شدن مساحت برداشت‌شده توزین و به هکتار تعمیم داده شد. در نمونه‌های برداشت‌شده برای کوشیا درصد پروتئین خام^۱ و خاکستر^۲، الیاف نامحلول در شوینده اسیدی^۳ و قابلیت هضم ماده خشک^۴ نیز اندازه‌گیری و محاسبه شد. میزان خاکستر با سوزاندن نمونه‌ها در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱۲ ساعت در کوره و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی با استفاده از دستگاه

جهت انجام عملیات آماده‌سازی، ابتدا زمین با گاوآهن برگردان‌دار شخم و سپس دیسک زده شد. بستر کاشت به‌صورت جوی و پشته آماده و فاصله بین ردیف‌های کشت ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌طوری‌که با افزایش تراکم فاصله بین بوته‌ها کمتر گردید که بر اساس افزایش در ردیف در هر تیمار این فاصله متغیر بود. اندازه‌ی کرت‌ها ۲×۳ و فاصله بین کرت‌ها ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. ارقام مورد استفاده در این پژوهش شامل لوبیا چشم‌بلبلی (*Vigna unguiculata*) رقم محلی ماک که از توده محلی منطقه و کوشیا گونه اسکوپاریا که از مرکز تحقیقات کشاورزی زهک تهیه شد. بذره‌های دو گیاه در اوایل فروردین ماه کشت شدند. بر اساس نتایج آزمون خاک ۱۴۰ کیلوگرم کود از منبع اوره به‌صورت سرک در سه مرحله به‌ترتیب همزمان با کاشت، یک‌سوم در مرحله رویشی و یک‌سوم قبل از گلدهی و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل قبل از کاشت و همراه با شخم به خاک اضافه شد. آبیاری (به‌صورت غرقابی) اول بلافاصله پس از کاشت انجام شد و فاصله آبیاری‌های بعدی بر اساس نیاز گیاه تنظیم شد. در طول فصل رشد علف‌های هرز در چند نوبت به‌صورت دستی وجین گردید.

با زرد شدن اولین برگ‌ها در بوته لوبیا چشم‌بلبلی و با در نظر گرفتن اثر حاشیه‌ای پنج بوته از هر کرت را به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد نیام در بوته و تعداد دانه در نیام را شمارش و میانگین هر کرت به‌عنوان نتیجه نهایی گزارش شد. در اوایل آبان ماه با زرد شدن اولین

- 1- Crude Protein
- 2- Ash
- 3- Acid Detergent Fiber
- 4- Dry Mater Digestibility

یکی از اجزای عملکرد می‌تواند محققان را در جهت افزایش میزان علوفه تولیدی در گیاهان علوفه‌ای یاری رساند. ارتفاع بوته به‌عنوان یک شاخص مهم در گیاهان علوفه‌ای جهت افزایش میزان تولید و برداشت مکانیزه همواره مورد توجه بوده است (Soleymani, Kafi, Ziaei, & Shabahang, 2008; Kafi, Nabati, Khaninejad, Masomi, & Zare, 2011). توانایی جذب بیشتر آب، مواد غذایی و به‌ویژه نور در کشت مخلوط عامل اصلی تعیین‌کننده کارایی رقابت است و در این میان ارتفاع یک صفت اصلی می‌باشد (Egbe, 2010). هدایتی‌فیروزآبادی و همکاران (Hedayati Firoozabadi, Kazemeini & Pirasteh Anoshe, 2017) گزارش کردند که در سامانه‌های کشت مخلوط، به‌ویژه در شوری متوسط و شدید، ارتفاع کوشیا از سورگوم (*Sorghum bicolor*) بیشتر بود که به دلیل سرعت رشد بالا و تحمل بیشتر کوشیا به شوری بود.

تعداد شاخه‌های جانبی

همان‌طور که در جدول ۲ نشان داده شده است اثر الگوهای کشت بر تعداد شاخه‌های جانبی کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین تعداد شاخه جانبی در مترمربع (۱۵۴۵/۱) مربوط به الگوی جایگزینی K25:C75 بود که منجر به افزایش ۵۱ درصدی نسبت به تک‌کشتی کوشیا شد (جدول ۳). افزایش تعداد شاخه‌های جانبی یک صفت بسیار مطلوب در گیاهان علوفه‌ای است. مقایسه الگوهای افزایشی و جایگزینی کشت مخلوط نشان داد که در الگوهای افزایشی تعداد شاخه جانبی کمتری نسبت به الگوهای جایگزینی وجود دارد. به‌نظر می‌رسد تراکم کمتر کوشیا در الگوهای جایگزینی شرایط مناسب جهت رشد عرضی و تولید شاخه‌های جانبی بیشتر در گیاه کوشیا را فراهم نموده است که به‌عنوان کاهش رقابت درون‌گونه‌ای در کشت مخلوط از اهمیت زیادی برخوردار است. افزایش تعداد شاخه جانبی در کوشیا می‌تواند به‌عنوان صفتی جهت افزایش درصد برگ و افزایش خوش‌خوراکی این علوفه مطرح باشد، زیرا این شاخه‌ها نسبت به ساقه اصلی در استحکام و نگهداری گیاه نقش کمتری داشته و از بافت‌های خشبی کمتری نیز برخوردارند. این گیاه قابلیت تولید تعداد زیادی شاخه جانبی روی ساقه اصلی را دارد به نحوی که تعداد زیاد این شاخه‌ها موجب ایجاد شکل مخروطی در ظاهر این گیاه می‌گردد (Nabati et al., 2012; Masoumi, Kafi, Nabati, & Zare Mehrjerdi, 2016).

وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه

نتایج نشان داد که اثر الگوهای کشت بر وزن خشک برگ و وزن خشک ساقه کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بر همین اساس بیشترین وزن خشک برگ (۳۷۹۲/۴) گرم در مترمربع و وزن خشک ساقه (۵۰۶۶/۷) گرم در مترمربع) مربوط به تیمار K100:C100 بود (جدول ۳). همچنین کمترین مقدار این دو صفت

فایبرگ (Gerhardt مدل EV1 ساخت کشور آلمان) و محلول شوینده اسیدی منطبق با روش ون‌سوست (Van Soest, 1994) اندازه‌گیری شد.

درصد پروتئین خام و قابلیت هضم ماده خشک با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$CP(\%) = 6.25 \times \%N \quad (1)$$

میزان نیتروژن نمونه‌ها با روش کج‌دال تعیین و میزان پروتئین خام با ضرب میزان نیتروژن در عدد ۶/۲۵ محاسبه شد (Lithorgidis et al., 2006).

درصد هضم‌پذیری ماده خشک بر مبنای درصد ADF و درصد N با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Oddy, Robards & Low, 1983).

$$DMD\% = 83.58 - 0.824 ADF\% + 2.262\%N \quad (2)$$

نسبت برابری زمین^۱ برای تیمارهای مخلوط بر اساس رابطه (۳) محاسبه شد (Banik, Midya, Sarkar, & Ghose, 2006).

$$LER = (Y_{ij}/Y_{ii}) + (Y_{ji}/Y_{jj}) \quad (3)$$

که در این رابطه Y_{ij} و Y_{ii} به ترتیب عملکرد علوفه خشک کوشیا و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در کشت خالص، Y_{ji} و Y_{jj} به ترتیب عملکرد علوفه خشک کوشیا و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط است. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. جهت مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

نتایج و بحث

عملکرد و اجزای عملکرد کوشیا

ارتفاع

بر اساس نتایج، اثر الگوهای مختلف کشت بر ارتفاع کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین ارتفاع بوته کوشیا در الگوی کشت K100:C100 (۱۰۰/۱۱ cm) مشاهده شد و متعاقباً کمترین ارتفاع بوته در کشت خالص کوشیا (۷۸/۳۳ cm) به‌دست آمد (جدول ۳). برتری ۲۷ درصدی ارتفاع گیاهان در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص به‌طور واضح بیانگر اثر مثبت کشت همزمان کوشیا و لوبیا در مقایسه با تک‌کشتی می‌باشد. کوشیا گیاهی است که بیشتر تمایل به رشد کپه‌ای و افزایش تعداد شاخه و برگ‌های جانبی دارد، اما با توجه به افزایش تراکم و محدودیت فضا در کشت مخلوط با لوبیا، به نظر می‌رسد که گیاه در جهت افزایش ارتفاع رشد کرده است به نحوی که می‌توان گفت در رقابت بین‌گونه‌ای گیاه غالب بوده است. با توجه به اهمیت علوفه در تغذیه دام‌ها، افزایش ارتفاع به‌عنوان

استفاده بهتری کرده و این عامل سبب افزایش وزن برگ و ساقه شده است. آینه‌بند و همکاران (Ayneband, Hosaini, & Farzaneh, 2020) در بررسی اثر نوع گیاهان علوفه‌ای و روش کشت بر کمیت و کیفیت علوفه در کشت مخلوط جو (*Hordeum vulgare*) + شبدر (*Trifolium Pratenes*) + شنبلبله (*Trigonella foenum*) گزارش کردند که بیشترین وزن خشک برگ و ساقه در روش کشت خطی و کمترین در روش کشت درهم به دست آمد چرا که در شرایط کشت درهم آرایش کانوبی مخلوط به گونه‌ای بوده که سایه‌اندازی گیاهان بر یکدیگر اثر منفی بر رشد و توسعه برگ‌ها داشته است. همچنین جو رقابت‌کننده قوی در مقایسه با سایر گیاهان علوفه‌ای بود و در روش کشت درهم به دلیل عدم وجود تراکم مناسب رقابت درون گونه‌ای تشدید و وزن خشک ساقه کاهش یافت.

مربوط به تک‌کشتی کوشیا بود. بررسی صفات کیفی علوفه کوشیا بیانگر این موضوع است که بیشترین مقدار پروتئین و خاکستر علوفه کوشیا مربوط به همین تیمار است. از این رو می‌توان گفت با توجه به ساختار کانوبی و ریشه کوشیا، این گیاه در جذب منابع محیطی نسبت به لوبیا چشم‌بلبلی موفق‌تر عمل کرده است که در تیمارهای افزایشی مخلوط انتخاب تراکم بیشتر منجر به افزایش وزن خشک برگ و ساقه در مقایسه با الگوهای جایگزینی و کشت خالص شده است. افزایش وزن همبستگی مثبتی با مقدار نور دریافت شده دارد (Koochaki et al., 2010). با توجه به بلندتر بودن ارتفاع و حجم کانوبی کوشیا در مقایسه با لوبیا چنین به نظر می‌رسد که رشد بوته‌های کوشیا عمدتاً تحت تاثیر رقابت درون گونه‌ای می‌باشد و در تیمار افزایشی، کوشیا در مقایسه با لوبیا چشم‌بلبلی از شرایط محیطی

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد کوشیا در الگوهای مختلف کشت

Table 2- Variance analysis (mean square) of yield and yield components of Kochia in different cropping patterns

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع	تعداد شاخه‌های جانبی	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	عملکرد علوفه خشک
S.O. V	d.f	Height	Lateral branches	Stem dry weight	Leaf dry weight	Dry forage yield
تکرار	2	49	349817.09	277421.48	708866.38	29632459
Replication						
الگوهای کشت	6	157.52**	623343.36**	6414311.04**	3829124.83**	92902834.6**
Cropping patterns						
خطا	12	5.63	30036.17	21381.04	62414.73	5829513.2
Error						
ضریب تغییرات	-	2.7	29.5	7.3	17.4	10.3
C.V (%)						

ns, *, ** و ** به ترتیب عدم معنی‌داری و معنی‌داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد کوشیا در الگوهای مختلف کشت

Table 3- Mean comparisons of yield and yield components of Kochia in different cropping patterns

الگوهای کشت	ارتفاع بوته	تعداد شاخه‌های جانبی در مترمربع	وزن خشک ساقه	وزن خشک برگ	عملکرد علوفه خشک
Cropping patterns	Height (cm)	Lateral branches per m ²	Stem dry weight (g.m ⁻²)	Leaf dry weight (g.m ⁻²)	Dry forage yield (kg.ha ⁻¹)
K100	78.33 ^e	255.1 ^d	884.4 ^d	592.5 ^d	13289 ^c
K50:C50	82.66 ^d	706.6 ^b	2132.2 ^b	1575.3 ^{bc}	14911 ^b ^c
K25:C75	91.66 ^{bc}	1545.1 ^a	1226.7 ^c	1161.4 ^c	11189 ^d
K75:C25	90.33 ^{bc}	626.4 ^{bc}	2265.5 ^b	1658.1 ^b	17716 ^b
K100:C100	100.11 ^a	331.6 ^{cd}	5066.7 ^a	3792.4 ^a	22788 ^a
K50:C100	88.33 ^c	344.9 ^{cd}	906.7 ^d	598.4 ^d	19066 ^b
K100:C50	94.66 ^b	306.1 ^{cd}	1453 ^c	695.2 ^d	21644 ^a

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to Duncan's test at the level of 5% probability

عملکرد علوفه خشک

الگوی کشت مخلوط K100:C100 به دست آمد که نسبت به تک‌کشتی کوشیا ۷۱ درصد افزایش نشان داد (جدول ۳). با توجه به این که افزایش عملکرد به عنوان یکی از خدمات اکوسیستم در کشت مخلوط مطرح است، به نظر می‌رسد گیاه کوشیا با رشد سریع و ارتفاع

نتایج نشان داد که عملکرد علوفه خشک کوشیا تحت تاثیر الگوهای مختلف کشت معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۲). بیشترین مقدار عملکرد علوفه خشک کوشیا (۲۲۷۸۸ کیلوگرم در هکتار) از

افزایشی کشت مخلوط پروتئین بالاتری نسبت به الگوهای جایگزینی داشتند. از آنجایی که درصد نیتروژن تاثیر مستقیمی بر میزان پروتئین خام علوفه کوشیا دارد، افزایش پروتئین در کشت مخلوط ممکن است ناشی از افزایش جذب نیتروژن، افزایش کارایی مصرف نیتروژن یا هر دو مورد به صورت توأم باشد. این موضوع می‌تواند از این طریق قابل توجه باشد که کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی در شرایط مخلوط، در مکان و یا در زمان یکسان برای جذب نیتروژن رقابت نمی‌کنند، بنابراین ساختار ریشه و فنولوژی گونه‌های همراه منجر به ایجاد حالت مکمل در جذب نیتروژن شده است و این امر در نهایت موجب افزایش میزان پروتئین خام علوفه در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شد. درصد پروتئین کوشیا با توجه به شرایط محیطی و ژنوتیپ بین ۷ تا ۲۴ درصد متغیر است (Kafi et al., 2011). عملکرد پروتئین خام تحت تاثیر زیست توده علوفه و محتوای پروتئین است بنابراین هر عاملی که این شاخص‌ها را افزایش دهد می‌تواند منجر به افزایش عملکرد پروتئین خام شود (Javanmard, Machiani, Lithourgidis, Morshedloo, & Ostadi, 2020; Lithourgidis, Vasilakoglou, Dhima, Dordas, & Yiakoulaki, 2006). محتوای پروتئین خام در گیاهان علوفه‌ای به میزان نیتروژن موجود وابسته است و با افزایش در دسترس بودن این عنصر افزایش می‌یابد. از این رو به نظر می‌رسد که عملکرد پروتئین خام در الگوهای کشت مخلوط به دلیل افزایش میزان دسترسی به نیتروژن و متعاقباً افزایش تثبیت نیتروژن توسط بقولات بالاتر است (Belel et al., 2014). در کشت مخلوط ذرت با سویا، شنبلله و لوبیا چشم‌بلبلی درصد پروتئین خام ذرت در مراحل مختلف برداشت متغیر بود و بیشترین درصد پروتئین خام در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی (۱۴ درصد) به دست آمد. به نظر می‌رسد بالا بودن مقدار پروتئین خام در این تیمار مربوط به تثبیت نیتروژن بیشتر توسط لوبیا چشم‌بلبلی باشد (Nazari, Zaefrian, Farahmandfar, Zand, & Azimi, 2014).

در کشت مخلوط کوشیا و ارزن پادزهری بیشترین درصد پروتئین خام در چین دوم از نسبت کاشت ۵۰ درصد کوشیا و ۵۰ درصد ارزن پادزهری گزارش شد که نسبت به تک‌کشتی دو گیاه افزایش داشت. نتایج بیانگر این بود که اگرچه زمان و افزایش تعداد برداشت تاثیر کاهشی بر میزان پروتئین خام علوفه دارد، اما کشت مخلوط شدت تاثیر را کم کرده و موجب بهبود کیفیت علوفه می‌شود (Farajain, Kafi, & Nezami, 2013). نتایج مشابه توسط سایر پژوهشگران نشان داد که عملکرد پروتئین خام علوفه در الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی افزایش یافت (Waldron, ZoBell, Olson, Jensen, & Snyder, 2006; Stoltz & Nadeau, 2014; Yilmaz, Özel, Atak, & Erayman, 2015).

بیشتر به نحو موثرتری از شدت تشعشع فتوسنتزی بالایی موجود در منطقه استفاده کرده است که در نهایت منجر به تولید عملکرد بالاتر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص شده است. همچنین کمترین مقدار عملکرد علوفه مربوط به الگوی K25:C75 بود که به دلیل کاهش تراکم کوشیا و افزایش رقابت بین گونه‌ای به نفع لوبیا چشم‌بلبلی می‌باشد. در تایید نتایج این تحقیق، شرفی (Sharafi, 2022) گزارش کرد که عملکرد علوفه خشک سورگوم (*Sorghum bicolor*) در الگوی کشت ۱۰۰:۱۰۰ سورگوم یونجه حلزونی (*Medicago scutellata* L.) در تمام تیمارهای نیاز آبی در قیاس با کشت خالص سورگوم افزایش داشته است. از این رو اظهار داشتند که یونجه حلزونی نقش مهمی در بهبود کیفیت علوفه داشته است. نتایج حاصل از کشت مخلوط کوشیا و ارزن پادزهری (*Panicum antidotale* Retz) نشان داد که کشت مخلوط گیاهان شورزی می‌تواند راهکاری برای افزایش عملکرد علوفه در شرایط تنش شوری باشد (Farajain, Kafi, & Nezami, 2013). پژوهشگران در کشت مخلوط کوشیا و سورگوم گزارش کردند که حساسیت گیاه کوشیا نسبت به رقابت بین گونه‌ای در سامانه‌های کشت مخلوط کمتر از سورگوم است و کشت مخلوط بدون کاهش معنی‌دار عملکرد علوفه، اثرات منفی تنش شوری را به‌طور قابل توجهی کاهش داده است (Hedayati Firoozabadi, Kazemeini & Pirasteh Anoshe, 2017). نتایج حاصل از بررسی عملکرد و کیفیت علوفه در کشت مخلوط لوبیا تپاری (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) و دو رقم ارزن باستان (cv. Bastan) و ارزن پیشاهنگ (cv. Pishahang) نشان داد که بالاترین میزان عملکرد کل علوفه خشک، از ترکیب کشت مخلوط ۵۰:۵۰ لوبیا تپاری و ارزن باستان، به ترتیب با افزایش ۱۲/۵۹ و ۸۷/۵۷۸ درصد نسبت به تک‌کشتی لوبیا تپاری و ارزن حاصل شد که این نتیجه برتری کشت مخلوط این گیاهان را از لحاظ عملکرد کل علوفه خشک نسبت به تک‌کشتی نشان می‌دهد (Badakhshan, Amiri-Nejad, Tohidi-Nejad, & Parsamolagh, 2021).

خصوصیات کیفی علوفه کوشیا پروتئین خام علوفه

پروتئین یکی از عوامل اصلی کیفیت علوفه است که بر بهره‌وری دام تاثیر می‌گذارد (Tang, Yang, Chen, Ameen, & Xie, 2018; Iptas & Yavus, 2008). نتایج نشان داد که اثر الگوی کشت بر درصد پروتئین خام علوفه کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۴). بیشترین پروتئین خام علوفه مربوط به الگوی کشت K100:C100 (۱۹/۹ درصد) بود که افزایش ۴۸ درصدی نسبت به تک‌کشتی کوشیا نشان داد (جدول ۵). نتایج نشان داد که الگوهای

جدول ۴- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات کیفی علوفه کوشیا در الگوهای مختلف کشت

Table 4- Analysis of variance (mean square) of the quality characteristics of Kochia forage in different cropping patterns

منابع تغییرات S.O. V	درجه آزادی d.f	پروتئین خام Crude Protein	خاکستر Ash	قابلیت هضم ماده خشک DMD	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF
تکرار Replication	2	0.07	0.06	1.33	0.66
الگوهای کشت Cropping patterns	6	22.58**	3.25**	43.26**	20.88**
خطا Error	12	0.26	1.02	3.13	1.97
ضریب تغییرات C.V (%)	-	3.1	7.6	5.0	3.1

ns, *, ** و ** به ترتیب عدم معنی داری و معنی داری در سطوح احتمال پنج درصد و یک درصد
ns, *, **: Non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively

جدول ۵- مقایسه میانگین خصوصیات کیفی علوفه کوشیا در الگوهای مختلف کشت

Table 5- Mean comparisons of qualitative characteristics of forage Kochia in different cropping patterns

الگوهای کشت Cropping patterns	پروتئین خام Protein (%)	خاکستر Ash (%)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی ADF (%)	قابلیت هضم ماده خشک DMD (%)
K100	13.44 ^e	11.96 ^c	48.26 ^a	31.33 ^c
K50:C50	16.74 ^c	13.33 ^{cd}	45 ^c	35 ^b
K25:C75	14.82 ^e	12.33 ^{de}	47 ^b	31.66 ^{bc}
K75:C25	14.58 ^d	12.50 ^{ce}	45.96 ^c	34.66 ^{bc}
K100:C100	19.90 ^a	14.83 ^a	42.16 ^{de}	35.66 ^a
K50:C100	18.94 ^b	13.46 ^{bc}	42.83 ^d	39.33 ^a
K100:C50	17.64 ^c	14.20 ^{ab}	41.30 ^e	41 ^a

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی داری ندارند.

The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to Duncan's test at the level of 5% probability

خاکستر

گیاهان نسبت به تراکم کمتر باشد. کشت مخلوط گیاهان موجب بازچرخش بهتر عناصر غذایی در خاک می‌شود. از طرف دیگر کشت مخلوط موجب افزایش تنفس میکروبی می‌شود که به‌عنوان یکی از خدمات اکوسیستم موجب بازچرخش عناصر غذایی می‌شود. به نظر می‌رسد کشت همزمان دو گیاه کوشیا و چشم‌بلیلی موجب بازچرخش بهتر عناصر غذایی و افزایش جذب عناصر معدنی توسط گیاه شده است. در همین راستا محققین گزارش کردند در کشت مخلوط بیشترین تنفس میکروبی در نسبت کشت مخلوط ۲:۱ اردیف لوبیا: ۲:۱ اردیف ذرت و کمترین در کشت خالص ذرت مشاهده شد که به دلیل افزایش تنوع گیاهان در سیستم‌های چندکشتی و به تبع آن بهبود شرایط برای فعالیت رشد و جوامع خاکزی از طریق ترشحات ریشه‌ای گونه‌های مختلف همراه در مخلوط و همچنین افزایش برخی عناصر به‌ویژه نیتروژن از طریق انتخاب گیاه همراه لگوم در مخلوط می‌باشد (Akbari, Dahmardeh, Morshedi, Ganbari, & Khorramdel, 2019). در کشت مخلوط سورگوم و یونجه حلزونی بیشترین درصد خاکستر در کشت خالص سورگوم (۱۱/۷۹ درصد) مشاهده شد. در حالی که در الگوهای کشت مخلوط بیشترین درصد

درصد خاکستر بیانگر مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است. هرچه درصد خاکستر بیشتر باشد گیاه مواد معدنی بیشتری را در اختیار دام قرار می‌دهد بنابراین ارزش غذایی علوفه برای دام بیشتر می‌شود (Lewis & Farlane, 1986; Kheradmand, Mahmodib & Ahmadi, 2014). نتایج نشان داد که اثر الگوهای کاشت بر درصد خاکستر علوفه کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0.01$) (جدول ۴). بر اساس نتایج بیشترین و کمترین مقدار خاکستر به ترتیب در تیمار K100:C100 (۱۴/۸۳ درصد) و کشت خالص کوشیا (۱۱/۹۶ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). اختلاف ۲۳ درصدی خاکستر در این دو تیمار می‌تواند به دلیل جذب بهتر عناصر در کشت مخلوط نسبت به کشت خالص باشد، به نحوی که اختلاف در ساختار ریشه، ترشحات ریشه گیاهان و نیاز غذایی متفاوت گیاهان در مخلوط موجب افزایش کارایی جذب عناصر خاک و برتری الگوهای مخلوط نسبت به تک‌کشتی شده است. همچنین تیمارهای جایگزینی مقدار خاکستر کمتری نسبت به تیمارهای افزایشی داشتند که می‌تواند به علت افزایش تراکم ریشه‌های کوشیا در واحد سطح و قدرت رقابت بالاتر

بقولات خصوصیات کیفی علوفه تریتیکاله به دلیل کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و افزایش درصد پروتئین بهبود یافت (Salehi, Amirmia, Rezaeichiyaneh, & Khalilvandi, 2018). محققان در بررسی اثر تنش‌های محیطی بر میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی گزارش کردند که شوری و خشکی بر میزان ADF کوشیا تاثیر غیرمعنی‌دار و یا کاهشی داشته است، که بیانگر تاثیر مثبت بر کیفیت علوفه کوشیا می‌باشد. از این رو می‌توان کوشیا را به‌عنوان گیاه علوفه‌ای برای بسیاری از مناطق به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک جهت تامین علوفه دام‌های اهلی توصیه نمود (Nabati et al., 2012; Moosavifar, Khazaei & Jolaini, 2020). Kafi, 2019; Fazeli Kakhki, Goldani & Jolaini, 2020).

قابلیت هضم ماده خشک

قابلیت هضم ماده خشک از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های اصلاح گیاهان علوفه‌ای است، زیرا قابلیت هضم بالا کارایی تبدیل عناصر مغذی را به‌وسیله دام بهبود می‌بخشد. این ویژگی از مهم‌ترین عوامل موثر بر افزایش وزن‌گیری دام‌ها و تولید شیر می‌باشد (Smith, Reed & Foot, 2008; Yolcu, Gunes & Turan, 2009). در مطالعه حاضر اثر الگوهای کشت بر قابلیت هضم ماده خشک کوشیا معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۴). سیستم کشت مخلوط سبب افزایش قابلیت هضم ماده خشک در گیاه کوشیا شد. بدین ترتیب که بیشترین قابلیت هضم ماده خشک مربوط به تیمار K100:C50 (۴۱ درصد) و کمترین مربوط به تک‌کشتی کوشیا (۳۱/۳۳ درصد) بود (جدول ۵). با توجه به مقدار ADF در تک‌کشتی کوشیا و تیمار K100:C50 به نظر می‌رسد کاهش و افزایش میزان هضم‌پذیری ناشی از تغییرات این صفت می‌باشد. به نحوی که کمترین مقدار ADF و بیشترین قابلیت هضم ماده خشک مربوط به تیمار K100:C50 که با تیمارهای K100:C100 و K50:C100 از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری نداشت. بررسی تاثیر نسبت‌های مختلف کشت نشان داد که الگوهای کشت مخلوط به‌طور معنی‌داری از قابلیت هضم ماده خشک بیشتری نسبت به تک‌کشتی برخوردار بودند که می‌تواند به دلیل افزایش میزان غلظت پروتئین حاصل از افزودن لوبیا چشم‌بلبلی در مخلوط باشد. مشابه این تحقیق در بررسی کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی بالاترین قابلیت هضم علوفه در الگوی افزایشی ۱۰۰:۱۰۰ ذرت: لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد که با تیمار ۱۰۰:۵۰ ذرت: لوبیا چشم‌بلبلی تفاوتی نداشت (Dahmardeh et al., 2010). جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2020). بیان نمودند که قابلیت هضم ماده خشک در الگوهای کشت مخلوط در مقایسه با تک‌کشتی ذرت بیشتر بود. همچنین بررسی همبستگی بین عملکرد علوفه و صفات کیفی علوفه نشان‌دهنده همبستگی منفی بین ADF و NDF با بهره‌وری و قابلیت هضم ماده خشک علوفه بود. در کشت مخلوط ذرت با سویا،

خاکستر در الگوی ۱۰۰ درصد سورگوم و ۵۰ درصد یونجه حلزونی به‌دست آمد (Sharafi, 2022). از سوی دیگر عدم تعادل عناصر معدنی در علوفه ممکن است منجر به کمبود یا سمیت مواد مغذی در دام گردد و در نهایت موجب کاهش تولید شود. از این‌رو محققان گزارش کردند که سیستم‌های کشت مخلوط نسبت به کشت خالص از طریق افزایش میزان خاکستر باعث بهبود کیفیت علوفه می‌شوند (Dahmardeh, Ghanbari, Syahsar, & Ramroudi, 2010). در کشت مخلوط ارزن و لوبیا تپاری بیشترین درصد خاکستر از تک‌کشتی ارزن و نسبت اختلاط ۵۰:۵۰ لوبیا تپاری و ارزن گزارش شد (Badakhshan et al., 2021).

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم کیفیت علوفه مطرح است که نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی (سلولز و لیگنین) در جیره دام و قابلیت هضم علوفه می‌باشد. این شاخص با قابلیت هضم علوفه همبستگی منفی دارد و در نتیجه میزان انرژی قابل‌دسترس برای نشخوارکنندگان را تحت تاثیر قرار می‌دهد (Tang et al., 2018; McDonald et al., 2011). در این مطالعه اثر الگوهای کشت بر درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۴). این صفت یکی از شاخص‌های کاهنده‌ی کیفیت علوفه محسوب می‌شود. به بیان دیگر هر اندازه الیاف نامحلول در شوینده اسیدی در گیاهان علوفه‌ای افزایش یابد، به همان اندازه از کیفیت و خوش‌خوراکی این گیاهان برای دام‌ها کاسته می‌شود. نتایج نشان‌دهنده تاثیر مثبت کشت مخلوط بر میزان الیاف نامحلول در شوینده اسیدی بود به‌طوری که بیشترین و کمترین مقدار الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌ترتیب در تک‌کشتی کوشیا (۴۸/۲۶ درصد) و الگوی کشت K100:C50 (۴۱/۳۰ درصد) به‌دست آمد (جدول ۵). بر اساس نتایج در تیمار افزایشی مقدار الیاف نامحلول ۱۴/۵ درصد نسبت به تک‌کشتی کوشیا کاهش یافت. نتایج نشان‌دهنده کاهش مقدار الیاف نامحلول در الگوهای افزایشی نسبت به الگوهای جایگزینی کشت مخلوط بود. در تایید نتایج به‌دست‌آمده هدایتی فیروزآبادی و همکاران گزارش کردند که سیستم کشت مخلوط سورگوم و کوشیا منجر به کاهش ADF و بهبود کیفیت علوفه هر دو گیاه شد (Hedayati-Firoozabadi, Kazemeini, Pirasteh-Anosheh, Ghadiri, & Pesarakli, 2020). بر اساس بررسی محققان در کشت مخلوط ذرت (*Zea mays* L.) با بقولات مختلف میانگین ADF در دو سال آزمایش در الگوهای کشت مخلوط ۱۵/۶ درصد کمتر از تک‌کشتی ذرت بود که به کاهش نسبت ذرت یا افزایش نسبت بقولات به عملکرد کل علوفه در کشت مخلوط نسبت داده شد (Javanmard et al., 2020). در کشت مخلوط تریتیکاله با

بود (جدول ۷). نتایج نشان‌دهنده این است که الگوهای جایگزینی مخلوط تعداد نیام بیشتری نسبت به الگوهای افزایشی داشتند. این امر حاکی از این است که با افزایش تراکم کوشیا و در نتیجه افزایش رقابت بین گونه‌ای تعداد نیام در بوته لوبیا به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. به عبارتی، با افزایش تراکم کوشیا و افزایش سایه‌اندازی، گیاه لوبیا بیشتر انرژی خود را صرف رشد رویشی کرده و در نتیجه انرژی کمتری جهت تشکیل و رشد نیام‌ها باقی مانده است. سایر محققان در بررسی کشت مخلوط چای ترش- سویا (Sabeghynezhad, Dahmardeh, Asgharipour, Khammari, Hamzei & Davoudian, 2019) و کلزا- نخود (Sori Nezami, 2019) و ذرت- ماش (Nazari et al., 2014) گزارش کردند که کشت خالص سویا، نخود و ماش نسبت به کشت مخلوط تعداد غلاف بیشتری داشت و نتیجه را به کاهش رقابت درون گونه‌ای نسبت دادند. از سوی دیگر در تراکم‌های بالاتر به دلیل رقابت درون بوته‌ای بر سر فتوآسمیلات‌ها، میزان ریزش گل‌های تشکیل شده افزایش یافته و در نتیجه تعداد غلاف در بوته کاهش می‌یابد (Hamzei, 2012).

شنبليله و لوبيا چشم‌بلبلی قابلیت هضم ماده خشک ذرت بین ۷۳-۴۷ درصد در مراحل مختلف برداشت متغیر بود و بیشترین درصد قابلیت هضم ماده خشک در کشت مخلوط ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی به‌دست آمد (Nazari et al., 2014). همچنین در بررسی تأثیر کشت مخلوط ذرت و سویا بر میزان ماده خشک و جذب عناصر غذایی علوفه، افزایش میزان قابلیت هضم ماده خشک علوفه با افزایش سویا در سیستم کشت مخلوط با ذرت گزارش شد که از دلایل آن به افزایش میزان غلظت پروتئین حاصل از افزودن سویا در مخلوط اشاره شده است (Baghdadi, Halim, Ghasemzadeh, Ebrahimi, Othman, & Yusof, 2016).

عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی

تعداد نیام در بوته

نتایج نشان داد که اثر الگوی کشت بر تعداد نیام لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۶). بالاترین تعداد نیام در مترمربع از تک کشتی لوبیا (۲۷۵۲ عدد) به‌دست آمد در حالی که کمترین تعداد نیام در مترمربع مربوط به الگوی جایگزینی K75:C25 (۶۰۰ عدد)

جدول ۶- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی در الگوهای مختلف کشت
Table 6- Variance analysis (mean square) of cowpea yield and yield components in different cropping patterns

منابع تغییرات	درجه آزادی	تعداد نیام	تعداد دانه در نیام	عملکرد دانه	عملکرد بیولوژیک
S.O.V	d.f	Number of pods	Number of seed	Grain yield	Biological yield
تکرار	2	5256.15	169.16	69844.33	430644.62
Replication					
الگوهای کشت	6	1594177.58**	46456.30**	2427412.83**	8244397.44**
Cropping patterns					
خطا	12	212.55	6.19	57323.28	41417.56
Error					
ضریب تغییرات	-	1.1	1.0	10.2	3.6
C.V (%)					

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

(Hamzei & Stan, 2013). در کشت مخلوط کلزا- نخود (Hamzei & Davoudian, 2019) و جو- ماشک گل خوشه‌ای (Faramarzi, Hosseini, Mansory, Fanguero, & Alizadeh, 2023) بیشترین تعداد دانه از کشت خالص نخود و ماشک گل خوشه‌ای به‌دست آمد.

عملکرد بیولوژیک و دانه

نتایج نشان داد که عملکرد بیولوژیک و دانه لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر الگوهای کاشت معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۶). بیشترین عملکرد بیولوژیک (۷۱۲۸ کیلوگرم در هکتار) و دانه (۳۵۹۰/۳ کیلوگرم در هکتار) مربوط به تک کشتی لوبیا بود. عملکرد لوبیا در الگوهای کاشت مخلوط کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین عملکرد

تعداد دانه در نیام

نتایج نشان داد که اثر الگوی کشت بر تعداد دانه در نیام لوبیا چشم‌بلبلی معنی‌دار بود ($P \leq 0/01$) (جدول ۶). بیشترین تعداد دانه در نیام از تک کشتی لوبیا (۴۹۶ در مترمربع) به‌دست آمد. با کاهش تراکم لوبیا به ۲۵ درصد در الگوی کشت K75:C25 کمترین تعداد دانه در نیام (۱۳۳/۳۳ در مترمربع) مشاهده شد که می‌تواند به دلیل کاهش قدرت رقابت بین گونه‌ای به نفع کوشیا باشد. (جدول ۷). به نظر می‌رسد افزایش نسبت کوشیا در الگوهای افزایشی مخلوط موجب افزایش رقابت بین گونه‌ای بر سر جذب آب، نور و مواد مغذی قابل دسترس و کاهش تعداد دانه در نیام شده است. کمبود منابع سبب افزایش ریزش گل‌ها در حین تلقیح و یا پس از آن خواهد شد (Dusa

هیبرید ۳۰۱ بود که به ارتفاع کمتر و کاهش سایه‌اندازی ذرت هیبرید ۳۰۱ نسبت داده شد. همچنین محققان بیان کردند که عملکرد بقولات در کشت مخلوط به دلیل ارتفاع بیشتر و سایه‌اندازی غلات منجر به ایجاد رقابت برای نور و کاهش فتوسنتز گیاهان می‌شود (Ross, King, O'Donovan, & Spaner, 2005; Xie & Kristensen, 2017). اگرچه بیشترین عملکرد در تک‌کشتی مشاهده شد اما نتایج بیانگر افزایش عملکرد در الگوهای کشت مخلوط با افزایش نسبت کشت لوبیا در الگوها بود.

بیولوژیک (۲۹۳۹/۷ کیلوگرم در هکتار) و اقتصادی (۱۴۰۱ کیلوگرم در هکتار) در الگوی K100:C50 مشاهده شد. به نظر می‌رسد برتری عملکرد در تک‌کشتی لوبیا به دلیل تراکم کاشت مناسب باشد. از سوی دیگر کاهش عملکرد در الگوی افزایشی مخلوط به دلیل افزایش تراکم، ارتفاع بیشتر و افزایش قدرت رقابت به نفع کوشیا می‌باشد. در همین راستا جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2020) در کشت مخلوط ارقام ذرت با بقولات گزارش کردند که عملکرد بقولات در کشت مخلوط با ذرت هیبرید ۷۰۴ کمتر از ذرت

جدول ۷- مقایسه میانگین عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی در الگوهای مختلف کشت

Table 7- Mean Comparison of yield and yield components of cowpea in different cropping patterns

الگوهای کشت Cropping patterns	تعداد نیام در مترمربع Number of pod per m ²	تعداد دانه در نیام در مترمربع Number of seed per m ²	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha ⁻¹)	عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha ⁻¹)
C100	2752.00 ^a	496.00 ^a	3590.3 ^a	7128 ^a
K50:C50	1500.53 ^c	266.52 ^c	2473.3 ^{bc}	4658.3 ^c
K25:C75	1652.45 ^b	293.17 ^b	2898.7 ^b	6706.7 ^b
K75:C25	600.00 ^e	133.33 ^e	935 ^e	2993.3 ^e
K100:C100	1200.00 ^e	181.33 ^e	2732 ^{bc}	6689.7 ^b
K50:C100	1255.11 ^d	195.55 ^d	2395 ^c	6810.7 ^{ab}
K100:C50	630.67 ^f	154.66 ^f	1401 ^d	2939.7 ^d

میانگین‌هایی در هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵٪ اختلاف معنی‌داری ندارند.

The means, in each column, similar letters show that there is no significant difference according to Duncan's test at the level of 5% probability

مخلوط لوبیا چشم‌بلبلی بیشتر از کوشیا بود. عوامل متعددی از جمله تراکم، قدرت رقابتی هریک از گیاهان زراعی در کشت مخلوط، مرفولوژی، دوام رشد گیاه زراعی و عوامل مدیریتی بر مقدار نسبت برابری زمین تاثیرگذار هستند (Tsubo, Mukhala, Ogindo, & Walker, 2003). این نتیجه همسو با نتیجه حاصل از کشت مخلوط سویا و ارزن بود به نحوی که نسبت کاشت ۷۵:۲۵ و ۵۰:۵۰ به ترتیب با میانگین ۱/۲۳ و ۱/۰۲ دارای نسبت برابری زمین بالاتر از یک بودند. این محققین افزایش بهره‌وری در تولید محصول در کشت مخلوط را به کاهش تسلط رقابتی گیاه سویا، ایجاد رابطه مکملی و افزایش عملکرد دانه ارزن نسبت دادند (Namdari, Abbasi, Pirdashti, & Zaefarian, 2023). همچنین بررسی ترکیب‌های کشت مخلوط تاخیری چغندرقد، نخود و ماش نشان داد که بالاترین نسبت برابری زمین از نسبت ۷۵ درصد لگوم (نخود و ماش) و ۲۵ درصد چغندرقد (۱/۵۳) به‌دست آمد (Koocheki, Mahallati, Hafeji Farajian, & Hooshmand, 2023).

نسبت برابری زمین

رایج‌ترین روش ارزیابی سودمندی عملکرد در کشت مخلوط شاخص نسبت برابری زمین است. نتایج نشان داد که نسبت برابری زمین در الگوهای جایگزینی کشت مخلوط بزرگ‌تر از یک بود و بر این اساس الگوی K50:C50 بالاترین نسبت برابری زمین (۱/۸۰) را به خود اختصاص داده است (جدول ۸). در این الگوی کشت عملکرد کوشیا ۱۲ درصد بیشتر و عملکرد لوبیا چشم‌بلبلی ۳۱ درصد کمتر از حالت تک‌کشتی بوده است که در مجموع، کوشیا اثر بیشتری از همراهی با لوبیا چشم‌بلبلی در کشت مخلوط پذیرفته است. به عبارت دیگر کشت این گیاهان موجب افزایش عملکرد کوشیا در این تیمار نسبت به تک‌کشتی آن شده است که می‌تواند به دلیل استفاده بهتر از عوامل محیطی باشد. بر اساس نتایج، عملکرد نسبی کوشیا در الگوهای K50:C50 و K75:C25 بیشتر از لوبیا چشم‌بلبلی بود و این بیانگر این موضوع می‌باشد که کوشیا در این الگوها نسبت به تک‌کشتی عملکرد بیشتری تولید کرده است و اثر کاهشی کشت

جدول ۸- نسبت برابری زمین جزئی و کل در الگوهای جایگزینی کشت مخلوط کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی

Table 8- Partial and total land equivalent ratio in the replacement patterns of kochia and cowpea intercropping

الگوهای جایگزینی Replacement patterns	نسبت برابری زمین جزئی کوشیا Partial land equivalent ratio of Kochia	نسبت برابری زمین جزئی لوبیا چشم‌بلبلی Partial land equivalent ratio of cowpea	نسبت برابری زمین کل Total Land Equivalent ratio
K50:C50	1.12	0.68	1.80
K25:C75	0.84	0.80	1.64
K75:C25	1.33	0.26	1.59

نتیجه گیری

کشت مخلوط بیشتر از یک بود که نشان دهنده افزایش کارایی استفاده از زمین در مقایسه با تک کشتی هریک از گونه‌های کوشیا و لوبیا چشم‌بلبلی می‌باشد. با توجه به اقلیم خشک منطقه و قابلیت رشد گیاه کوشیا در شرایط نامساعد، کشت مخلوط می‌تواند به‌عنوان استراتژی مناسب در جهت استفاده بهینه از منابع و تغذیه دام‌ها در منطقه زابل مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج نشان داد که گیاه کوشیا در کشت مخلوط از کیفیت علوفه بالاتری نسبت به کشت خالص برخوردار است. علوفه با کیفیت بالا مقدار پروتئین خام، درصد خاکستر و قابلیت هضم ماده خشک بیشتر و الیاف نامحلول در شوینده اسیدی کمتری دارد، که بر اساس نتایج الگوهای K100:C50 یا K100:C100 کیفیت علوفه بالاتری داشتند. در این مطالعه نسبت برابری زمین در تمام الگوهای جایگزینی

References

1. Abusuwar, A. O., & Al-Solimani, S. J. (2013). Effect of chemical fertilizers on yield and nutritive value of intercropped sorghum bicolor and lablab purpureus forages grown under saline conditions. *The Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(1), 271-276. <https://doi.org/10.5897/AJMR12.007>
2. Akbari, F., Dahmardeh, M., Morshedi, A., Ganbari, A., & Khorramdel, S. (2019). Evaluation of some agroecosystem services in intercropping of corn and bean affected by wheat residues and tillage management systems. Ph.D dissertation of Agroecology, Zabol University, Zabol, Iran. 264 Pp. (in Persian).
3. Ayneband, A., Hosaini, S., & Farzaneh, M. (2020). Effect of different forage crops and cultivation method on quantity and quality of forage in intercropping. *Journal of Crops Improvement*, 22(2), 295-305. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2020.284842.2240>
4. Badakhshan, S., Amir-Nejad, M., Tohidi-Nejad, E. A., & Parsamotlagh, B. (2021). Evaluation of yield and quality forage in Intercropping Tepary Bean (*Phaseolus acutifolus* L. Gray) and Millet Cultivars. *Journal of Agroecology*, 13(2), 291-305. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JAG.V13I2.83847>
5. Baghdadi, A., Halim, R. A., Ghasemzadeh, A., Ebrahimi, M., Othman, R., & Yusof, M. M. (2016). Effect of intercropping of corn and soybean on dry matter yield and nutritive value of forage corn. *Legume Research-An International Journal*, 39(6), 976-981. <https://doi.org/10.18805/ir.v39i6.6643>
6. Banik, P., Midya, A., Sarkar, B. K., & Ghose, S. S. (2006). Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: advantages and weed smothering. *European Journal of Agronomy*, 24(4), 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2005.10.010>
7. Bebel, M. D., Halim, R. A., Rafii, M. Y., & Saud, H. M. (2014). Intercropping of corn with some selected legumes for improved forage production: A review. *Journal of Agricultural Science*, 6(3), 48. <https://doi.org/10.5539/jas.v6n3p48>
8. BenYoussef, S., Kachout, S. S., Abidi, S., Saddem, B., Ismail, J., & Salem, B. H. (2019). Effect of different levels of nitrogen fertilization on forage yields and quality of hairy vetch (*Vicia villosa*, Roth) triticale (*X Tritico-secale*, Wittmack) mixtures. *The Open Agriculture Journal*, 13(1). <https://doi.org/10.2174/1874331501913010090>
9. Dahmardeh, M., Ghanbari, A., Syahsar, B. A., & Ramroudi, M. (2010). The effect of planting time and the quality of forage maize in intercropping with cowpea. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 41(3): 633-642. (in Persian).
10. Dusa, E. M., & Stan, V. (2013). The effect of intercropping on crop productivity and yield quality of oat (*Avena sativa* L.)/grain leguminous species (pea-*Pisum sativum* L., lentil-*Lens culinaris* L.) cultivated in pure stand and mixtures, in the organic agriculture system. *European Scientific Journal*, 9(21), 69-78.
11. Egbe, O. M. (2010). Effects of plant density of intercropped soybean with tall sorghum on competitive ability of soybean and economic yield at Otobi, Benue State, Nigeria. *Journal of Cereals and Oilseeds*, 1(1), 1-10. <https://doi.org/10.5897/JCO.9000005>
12. Farajain, M. M., Kafi, M., & Nezami, A. (2013). Intercropping of kochia (*Kochia scoparia* L.) with blue panic grass (*Panicum antidotale* Retz.) under irrigation with saline water. *Agroecology*, 5, 153-160. (in Persian).
13. Fazeli Kakhki, S. F., Goldani, M., & Jolaini, M. (2020). Investigation of changes in some morphophysiological traits, yield and quality indices of two Kochia ecotype (*Kochia scoparia*) in drought stress under field conditions. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(6), 1783-1793. (in Persian with English abstract).
14. Friesen, L. F., Beckie, H. J., Warwick, S. I., & Van Acker, R. C. (2009). The biology of Canadian weeds. 138. *Kochia scoparia* (L.) Schrad. *Canadian Journal of Plant Science*, 89(1), 141-167. <https://doi.org/10.4141/CJPS08057>
15. Faramarzi, F., Hosseini, S. M. B., Mansory, H., Fangueiro, D., & Alizadeh, H. (2023). Effect of the Ammonium Nitrate Levels on Intercropped Barley (*Hordeum Vulgare* L.) and Vetch (*Vicia Villosa*) under Weed Competition Management. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 20(4), 481-500. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jcsc.2022.75859.1154>
16. Ghafarian, M. R., Yadavi, A. R., Dabbagh Mohammadi Nasab, A., Salehi, M., & Movahedi Dehnavi, M. (2021).

- Advantage of Forage Production in Kochia (*Kochia scoparia*), Sesbania (*Sesbania aculeata*) and Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) intercropping under irrigation water salinity. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 31(1), 71-86.
17. Guerrero-Rodriguez, J. D. D. (2006). Growth and nutritive value of lucerne (*Medicago sativa* L.) and Melilotus (*Melilotus albus* Medik.) under saline conditions. Thesis (Ph.D.). School of Agriculture, Food and Wine.
 18. Gul, B., Ansari, R., Aziz, I. R. F. A. N., & Khan, M. A. (2010). Salt tolerance of Kochia scoparia: A new fodder crop for highly saline arid regions. *Pakistan Journal of Botany*, 42(4), 2479-2487.
 19. Hamzei, J. (2012). Evaluation of Yield, SPAD Index, Landuse Efficiency and System Productivity Index of Barley (*Hordeum vulgare*) Intercropped with Bitter Vetch (*Vicia ervilia*). *Journal of Crop Production and Processing*, 2(4), 79-92. (in Persian with English abstract).
 20. Hamzei, J., & Davoudian, R. (2019). Evaluation of Agrophysiological Indices and Yield Performance in anola/Chickpea Intercropping. *Journal of Agroecology*, 11(1), 245-259. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i1.65192>
 21. Hedayati Firoozabadi, A., Kazemeini, S. A., & Pirasteh Anoshe, H. (2017). Evaluation of different planting ratio of sorghum-kochia intercropping in varied salinity conditions. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(3): 685-698. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.114014>
 22. Hedayati-Firoozabadi, A., Kazemeini, S. A., Pirasteh-Anosheh, H., Ghadiri, H., & Pessarakli, M. (2020). Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of Sorghum bicolor-Bassia indica intercropping. *Journal of Plant Nutrition*, 43(17), 2579-2589. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1783301>
 23. Iptas, S., & Yavuz, M. (2008). Effect of pollination levels on yield and quality of maize grown for silage. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32(1), 41-48.
 24. Jami Al-Ahmadi, M. (2005). Study some properties of ecophysiology kochia scoparia. Ph.D. Thesis. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (in Persian).
 25. Jami Al Ahmadi, M., & Kafi, M. (2008). Kochia (*Kochia scoparia*): To be or not to be. Crop and Forage Production Using Saline Waters. M. Kafi and MA Khan, eds. NAM S & T Centre. Daya Publisher, New Delhi.
 26. Jamshidi, K., Mazaheri, D., Hosseini, N. M., Mashhadi, H. R., & Peyghambari, S. A. (2011). Investigation of corn/cowpea intercropping effect on suppressing the weeds. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(2), 233-241. (in Persian with English abstract).
 27. Javanmard, A., Machiani, M. A., Lithourgidis, A., Morshedloo, M. R., & Ostadi, A. (2020). Intercropping of maize with legumes: A cleaner strategy for improving the quantity and quality of forage. *Cleaner Engineering and Technology*, 1, 100003. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2020.100003>
 28. Kafi, M., Asadi, H., & Ganjeali, A. (2010). Possible utilization of high-salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte Kochia scoparia as alternative fodder in saline agroecosystems. *Agricultural Water Management*, 97(1), 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.022>
 29. Kafi, M., Nabati, J., Khaninejad, S., Masomi, A., & Zare, M. M. (2011). Evaluation of characteristics forage in different Kochia (*Kochia scoparia*) ecotypes in tow salinity levels irrigation. *Electronic Journal of Crop Production*, 4, 229-238. (in Persian with English abstract).
 30. Kheradmand, S., Mahmoodib, S., & Ahmadi, E. (2014). Quantitative and qualitative performance evaluation of green pea and barley forage intercropping. *Applied Field Crops Research*, 27(105), 111-118. (in Persian with English abstract).
 31. Klimek-Kopyra, A., Skowera, B., Zajac, T., & Kulig, B. (2017). Mixed cropping of linseed and legumes as an ecological way to effectively increase oil quality. *Romanian Agricultural Research*, 34, 217-224.
 32. Koochaki, A., Nasiri Mahalati, M., Khorram Del, S., Anwarkhah, S., Timuri, M., & Sanjani, S. (2010). Evaluation of growth indices of hemp (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamum indicum* L.) in intercropping with replacement and additive series. *Journal of Agroecology*, 2(1), 27-36. (in Persian).
 33. Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Hatefi Farajian, M. H., & Hooshmand, M. (2023). Effect of relay triple intercropping arrangements of sugar beet (*Beta vulgaris*), chickpea (*Cicer arietinum* L.), and mung bean (*Vigna radiata* L.) on yield and yield components. *Journal of Agroecology*, 15(1), 153-168. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2022.20158.0>
 34. Kurdali, F. (2010). Growth and N₂ fixation in mixed cropping of Medicago arborea and Atriplex halimus grown on a salt-affected soil using a 15N tracer technique. *Journal of Plant Interactions*, 5(1), 37-44. <https://doi.org/10.1080/17429140903151265>
 35. Lewis, D. C., & McFarlane, J. D. (1986). Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) and the diagnosis of manganese deficiency by plant tissue and seed analysis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 37(6), 567-572. <https://doi.org/10.1071/AR9860567>
 36. Lithourgidis, A. S., Vasilakoglou, I. B., Dhima, K. V., Dordas, C. A., & Yiakoulaki, M. D. (2006). Forage yield and quality of common vetch mixtures with oat and triticale in two seeding ratios. *Field Crops Research*, 99(2-3), 106-113. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.03.008>
 37. Masoumi, A., Kafi, M., Nabati, J., & Zare Mehrjerdi, M. (2016). The possibility of forage production in two

- Kochia (*Kochia scoparia* L.) ecotypes by application of low amounts of water in saline conditions. *Crop Production Journal*, 10(1): 1-19. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22069/EJCP.2017.10053.1791>
38. McDonald, P., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition*, 7th (ed.), Longman Group UK, Harlow, UK, 693 pp.
 39. Moosavifar, B. E., Khazaie, H., & Kafi, M. (2019). The determine of nutrition value of Kochia (*Kochia Scoparia* L.) forage under salinity and deficit irrigation conditions. *Journal of Agroecology*, 11(2), 619-634. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i2.75545>
 40. Mortada, S., Abou Najm, M., Yassine, A., El Fadel, M., & Alamiddine, I. (2018). Towards sustainable water-food nexus: an optimization approach. *Journal of Cleaner Production*, 178, 408-418. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.020>
 41. Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghadam, P., Masoumi, A., & Zaremehrerjedi, M. (2012). Effect of salinity stress on yield, component yeild of forage and morphological characteristics of Kochia (*Kochia scoparia* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*, 42(4): 735-743. (in Persian).
 42. Namdari, M., Abbasi, R., Pirdashti, H., & Zaefarian, F. (2023). Effect of competition on morphological, physiological, and productivity characteristics in soybean (*Glycine max* (L) Merrill) and millet (*Panicum miliaceum* L.) intercropping. *Journal of Agroecology*, 15(2), 337-357. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/agry.2021.71312.1056>
 43. Nazari, S., Zaefrian, F., Farahmandfar, E., Zand, E., & Azimi Sooran, S. (2014). Effect of harvest time on forage yield and quality maize under intercropping with legume plants. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 237-245. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/GSC.V12I2.39155>
 44. Oddy, V. H., Robards, G. E., & Low, S. G. (1983). Prediction of in vivo dry matter digestibility from the fibre and nitrogen content of a feed. In *Feed information and animal production: proceedings of the second symposium of the International Network of Feed Information Centres*/edited by GE Robards and RG Packham. Farnham Royal, Slough [Buckingham]: Commonwealth Agricultural Bureaux, c1983.
 45. Riasi, A., Mesgaran, M. D., Stern, M. D., & Moreno, M. R. (2008). Chemical composition, in situ ruminal degradability and post-ruminal disappearance of dry matter and crude protein from the halophytic plants Kochia scoparia, Atriplex dimorphostegia, Suaeda arcuata and Gamanthus gamacarpus. *Animal Feed Science and Technology*, 141(3-4), 209-219. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.014>
 46. Ross, S. M., King, J. R., O'Donovan, J. T., & Spaner, D. (2005). The productivity of oats and berseem clover intercrops. I. Primary growth characteristics and forage quality at four densities of oats. *Grass and forage Science*, 60(1), 74-86. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.2005.00455.x>
 47. Sabeghynezhad, F., Dahmardeh, M., Asgharipour, M. R., Khammari, I., & Sori Nezami, Z. (2019). Evaluation of tillage systems on agronomic aspect of soybean (*Glycine max* L.) and roselle (*Hibiscus subdariffa* L.) Relay Intercropping. *Journal of Agroecology*, 11(3), 1085-1104. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/jag.v11i3.68442>
 48. Salehi, Z., Amirnia, R., Rezaeichiyaneh, E., & Khalilvandi Behrozyar, H. (2018). Evaluation of yield and some qualitative traits of forage in intercropping of triticale with annual legumes. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 28(4), 59-76. (in Persian).
 49. Sharafi, S. (2022). Evaluation of quantitative and qualitative yield of forage from additive series of snail medic in intercropping with sorghum under low irrigation condition. *Journal of Crops Improvement*, 24(1), 15-29. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22059/jci.2021.312749.2470>
 50. Sherrod, L. B. (1971). Nutritive Value of Kochia scoparia I. Yield and Chemical Composition at Three Stages of Maturity I. *Agronomy Journal*, 63(2), 343-344. <https://doi.org/10.2134/agronj1971.00021962006300020049x>
 51. Sherrod, L. B. (1973). Nutritive value of Kochia scoparia. III. Digestibility of kochia hay compared with alfalfa hay. *Journal of Dairy Science*, 56(7), 923-926. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(73\)85278-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(73)85278-6)
 52. Smith, K. F., Reed, K. F. M., & Foot, J. Z. (2008). An assessment of the relative importance of specific traits for the genetic improvement of nutritive value in dairy pasture. *Grass and Forage Science*, 52(2), 167-175. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1997.tb02347.x>
 53. Soleymani, M. R., Kafi, M., Ziaei, M., & Shabahang, J. (2008). Effect of limited irrigation with saline water on forage of two local populations of *Kochia scoparia* L. Schrad. *Journal of Soil and Water* (Agricultural Science and Technology), 22(2): 307-317. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/JSW.V0I22.1028>
 54. Stoltz, E., & Nadeau, E. (2014). Effects of intercropping on yield, weed incidence, forage quality and soil residual N in organically grown forage maize (*Zea mays* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Research*, 169, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.09.004>
 55. Tang, C., Yang, X., Chen, X., Ameen, A., & Xie, G. (2018). Sorghum biomass and quality and soil nitrogen balance response to nitrogen rate on semiarid marginal land. *Field Crops Research*, 215, 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.09.031>
 56. Tawfik, M. M., Thaloonth, A. T., Nabila, M. Z., Hassanein, M. S., Amany, A. B., & Amal, G. A. (2013).

- Sustainable production of *Kochia indica* grown in saline habitat. *Environment Treat Technology*, 1(1), 56-61.
57. Tsubo, M., Mukhala, E., Ogindo, H. O., & Walker, S. (2003). Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. *Water Salinity*, 29(4), 381-388. <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5038>
 58. Tosti, G., Benincasa, P., Farneselli, M., Tei, F., & Guiducci, M. (2014). Barley-hairy vetch mixture as cover crop for green manuring and the mitigation of N leaching risk. *European Journal of Agronomy*, 54, 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2013.11.012>
 59. Tribouillois, H., Cruz, P., Cohan, J. P., & Justes, É. (2015). Modelling agroecosystem nitrogen functions provided by cover crop species in bispecific mixtures using functional traits and environmental factors. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 207, 218-228. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.016>
 60. Valizadeh, R., Mahmoudi-Abyane, M., & Ganjavi, R. (2016). Chemical composition, in vitro digestibility and fermentative gas production of *Kochia scoparia* irrigated by water containing different level of salinity. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 8(2), 238-247. (in Persian with English abstract). <https://doi.org/10.22067/IJASR.V8I2.27715>
 61. Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Cornell Univ. Press, Ithaca, NY. 476 Pp.
 62. Waldron, B. L., ZoBell, D. R., Olson, K. C., Jensen, K. B., & Snyder, D. L. (2006). Stockpiled forage kochia to maintain beef cows during winter. *Rangeland Ecology & Management*, 59(3), 275-284. <https://doi.org/10.2111/05-121R1.1>
 63. Xie, Y., & Kristensen, H. L. (2017). Intercropping leek (*Allium porrum* L.) with dyer's woad (*Isatis tinctoria* L.) increases rooted zone and agro-ecosystem retention of nitrogen. *European Journal of Agronomy*, 82, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.09.017>
 64. Yilmaz, Ş., Özel, A., Atak, M., & Erayman, M. (2015). Effects of seeding rates on competition indices of barley and vetch intercropping systems in the Eastern Mediterranean. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 39(1), 135-143. <https://doi.org/10.3906/tar-1406-155>
 65. Yolcu, H., Gunes, A., & Turan, M. (2009). Evaluation of annual legumes and barley as sole crops and intercrop in spring frost conditions for animal feeding II. Mineral Composition. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 7, 1343-1348.

Contents

Research Articles

- Determining Some Morphophysiological Traits Affecting the Root-to-Shoot Ratio in Different Cultivars of Barley (*Hordeum vulgare* L.)** 121
R. Najib, M. Farsi, M. Zare Mehrjardi, N. Moshtaghi
- Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Physiological Indices and Induction of Terminal Heat Stress Tolerance of Quinoa in Ahvaz** 137
S. Ghalambaz, H. Roshanfekr, A. Rahnama Ghahfarokhi, A. Monsefi
- Effect of Nitrogen Sources on Quantitative and Qualitative Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Competition with Weeds** 155
F. Alaei, S. Maleki Farahani, H. Habibi, M. H. Fotokian, M. Khodadadi
- Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions** 169
F. Golestanifar, S. Mahmoodi, H. R. Fallahi, A. Shahidi
- Effects of Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Nanoparticles on the Dry Matter Transfer Process and Yield Triticale (*Triticosecale Wittmack*) under Irrigation Regimes** 197
F. Aghaei, R. Seyed Sharifi, S. Farzaneh
- Evaluation of Agricultural Characteristics and Yield of Different Populations of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) Collected from Different Regions of Iran** 211
B. Gholizadeh-Khajeh, J. Shafagh-Kolvanagh, S. Zehtab-Salmasi, M. Moghaddam Vahed, M. Amani
- Evaluation of Yield, Yield Components, and Forage Quality in the Intercropping of Kochia (*Kochia scoparia* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata*)** 227
E. Mish Mast, M. Dahmardeh, M. Galavi, I. Khammari

Iranian Journal of Field Crops Research

Ferdowsi University of Mashhad
Center of Excellence for Special Crops (CESC)

Vol. 22

No. 2

2024

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	Prof., University of Birjand
Raee, Y.	Plant Eco physiology	Prof., Tabriz University
Rahimian-Mashhadi, H.	Crop Physiology	Prof., Tehran University
Zamani, Gh.R.	Crop Physiology	Assoc. Prof., University of Birjand
Zare- Feizabadi, A.	Crop Ecology	Prof., Agriculture and Natural Resources Research Center of Khorasan Razavi Province
Shahriari-Ahmadi, F.	Genetic and Plant Breeding	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Kafi, M.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Nezami, A.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Khazaei, H.R.	Crop Physiology	Prof., Ferdowsi University of Mashhad
Eyshi Rezaei, E.	Crop modeling	Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research: Müncheberg, Brandenburg, Germany
Lashakri, A.	Environmental Plant Physiology	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.22 No.2

2024

Iranian Journal of Field Crops Research

ISSN:2008-1472

Contents

Research Articles

- Determining Some Morphophysiological Traits Affecting the Root-to-Shoot Ratio in Different Cultivars of Barley (*Hordeum vulgare* L.)** 121
R. Najib, M. Farsi, M. Zare Mehrjardi, N. Moshtaghi
- Effect of Salicylic Acid Foliar Application on Physiological Indices and Induction of Terminal Heat Stress Tolerance of Quinoa in Ahvaz** 137
S. Ghalambaz, H. Roshanfekr, A. Rahnama Ghahfarokhi, A. Monsefi
- Effect of Nitrogen Sources on Quantitative and Qualitative Yield of Coriander (*Coriandrum sativum* L.) in Competition with Weeds** 155
F. Alaei, S. Maleki Farahani, H. Habibi, M. H. Fotokian, M. Khodadadi
- Effect of Planting Date and Moisture Levels on Some Physiological and Biochemical Traits of Quinoa Cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Birjand and Sarbisheh Regions** 169
F. Golestanifar, S. Mahmoodi, H. R. Fallahi, A. Shahidi
- Effects of Inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria and Nanoparticles on the Dry Matter Transfer Process and Yield Triticale (*Triticosecale Wittmack*) under Irrigation Regimes** 197
F. Aghaei, R. Seyed Sharifi, S. Farzaneh
- Evaluation of Agricultural Characteristics and Yield of Different Populations of Dragon's Head (*Lallemantia iberica* Fisch. et Mey) Collected from Different Regions of Iran** 211
B. Gholizadeh-Khajeh, J. Shafagh-Kolvanagh, S. Zehtab-Salmasi, M. Moghaddam Vahed, M. Amani
- Evaluation of Yield, Yield Components, and Forage Quality in the Intercropping of Kochia (*Kochia scoparia* L.) and Cowpea (*Vigna unguiculata*)** 227
E. Mish Mast, M. Dahmardeh, M. Galavi, I. Khammari