

Physiological responses of some barley genotypes (*Hordeum vulgare*) under dust stress condition

A. Abasmanesh¹, A. Fazeli^{2*}, R. Haghy Darehdeh³

1. Phd student in Plant Breeding, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

2. Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

3. Gene Bank Researcher, Institute of Plant Genetics and Crop Plants (IPK) Germany

Received 22 November 2023; Accepted 7 February 2024

Extended abstract

Introduction

Cereals are among the most vital agricultural products on a global scale, with an estimated annual production of around 904 million tons. Barley (*Hordeum vulgare*), a species within the Gramineae family, ranks as the fourth most important grain crop worldwide based on production. It is also the second most extensively cultivated cereal, covering 18% of the total cultivation area. This plant, which is currently at risk, demonstrates a considerable tolerance to non-living stresses. Abiotic stresses influence living organisms in diverse manners. In recent years, dust has emerged as a significant environmental challenge in western and southern Iran, leading to a reduction in soil moisture retention and negatively affecting plant health. Plants, due to their immobility, are particularly vulnerable to the adverse effects of air pollution compared to other organisms. Additionally, dust diminishes soil fertility, contributing to lower agricultural productivity and economic losses. The presence of dust on leaves further complicates these issues by obstructing light penetration, disrupting photosynthesis, reducing biomass production, and ultimately decreasing crop yields. This research seeks to analyze the impact of dust on the physiological characteristics of different barley genotypes.

Materials and methods

The research was conducted during the agricultural year 2022-2023 at the Faculty of Agriculture's research greenhouse at Ilam University. A factorial design was employed within a randomized complete block structure, incorporating three replications. The experimental factors included micro-dust treatments at two levels (with and without dust) and a selection of ten barley genotypes sourced from the IPK Institute's seed bank in Germany. To simulate dust stress, soil was collected from the Mehran region, sieved through 53-micron screens, and analyzed for physicochemical properties (refer to Table 2). A plastic chamber measuring 150 x 2.20 x 3.40 meters (length x width x height) was constructed to mimic conditions of a dust storm. Dust was applied during the seedling phase, and physiological traits such as leaf chlorophyll content, leaf soluble protein concentration, leaf proline content, and leaf soluble carbohydrates were evaluated ten days after the dust application. Following the assessment of these traits, variance analysis and mean comparisons were conducted using SAS 9.4 software, while graphs were generated using the GraphPad program. Mean comparisons were performed using the LSD (least significant difference) test at a 5% probability level, and correlation comparisons along with principal component analysis were executed using JMP software.

* Corresponding author: Arash Fazeli; E-Mail: a.fazeli@ilam.ac.ir



Results and discussion

The results of this research highlighted the importance of the cultivar×dust interaction in influencing the levels of chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, carotenoids, ion leakage, relative water content (RWC), proline, catalase, and sugars, all at a significance level of 1%. In contrast, neither dust nor dust treatment showed a significant effect on protein content. Exposure to dust resulted in decreased levels of chlorophyll, ion leakage, relative water content, and protein, while it caused increases in proline, catalase, and soluble sugars. Correlation analysis revealed a positive relationship among photosynthetic pigments, whereas their association with relative water content was negative. Furthermore, a strong positive correlation ($r = 1$) was identified between protein and carbohydrates. Factor analysis conducted on the examined traits identified three factors with eigenvalues exceeding one, which collectively accounted for 99.72% of the total data variation. Notably, relative water content exhibited a significant positive correlation with protein ($r=0.758$) at the five percent significance level.

Conclusion

The findings indicate that dust stress negatively impacted photosynthesis, ion leakage, relative water content, and protein levels, while simultaneously elevating carotenoids, proline, catalase, and soluble carbohydrates. The effects of dust stress varied across different cultivars, with certain traits in specific cultivars showing increased vulnerability. Remarkably, the HOR6964 genotype demonstrated a higher level of resilience in comparison to other genotypes.

Keywords: Chlorophyll, Compatible osmolytes, correlation coefficient, antioxidant enzymes, Physiological traits

پاسخ فیزیولوژیکی برخی ژنوتیپ‌های جو زراعی (*Hordeum vulgare*) به تنش گردوغبار

اکرم عباس‌منش^۱، آرش فاضلی^{۲*}، رضا حقی‌دره‌ده^۳

۱. دانشجوی دکتری اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

۲. دانشیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام

۳- محقق بانک ژن، موسسه ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK) آلمان

مشخصات مقاله	چکیده
واژه‌های کلیدی: اسمولیت‌های سازگار آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کلروفیل ضریب همبستگی خصوصیات فیزیولوژیکی	جو (<i>Hordeum vulgare</i>) یکی از گیاهان خانواده گرامینه و چهارمین محصول غلات از نظر میزان تولید است. این گیاه در مواجهه با تنش‌های غیرزنده نسبتاً متحمل است. تنش‌های غیرزیستی، از طرق مختلف بر موجودات زنده تأثیر می‌گذارند. یکی از تنش‌های غیرزیستی که اخیراً در ایران تأثیرات منفی چشمگیری روی رشد و عملکرد گیاهان می‌گذارد، گردوغبار است که اثرات مخربی روی رشد، تولید و بسیاری از فرایندهای متابولیک گیاه دارد. به‌منظور بررسی گردوغبار بر روی ژنوتیپ‌های مختلف جو آزمایشی در سال زراعی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ در گلخانه پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام صورت گرفت. این پژوهش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارهای آزمایشی شامل گردوغبار در ۲ سطح (اعمال گردوغبار و بدون اعمال گردوغبار) و ده ژنوتیپ مختلف جو بودند. پاشش گردوغبار در مرحله گیاهچه‌ای صورت گرفت. سپس ۱۰ روز پس از اعمال گردوغبار، صفات فیزیولوژیکی از جمله محتوای کلروفیل برگ، غلظت پروتئین محلول در برگ، کربوهیدرات‌های محلول در برگ و مقدار پرولین برگ سنجش شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ × گردوغبار بر میزان کلروفیل a، b، کل، کارتنوئید، پایداری غشای سلولی، RWC، پرولین، کاتالاز، قند در سطح یک درصد معنی‌دار بود، این در حالی است که گردوغبار اثر معنی‌داری بر مقدار پروتئین نداشت. گردوغبار سبب کاهش کلروفیل، نش‌یونی، محتوای نسبی آب و پروتئین و افزایش پرولین، کاتالاز و قندهای محلول شده است. تأثیر تنش گردوغبار روی کلیه صفات در ژنوتیپ‌های مختلف به یک نسبت نبوده و در برخی صفات برخی ژنوتیپ‌ها بیشتر متأثر بوده است. نتایج کلی نشان داد که ژنوتیپ‌های <i>Hordeum vulgare</i> 9448 و <i>Hordeum vulgare</i> 4567 تحمل بالاتری به تنش گردوغبار نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند.

مقدمه

از نظر تأمین سلامت انسان بسیار مهم تلقی می‌شوند (Baik and Ullrich, 2008). این گیاه، در آمریکای شمالی و اروپا در تغذیه دام و صنایع مالت مورد استفاده قرار گرفته و غذای اصلی بسیاری از مردمان کشورهای آفریقایی، آسیایی و اروپایی را تشکیل می‌دهد (Mohammadi et al., 2014; Ramazani and Adibipour, 2019). در سال‌های اخیر، تحقیقات انجام‌شده، نشان می‌دهند که جو برای سلامتی

جو (*Hordeum vulgare* L.) از مهم‌ترین غلات جهان و ایران است. رتبه چهارم بعد از گندم، برنج و ذرت را در بین غلات از نظر میزان تولید دارد. به دلیل سازگاری با ارتفاعات بالا، خشکی و شوری خاک غذای اصلی بسیاری از مناطق جهان است (Baik and Ullrich, 2008). دانه جو حاوی کربوهیدرات‌های پیچیده (عمدتاً نشاسته)، مواد معدنی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها به‌ویژه ویتامین E، آنتی‌اکسیدان‌ها، پلی‌فنول‌های اولیه و فیبرهای محلول و نامحلول است که

انسان مفید است؛ از این رو گرایش بیشتری به مصرف جوهای خوراکی دیده می‌شود (Sullivan et al., 2013).

امروزه یکی از چالش‌های کشاورزی در ایران، تنش‌های محیطی از جمله تنش گردوغبار است. گردوغبار در حال تبدیل شدن به یک چالش بزرگ برای جو، سلامت انسان، فیزیولوژی گیاهان و تعاملات اکولوژیکی آنها است (Singh et al., 2020). پدیده گردوغبار ناشی از جابجایی ذرات گردوغبار توسط باد است. گردوغبار به ذرات معلق جامد در هوا که معمولاً قطر بسیار ریزی (۱ تا ۵ میکرون) دارند و در اثر وزش باد تا مسافت طولانی انتقال می‌یابند گفته می‌شود (Abdel-Hamza et al., 2023). گردوغبار به‌عنوان یک پدیده‌ی جوی و از رخدادهای طبیعی به حساب می‌آید که ناشی از تغییرات آب و هوایی نیز هست و اخیراً در نواحی غرب و جنوب غرب ایران از مسیر طبیعی خود خارج شده و تعداد روزهای بیشتری از سال را به خود اختصاص داده است. گردوغبار اثرات زیست‌محیطی مخرب زیادی مانند از دست دادن حاصلخیزی خاک یا آسیب مستقیم به محصولات، در نتیجه کاهش محصولات کشاورزی و خسارات اقتصادی در مقیاس بزرگ بجا می‌گذارد (Najafi Zilaie et al., 2022). برگ‌های پوشیده از گردوغبار، نور کمتری را برای فتوسنتز دارند. در نتیجه، منجر به کاهش زیست‌توده و عملکرد گیاه می‌شود (Habibpour et al., 2020). شریفی و همکاران (Sharifi et al., 2019) در بررسی اثر گردوغبار بر عملکرد دانه و برخی ویژگی‌های فیزیولوژیک و بیوشیمی گندم در غرب ایران گزارش نمودند که در شرایط عدم شستشوی سطح تاج‌پوشش، کمترین عملکرد دانه متعلق به رقم به‌رنگ و بالاترین میزان عملکرد مربوط به رقم پیشگام است. تیمار شستشوی تاج‌پوشش در مقایسه با تیمار عدم شستشو به‌طور معنی‌داری سبب بالا رفتن عملکرد دانه (به‌طور متوسط ۱۸ درصد) شده و علاوه بر این میزان فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، شاخص بقای برگ، کلروفیل b، غلظت پروتئین‌های محلول و کارتنوئیدها را به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. شریفی کالیانی و همکاران (Sharifi Kaliani et al., 2021) در بررسی اثرات گردوغبار بر ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیکی لوبیا، گوجه‌فرنگی و خیار نشان دادند که اثر گردوغبار بر محتوی کلروفیل کل و کلروفیل a، پروتئین، پروتئین و کربوهیدرات در آب معنی‌دار بود، در حالی که گردوغبار اثر معنی‌داری بر محتوی کلروفیل b و قند محلول در الکل نداشت. به‌طور کلی گردوغبار از طریق

کاهش میزان کلروفیل، پروتئین محلول و کربوهیدرات‌ها در برگ و افزایش میزان پروتئین باعث کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه و برگ در لوبیا، گوجه‌فرنگی و خیار و نیز کاهش معنی‌دار ارتفاع در لوبیا و خیار شد که این صدمات ممکن است به دلیل کاهش فتوسنتز در محصولات زراعی باشد. حبیب‌پور و همکاران (Habibpour et al., 2020) در بررسی تأثیر تجمع گردوغبار بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا گزارش دادند که بسته به زمان، اعمال گردوغبار باعث کاهش عملکرد دانه سویا می‌شود که به احتمال زیاد به دلیل بسته شدن روزنه برگ، کاهش تولید دانه و وزن صد دانه است. در مطالعه‌ای که بازگیر و همکاران (Bazgeer et al., 2022) بر روی رشد و ویژگی‌های زایشی انگور در شرایط گردوغبار داشتند، گزارش کردند که تیمار دیوکتیل و گردوغبار به ترتیب با ۱۲ و ۴/۵ کیلوگرم در تاک کمترین عملکرد را داشته است. همچنین، ذرات گردوغبار به‌طور قابل توجهی باعث کاهش تشکیل میوه، خوشه در هر دسته، وزن خوشه، طول ساقه، وزن خشک برگ و رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی شد. فرخ‌نواز و همکاران (Nawaz et al., 2022) در بررسی سطوح مختلف گردوغبار بر سه گونه درختی اکالیپتوس کامالدولنسسیس (*Eucalyptus camaldulensis*)، کنوکارپوس ارکتوس (*Conocarpus erectus*) و بومباکس سیبا (*Bombax ceiba*) گزارش دادند که گونه بومباکس سیبا در مقایسه با دو گونه درختی دیگر تحت سطوح مختلف گردوغبار متحمل‌تر بوده است. گونه درختی بومباکس سیبا با از بین بردن تنش‌های اکسیداتیو و تولید SOD، POD و CAT مقاومت بیشتری نشان داده است. جوانمرد و همکاران (Javanmard et al., 2020) در بررسی اثرات گردوغبار خاک بر پاسخ‌های مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی چهار گونه درختی مناطق نیمه‌خشک، به این نتیجه دست یافتند که در همه گونه‌ها، گردوغبار باعث کاهش سطح برگ، قطر ساقه، ارتفاع برگ، اندام هوایی، ریشه و زیست‌توده کل شد اما نسبت ریشه به ساقه را افزایش داد. فتوسنتز، تعرق، رسانایی روزنه‌ای، هدایت مزوفیل، pH عصاره برگ، Fv/Fm و t1/2 کاهش و دمای برگ و کارایی مصرف آب افزایش یافت. به همین ترتیب، کلروفیل a، کلروفیل b، کاروتنوئید و کلروفیل کل کاهش یافت. *M. alba* دارای بیشترین پتانسیل تجمع گردوغبار در خاک بود اما کمترین کاهش را در خواص مورد مطالعه داشت. اما *C. caucasica* دارای پتانسیل تجمع گردوغبار بالا است، اما به‌شدت تحت تأثیر تیمار گردوغبار قرار گرفت. جریان

بافت برگ گیاه به طور معنی داری افزایش یافت (Hatami et al., 2018). هدف از این پژوهش بررسی تأثیر گردوغبار روی برخی صفات فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های مختلف جو است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در محیط گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام، بر اساس یک طرح آزمایشی فاکتوریل به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل ۱۰ ژنوتیپ جو مختلف که از بانک بذر مؤسسه IPK کشور آلمان تهیه شده بودند (جدول ۱) و تنش گردوغبار در دو شرایط (تنش و نرمال) صورت گرفت. خاک مورد نیاز برای اعمال تنش گردوغبار از منطقه مهران جمع‌آوری و با الک‌های ۵۳ میکرون الک گردید. سپس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بررسی شد. ابعاد غباردهی به ابعاد ۱۵۰×۲۰×۳/۴ سانتیمتر (طول×عرض×ارتفاع) طراحی شده و از فن و کولر جهت پاشیدن گردوغبار استفاده گردید (Sharifikaliani et al., 2021; Mousavi et al., 2023). سپس در مرحله گیاهچه‌ای (۵-۴ برگی)، در سه مرحله به فاصله ۳ روز یک‌بار، گیاهچه‌ها در معرض گردوغبار قرار گرفتند. میزان گردوغبار در هر مرحله پاشش ۳۰ گرم بود. ۱۰ روز بعد از اعمال تنش نمونه برگی گرفته شد و در ازن مایع منجمد گردید سپس به فریزر ۸۰- منتقل شدند (Sharifikaliani et al., 2021).

گردوخاک باعث علائم نکروز و سوختگی برگ ماش و تاج‌خروس می‌گردد. گردوخاک میزان کلروفیل، مقدار رطوبت نسبی برگ، ارتفاع بوته و طول گل‌آذین در گیاه تاج‌خروس را کاهش داد. سرعت فتوسنتز، سرعت تعرق، سطح برگ، ارتفاع بوته، تعداد غلاف در بوته و تعداد دانه در بوته ماش با اعمال گردوخاک کاهش یافت (Mousavi et al., 2023). عباس‌نسب و همکاران (Abbasnasab et al., 2019) در مطالعه اثر گردوغبار بر برخی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیکی دو گونه *Bromus tomentellus* و *Medicago sativa* داشتند به این نتیجه دست یافتند که در هر دو گونه مورد بررسی، گردوغبار بر کلروفیل تأثیر معنی‌داری نداشت ولی فتوسنتز و هدایت‌روزنه‌ای کاهش یافت. به صورت کلی گردوغبار به‌ویژه برای گونه لگوم فعالیت‌های فیزیولوژیکی را محدود نموده و گیاه با افزایش زی‌توده زیرزمینی با شرایط تنش سازگار می‌گردد. غلظت گردوغبار بر اکثر صفات مورد مطالعه در هر دو گیاه گندم و لوبیا چشم‌بلبلی اثر معنی‌دار داشت. در مورد گندم صفات تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه گندم در هر دو منطقه تحت تأثیر غلظت گردوغبار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند. محتوای کل قندهای محلول در بافت برگ گیاه در اثر غلظت گردوغبار افزایش یافت. در مورد گیاه چشم‌بلبلی عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه لوبیا چشم‌بلبلی تحت تأثیر گردوغبار کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان داد، اما محتوای کل قندهای محلول و پرولین در

جدول ۱. نام ژنوتیپ‌های کشت شده

Table 1. Names of cultivated genotypes

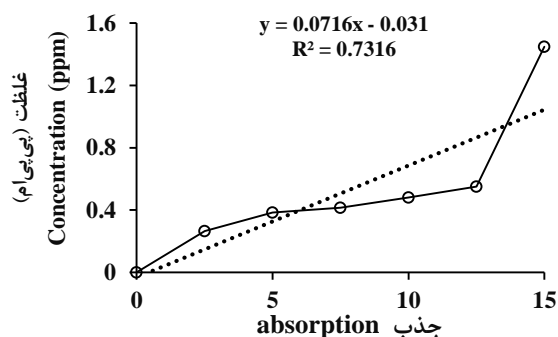
Genotype name	نام ژنوتیپ	<i>Hordeum vulgare</i> 1419	<i>Hordeum vulgare</i> M	<i>Hordeum vulgare</i> 3624	<i>Hordeum vulgare</i> 9448	<i>Hordeum vulgare</i> 4567
Origin	منشأ	USA	USA	CSK	ITA	BEL
Genotype name	نام ژنوتیپ	<i>Hordeum vulgare</i> BCC60	<i>Hordeum vulgare</i> 6964	<i>Hordeum vulgare</i> 567N	<i>Hordeum vulgare</i> 2494	<i>Hordeum vulgare</i> 16645
Origin	منشأ	GEO	USA	ISR	NOR	GBR

آب‌گیری کامل) در محیط آزمایشگاهی به مدت ۲۴ ساعت با دمای حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و بعد از تبخیر آب سطحی با استفاده از کاغذ صافی دوباره وزن گردیدند (وزن اشباع TW). سپس برگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از سپری شدن زمان مورد نظر نمونه‌ها توزین شده تا وزن خشک

صفات فیزیولوژیک مورد ارزیابی

سنجش محتوای نسبی آب برگ: بدین منظور مقدار یکسانی از برگ‌های جوان انتخاب و از هر نمونه جدا شد. پس از جدا نمودن برگ‌ها از گیاه، نمونه‌ها سریعاً به وسیله ترازوی دیجیتال (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) در آزمایشگاه توزین شده (وزن اولیه FW). پس از قرارگیری در آب مقطر (جهت

سوپرنانت به دست آمده به میزان ۰/۵ میلی لیتر برداشته و یک میلی لیتر از معرف ناین هیدرین (حاوی ۲/۵ گرم ناین هیدرین در ۱۰۰ میلی لیتر اسید استیک گلاسیال) به محلول اضافه شد. پس از اختلاط واکنش به مدت ۳۰ دقیقه در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت. بعد از آن برای متوقف شدن فعالیت آنزیمها نمونهها به مدت پنج دقیقه بر روی سطح یخ قرار داده شدند. پس از سرد شدن نمونهها میزان جذب آنها در طول موج ۵۰۸ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر سنجش شد. برای رسم منحنی استاندارد پرولین از غلظت‌های صفر، ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۲/۵، ۱۵ میکرومولار استفاده شد (شکل ۱).



شکل ۱. نمودار استاندارد پرولین

Fig. 1. standard diagram of proline

مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ: برای محاسبه مقدار کربوهیدرات‌های محلول برگ از روش ایریگوین و ایمریچ (Irigoyen and Eimerich, 1992) استفاده گردید. برای این روش ابتدا ۰/۱ گرم برگ تازه وزن شده و در هاون چینی با ۵ میلی لیتر اتانول ۹۵٪ پودر شد بعد از آن محلول رویی را در فالکون ریخته و باقی مانده‌ی برگی مجدداً با ۱۰ میلی لیتر اتانول ۷۰٪ ساییده شد. مایع حاصل شده به مدت ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. سپس ۰/۱ میلی لیتر از عصاره‌ی الکلی سرد شده را توسط سمپلر برداشته و در لوله آزمایش ریخته و ۳ میلی لیتر آنترون تازه تهیه گردیده (۱۵۰ میلی گرم آنترون + ۱۰۰ میلی لیتر اسیدسولفوریک ۷۲٪) به آن اضافه شد. لوله‌های آزمایش را به مدت ۱۰ دقیقه در بن ماری قرار داده تا ماده‌ی رنگی به دست آید. پس از سرد شدن نمونهها میزان جذب آنها در طول موج ۶۲۵ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر سنجش شد. غلظت کربوهیدرات‌های محلول

به دست آید (وزن خشک DW). بدین صورت محتوای نسبی آب برگ‌ها از طریق رابطه زیر محاسبه گردید (Ishibashi et al., 2011).

$$RWC = \left\{ \frac{(FW-DW)}{(TW-DW)} \right\} \times 100 \quad [1]$$

سنجش درصد نشت یونی: ۰/۵ گرم از برگ گیاهان جدا گردید. پس از آن نمونهها به مدت ۲۴ ساعت در آب مقطر در دمای اتاق نگه‌داشته و نشت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر مدل کریسون GLP31 مورد بررسی قرار گرفت (EC۱). بدین منظور سنجش میزان کل نشت یونی ناشی از مرگ سلول‌ها، فالکون‌ها به مدت ۳۰ دقیقه در حمام آب گرم در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد قرار داده شدند و پس از خنک شدن لوله‌های آزمایش، هدایت الکتریکی نمونهها مجدداً مورد ارزیابی قرار گرفتند (EC۲). در نتیجه درصد نشت یونی با استفاده از رابطه زیر مورد ارزیابی قرار گرفت (Lutts et al., 1996).

$$MCI = 1 - \frac{(EC1)}{(EC2)} \times 100 \quad [2]$$

سنجش کلروفیل: برای سنجش این صفات (۰/۱ گرم از نمونه‌های تازه را برای دستیابی به محلول یکنواخت با ۳ میلی لیتر استون ۸۰ درصد پودر گردید، در نهایت نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در سانتریفیوژ با دور ۳۵۰۰ سانتریفیوژ شد، به ۱ میلی لیتر از محلول مایع رویی ۲ میلی لیتر استون ۸۰ درصد اضافه نموده تا نمونهها برای خوانش مهیا شوند. در نتیجه غلظت کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید با استفاده از روابط زیر در طول موج‌های ۶۴۶، ۶۶۳، ۶۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر SPEECORD 50 n (آلمان) قرائت گردید (Porra, 2002).

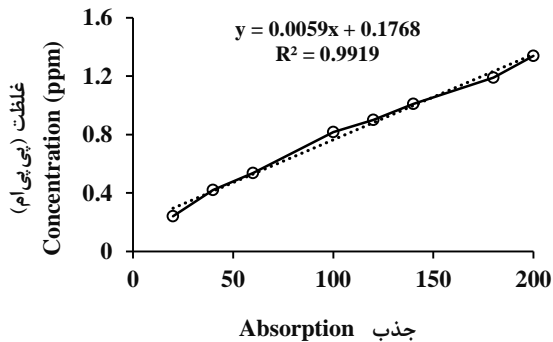
$$Chl a = \{(12.25 \times A663) - (2.55 \times A646)\} \quad [3]$$

$$Chl b = (20.31 \times A646) - (4.91 \times A663) \quad [4]$$

$$Chl t = (17.76 \times A646) + (7.37 \times A663) \quad [5]$$

$$Car = \{ \{ (1000 \times A470) - (3.27 \times Chl a) \} - 104 \{ Chl b \} \times (5.227 \times 0.25) \} \quad [6]$$

سنجش پرولین: به منظور سنجش مقدار پرولین از روش بیتیس و همکاران (Bates et al., 1973) با اندکی تغییرات (Shabnam et al., 2016) استفاده شد. بر این اساس ۰/۲ گرم از بافت گیاه با ازت مایع در هاون چینی پودر شد. پس از آن برای دستیابی به مخلوط یکنواخت ۲ میلی لیتر اسید سولفوسالسیلیک ۳ درصد اضافه گردید. مخلوط به دست آمده را ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ نموده از



شکل ۳. نمودار استاندارد پروتئین کل به روش برادفورد (۱۹۷۶)
Fig. 3. Standard diagram of total protein according to Bradford (1976) method

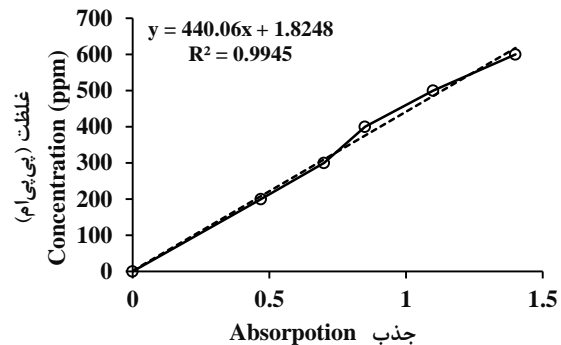
محاسبه فعالیت آنزیم کاتالاز: فعالیت آنزیم کاتالاز بر اساس روش دهنیدا و همکاران (Dhindsa et al., 1981) سنجش گردید. مخلوط واکنش شامل ۳۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار، ۲/۵ میلی‌لیتر بافر فسفات پتاسیم ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب مقدار تجزیه شدن پراکسید هیدروژن در طول موج ۲۴۰ نانومتر و با استفاده از ضریب خاموشی $39/4 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ مورد محاسبه قرار گرفت. در نتیجه فعالیت آنزیم کاتالاز برحسب رابطه زیر محاسبه و بر اساس واحد آنزیمی در میلی‌گرم پروتئین گزارش شد.

$$\text{Enzyme activity} \left(\frac{u}{ml} \right) = \Delta A \times 5 \times V \times D / \epsilon \times l \times t \times V_s \quad [V]$$

U: واحد آنزیمی، ΔA : تفاوت جذب در ابتدا و انتهای مدت زمان قرائت آنزیم، d: فاکتور رقت، V_s : حجم نمونه، t: مدت زمان واکنش (در این آزمایش دو دقیقه بوده است)، V: حجم مخلوط واکنش، ϵ : ضریب خاموشی آنزیم، l: طول مسیر عبور نور از مخلوط واکنش (برابر یک است).

پس از محاسبه صفات مورد بررسی تجزیه واریانس و مقایسات میانگین داده‌ها به وسیله نرم‌افزار SAS 9.4 صورت گرفت. رسم نمودارها در محیط برنامه گراف پد انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون LSD (حداقل اختلاف معنی‌دار) در سطح احتمال پنج درصد محاسبه گردید. مقایسه همبستگی و تجزیه به مؤلفه‌های اصلی با نرم‌افزار JMP صورت گرفت.

برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه‌ی برگ با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار استاندارد کربوهیدرات‌های محلول روش ایرگوبین و ایمریچ (۱۹۹۲)

Fig. 2. The standard chart of soluble carbohydrates by the method of Irguin and Emmerich (1992)

تهیه عصاره آنزیمی برای سنجش آنزیم‌ها: ابتدا ۰/۲ گرم از بافت تازه گیاه را در ۵ میلی‌لیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (PH=۷/۵) که شامل پلی‌وینیل پیرولیدین ۱ (PVP) درصد و ۱ میلی‌مولار EDTA بود پودر گردید. همه‌ی مراحل استخراج روی یخ صورت گرفت. در ادامه عصاره‌ها به تیوب‌ها منتقل شده و به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۵۰۰۰ دور و در دمای ۴ درجه سلسیوس سانتریفیوژ شدند. برای سنجش فعالیت آنزیم‌ها از سوپرنات استفاده گردید.

سنجش پروتئین: برای محاسبه مقدار پروتئین‌های محلول در برگ از روش برادفورد (Bradford, 1976) استفاده شد. بر این اساس، یک میلی‌لیتر از معرف برادفورد با ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی مخلوط گردید سپس جهت قرائت از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده و جذب آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر خوانش شد. برای رسم منحنی استاندارد پروتئین برحسب میلی‌گرم بر گرم بافت تازه گیاه در غلظت‌های ۲۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم بر لیتر که از سرم آلبومین گاوی تهیه شده بود محاسبه گردید (شکل ۳).

تهیه معرف برادفورد: ابتدا ۰/۱ گرم از کوماسی بلو در ۵۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۶ درصد حل گردید پس از آن ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد به آن اضافه شد. در نتیجه حجم نهایی محلول با استفاده از آب مقطر استریل به یک لیتر رسانده شد. سپس محلول حاصل از کاغذ صافی عبور داده و در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

نتایج و بحث

۶) میلی گرم بر گرم) و کمترین میزان مربوط به ژنوتیپ HOR6964 (شاهد) بود. کلروفیل، رنگدانه سبز موجود در کلروپلاست، نور خورشید را جذب کرده و از دی اکسید کربن و آب، اکسیژن و کربوهیدرات تولید می نماید. وظیفه اصلی کلروفیل در فتوسنتز و تولید انرژی از نور خورشید است. مطالعات مختلف نشان می دهند که کلروفیل به عنوان مهم ترین رنگیزه فتوسنتزی تحت تنش های زیستی و غیرزیستی از جمله گردوغبار است. کاهش این رنگیزه تحت تنش گردوغبار احتمالاً به دلیل رسوب این ذرات و ایجاد سایه بر سطح برگ و نیز مسدود شدن روزنه ها باشد (Horton and Roban, 2005). از دلایل دیگر کاهش رنگدانه کلروفیل، می تواند اسیدی شدن بافت برگ با تغییر pH سطح برگ از طریق رسوب گردوغبار باشد. pH زیر ۷ ذرات گردوخاک موجب آسیب به کلروفیل شده که نقش مهمی در کاهش محتوای کلروفیل دارد (Wen et al., 2011). نتایج حاصل با نتایج فرخ نواز و همکاران (Nawas et al., 2022) مطابقت دارد.

نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس داده ها نشان داد که اثر برهمکنش گردوغبار در ژنوتیپ بر روی کلروفیل a و b، کلروفیل کل، کارتنوئید، نشت یونی، محتوای نسبی آب، پرولین، کاتالاز و قند در سطح یک درصد معنی دار شدند؛ ولی در پروتئین معنی دار نبود. اثر ژنوتیپ های مختلف در همه ی صفات مورد بررسی به جز محتوای نسبی آب در سطح یک درصد معنی دار شد (جدول ۲).

تأثیر گردوغبار بر کلروفیل

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نشان می دهد که گردوغبار باعث کاهش محتوای کلروفیل a، b و کل شده است. همچنین ژنوتیپ های مختلف از نظر کاهش این رنگیزه با یکدیگر تفاوت معنی داری داشتند و بیشترین کلروفیل در ژنوتیپ HOR9567 تحت تنش (کلروفیل a ۱۶/۱۱) (شکل ۴)، کلروفیل b ۷/۵۸) (شکل ۵) و کلروفیل کل ۲۳/۶۹) (شکل ۴)،

جدول ۲. نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر گردوغبار بر روی صفات فیزیولوژیک

Table 2. The results of variance analysis of the effect of dust on physiological traits

Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی Df	Mean squares				
			کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b	کلروفیل کل Chlorophyll total	کارتنوئید Carotenoid	نشت یونی electrolyte leakage
Replication	تکرار	2	1.467	0.132	2.453	0.027	1.185
Dust (D)	گردوغبار	1	20.63**	2.17*	36.25**	0.311**	284.734**
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	116.85**	27.66**	256.35**	0.686**	28.785**
D × G	گردوغبار × ژنوتیپ	9	33.17**	4.76**	60.82**	0.287**	28.928**
Error	خطا	40	1.66	0.492	3.05	0.011	8.953
CV(%)	ضریب تغییرات		15.94	16.43	14.113	18.371	3.646

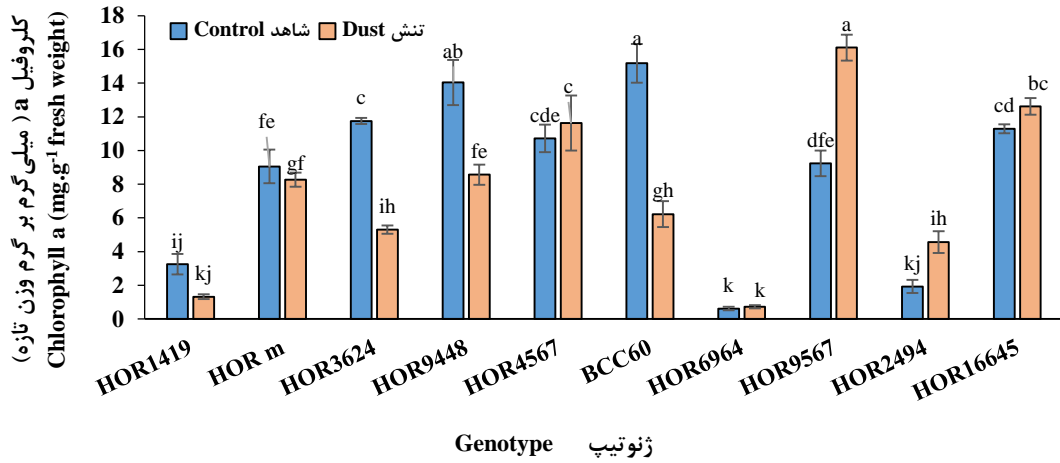
Table 2. Continued

جدول ۲. ادامه

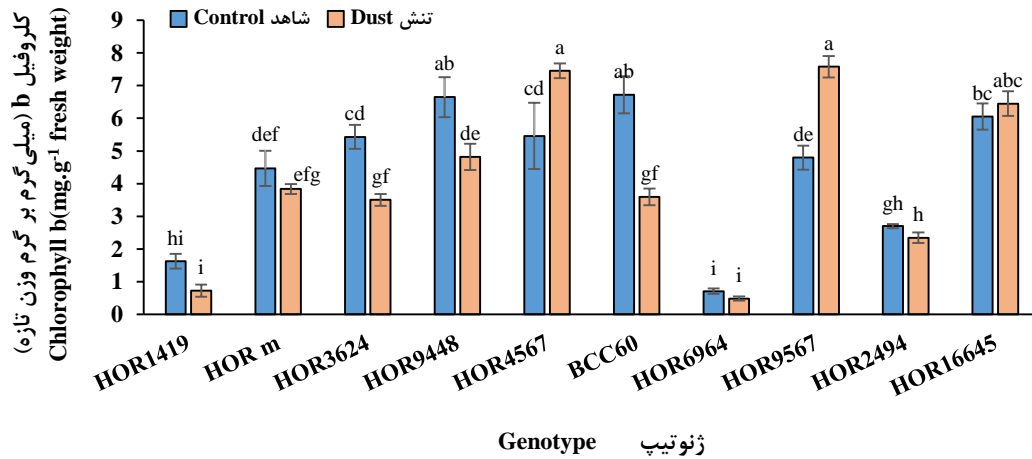
Source of Variation	منبع تغییرات	درجه آزادی Df	Mean squares				
			محتوای نسبی آب Relative water Content	پرولین Proline	کاتالاز Catalase	پروتئین Protein	کربوهیدرات محلول Soluble carbohydrates
Replication	تکرار	2	14.217	0.0209	0.00000039	0.0305	5.25
Dust (D)	گردوغبار	1	275.1185*	3.092**	0.00031**	3.134**	1.032**
Genotype (G)	ژنوتیپ	9	176.906*	2.082**	0.00011**	0.196**	8.87**
D × G	گردوغبار × ژنوتیپ	9	262.552**	2.335**	0.00010**	0.022 ^{ns}	6.190**
Error	خطا	40	60.769	0.338	0.0000047	0.031	0.00000002
CV(%)	ضریب تغییرات		9.438	10.269	20.475	17.020	2.27

* و ** به ترتیب گزارش دهنده معنی دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns. فاقد اختلاف معنی دار

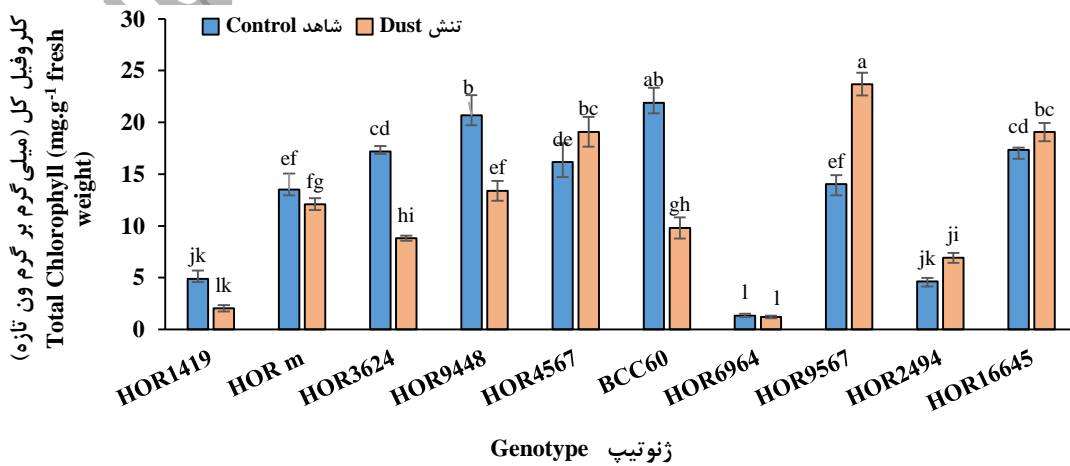
* and ** respectively, reporting significance at 5% and 1% probability level and ns. No significant difference



شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کلروفیل a
 Fig. 4. Comparison of the average effect of dust on chlorophyll a



شکل ۵. مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کلروفیل b
 Fig. 5. Comparison of the average effect of dust on chlorophyll b



شکل ۶. مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کلروفیل کل
 Fig. 6. Comparison of the mean effect of dust on total chlorophyll

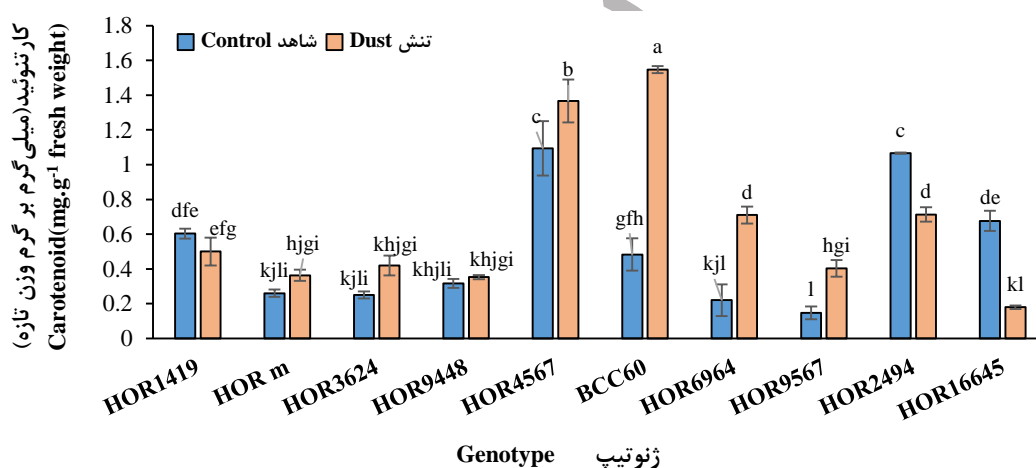
مطرح باشد. نتایج به دست آمده با نتایج بهروزی و همکاران (Behrouzi et al., 2017) مطابقت دارد. نکته قابل توجه دیگر در این آزمایش آن است که به دلیل عمودی بودن برگ‌های جو، گردوغبار کمتری روی برگ‌ها قرار می‌گیرد در نتیجه آسیب‌پذیری به سیستم فتوسنتزی این گیاه کاهش می‌یابد.

تأثیر گردوغبار بر پایداری غشای سلولی

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر نشت الکترونیک نشان می‌دهد که میزان نشت یونی در ژنوتیپ‌های شاهد بیشتر از ژنوتیپ‌های تحت تنش گردوغبار است. بیشترین میزان نشت الکترونیک در ژنوتیپ HOR9567 (شاهد) با میانگین ۸۷/۶۴۸ درصد بوده و کمترین میزان آن در ژنوتیپ HOR M (تحت تنش) با میانگین ۷۴/۸۸۸ درصد است (شکل ۸).

کارتونوئید

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تنش گردوغبار در بیشتر ژنوتیپ‌های مورد بررسی، باعث افزایش کارتونوئید شده است و بیشترین میانگین کارتونوئید در شرایط تنش مربوط به ژنوتیپ BCC60 با میانگین ۱/۵۴۶۶۷ است (شکل ۷). کارتونوئیدها گروه بزرگی از رنگیزه‌های گیاهی هستند که وظایف فیزیولوژیک مهمی را در طیف وسیعی از گیاهان دارند. این ترکیبات برای دستگاه فتوسنتزی مهم بوده و نقش بارزی در ممانعت از آسیب متأثر از اکسیداسیون نوری ایفا می‌کند (Gholami, 2018). وظیفه‌ی کارتونوئید، حفاظت از کلروفیل و ممانعت از تخریب نوری در برابر شدت نور بالا است (Naji et al., 2024). با توجه به نقش حفاظتی کارتونوئیدها در شرایط تنش روشنی‌نیا و همکاران (Roushani Nia et al., 2018) گزارش دادند که بالا بودن میزان کارتونوئیدها در این شرایط می‌تواند به عنوان یک پاسخ دفاعی به تنش گردوغبار

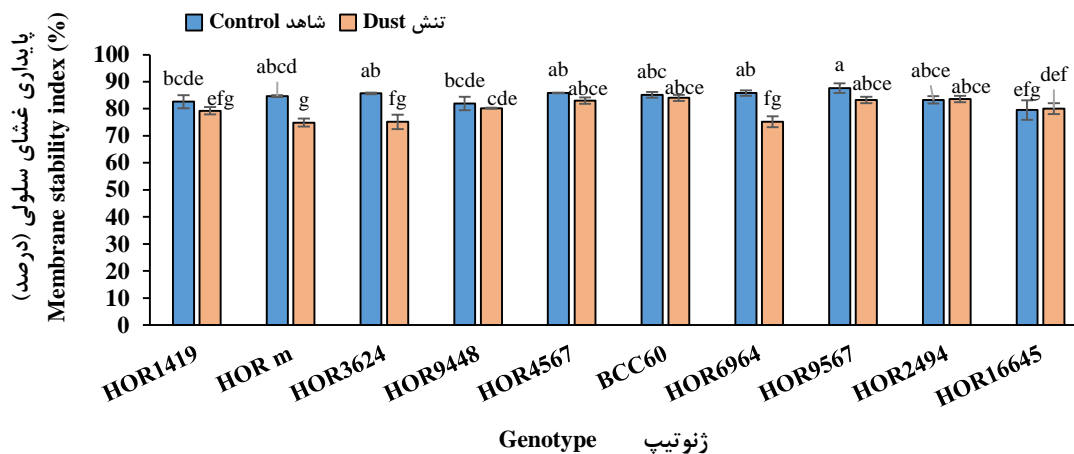


شکل ۷. مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کارتونوئید

Fig. 7. Comparison of the average effect of dust on carotenoids

و صدمه به غشاء سلولی و ساختمان پروتئین‌ها آسیب می‌رساند (Marivani et al., 2019). در نتیجه در شرایط استرس، غشاء ناپایداری است و مقدار نشت مواد داخل سلولی افزایش می‌یابد (Estrada et al., 2013). از آنجایی که اولین صدمه وارده در اثر استرس به گیاه در سطح غشاء است می‌توان گفت، ژنوتیپی که کمترین مقدار نشت یونی را داشته، در برابر خسارت اولیه مقاوم‌تر است. در شرایط استرس، افزایش تولید مواد تخریب‌کننده غشا از جمله پراکسید هیدروژن پایداری غشا را کاهش می‌دهد.

کاهش شاخص پایداری غشای سلولی ممکن است به علت کاهش آب برگ باشد. به دلیل گردوخاک، روزنه‌ها بسته شده و ورود CO_2 کاهش می‌یابد در نتیجه چون از انرژی نور جذب شده استفاده نمی‌شود، با افزایش گونه‌های اکسیژن فعال در کلروپلاست، به غشاء آسیب می‌رساند و پایداری غشاء سلولی را کاهش می‌دهد. غشای سلولی یکی از جایگاه‌هایی بوده که ورود و خروج مواد را در دو طرف غشاء سلول کنترل می‌کند و در نبود سیستم محافظ، رادیکال‌های آزاد متابولیسم طبیعی گیاه را مختل کرده و به دلیل استرس‌های اکسیداتیو



شکل ۸. نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر نشت یونی
Fig. 8. Comparison results of the average effect of dust on membrane electrolyte leakage

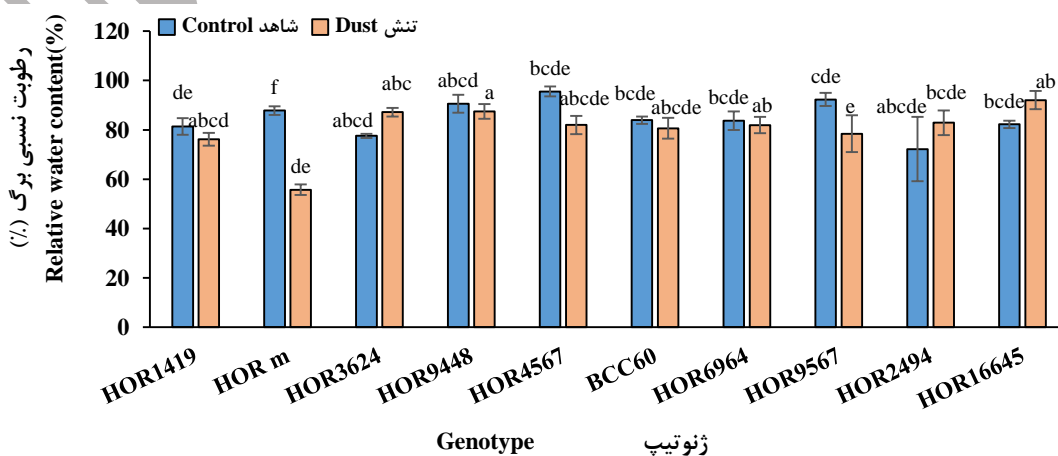
(شاهد) با ۹۵/۵۷۲ درصد و کمترین میزان آن در ژنوتیپ M HOR (تنش یافته) با ۵۵/۷۳۸ درصد است (شکل ۹). گردوغبار نفوذپذیری سلول را افزوده و مسبب هدر رفت آب و مواد مغذی که منجر به پیری زودرس برگ‌ها می‌شود (Karami et al., 2017). گردوخاک احتمالاً سبب کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه شده و به‌این‌ترتیب ریشه‌ی گیاه با کمبود مواد مغذی مواجه می‌شود. به همین علت، گردوخاک احتمالاً جذب آب از خاک را کاهش می‌دهد (Karami et al., 2017).

عالی‌پور و همکاران (Alipour et al., 2023) کاهش محتوای نسبی آب در دو گونه سالسولا و سالیکورنیا را گزارش دادند که با پژوهش حاضر مطابقت دارد.

گیاهانی که می‌توانند در شرایط تنش میزان تولید این ترکیبات را حذف یا کاهش دهند، می‌توانند پایداری غشای خود را در سطح صحیح حفظ کرده و از تخریب آن جلوگیری نمایند؛ بنابراین، میزان آسیب غشاء تحت شرایط استرس در ژنوتیپ‌های متحمل به تنش، کمتر از ژنوتیپ‌های حساس است (Fu and Huang, 2001). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج کرمی و همکاران (Karami et al., 2017) مطابقت دارد.

تأثیر گردوغبار بر محتوای نسبی آب

مقایسه میانگین حاصل از تأثیر گردوغبار بر محتوای نسبی آب نشان می‌دهد که این صفت در ژنوتیپ‌های تحت تنش کاهش یافته است. بیشترین میزان در ژنوتیپ HOR4567



شکل ۹. نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر محتوای نسبی آب
Fig. 9. Comparison results of the average effect of dust on relative water content

(Nanos and Ilias, 2007; Naresh et al., 2013)؛

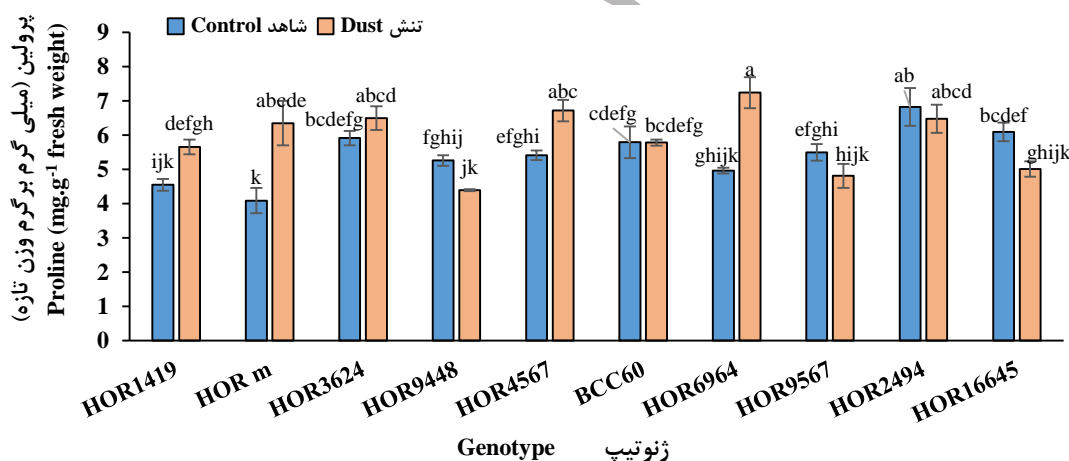
بنابراین افزایش میزان پرولین در شرایط تنش گردوغبار به علت، کاهش نور قابل‌دسترس و نیز اختلال در تبادل گازها در گیاه است.

تأثیر گردوغبار بر کاتالاز

نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کاتالاز نشان می‌دهد که بیشترین میانگین کاتالاز در ژنوتیپ HOR16645 (تنش یافته) با میانگین 0.026598 میلی‌گرم بر گرم و کمترین میزان آن در ژنوتیپ m (شاهد) با میانگین 0.002385 میلی‌گرم بر گرم است (شکل ۱۱). نتایج حاصل نشان می‌دهد که میزان کاتالاز در ژنوتیپ‌های تحت تنش بیشتر از ژنوتیپ‌های بدون تنش بوده است. یکی از مهم‌ترین آنزیم‌های مهارکننده ROSها آنزیم کاتالاز می‌باشد.

تأثیر گردوغبار بر پرولین

نتایج حاصل از مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر پرولین نشان‌دهنده افزایش، میزان پرولین در ارقام تنش یافته است. بیشترین میزان پرولین در ژنوتیپ HOR6964 (تنش یافته) با میانگین $7/2403$ میلی‌گرم بر گرم و کمترین میزان آن در ژنوتیپ m (شاهد) با میانگین $4/0907$ میلی‌گرم بر گرم است (شکل ۱۰). پرولین به‌عنوان یک آمینواسید است که وظیفه مهمی در گیاهان ایفا می‌کند و گیاهان را از استرس‌های متفاوت حفظ می‌نماید و نیز باعث می‌شود گیاهان پس از تنش به‌سرعت بهبود یابند (Hayat et al., 2012). افزایش میزان پرولین در گیاهان تحت استرس گردوغبار مشاهده شد (Sabir et al., 2023; Nawas et al., 2022; Hatami et al., 2018). پرولین باعث حفظ آماس سلولی و کاهش ROSها می‌شود و هراندازه در پاسخ به تنش، مقدار پرولین بیشتری تولید شود، تنظیم اسمزی بهتری شکل می‌گیرد

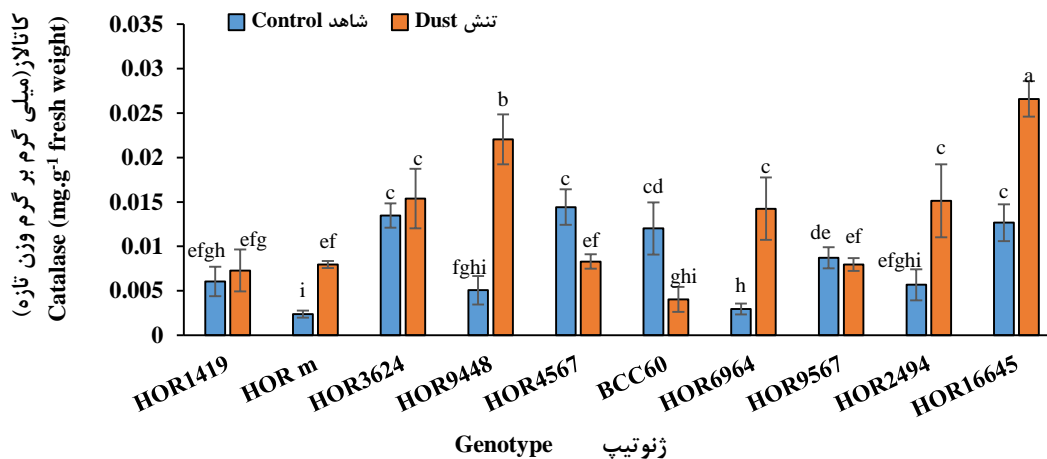


شکل ۱۰. نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر پرولین

Fig. 10. Comparison results of the average effect of dust on proline

کاتالاز مسئول حذف مقادیر اضافی و دخالت در تنظیم ظرفیت مقدار مناسبی از H_2O_2 است. به دلیل فعالیت این آنزیم، گیاه در برابر شرایط تنش مقاوم شده و در نهایت موجب افزایش عملکرد می‌شود (Shao et al., 2006). نتایج به‌دست‌آمده با نتایج فرخ نواز و همکاران (Nawas et al., 2022) مطابقت داشت.

تنش با اثر بر انتقال الکترون‌ها در فرآیندهای مانند فتوسنتز و تنفس سبب تشکیل H_2O_2 در گیاه می‌شود بنابراین افزایش H_2O_2 موجب کاهش رشد گیاه، پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب‌های غشایی می‌شود. در این مرحله آنزیم کاتالاز فعالیتش را آغاز کرده و با تجزیه H_2O_2 به آب و اکسیژن اثرات مخرب آن را خنثی می‌کند، در واقع



شکل ۱۱. نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر کاتالاز

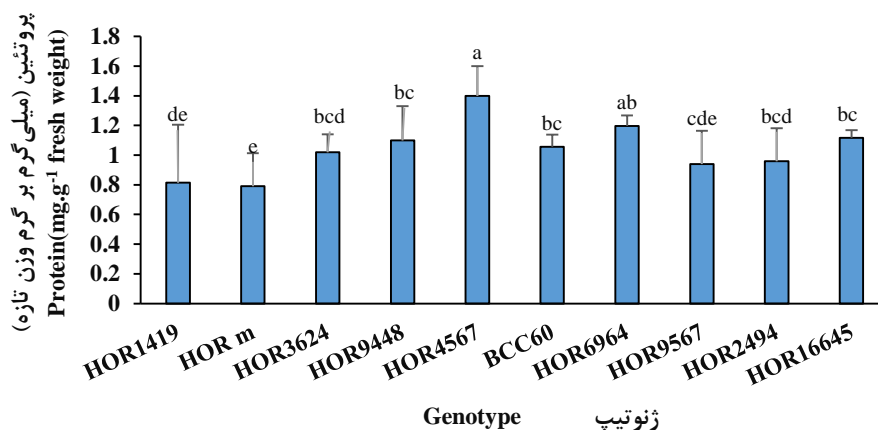
Fig. 11. Comparison results of the average effect of dust on catalase

تأثیر گردوغبار بر قند

مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر قند نشان داد که بیشترین میزان قند در ژنوتیپ HOR9448 (تنش یافته) ۰/۰۰۷۴۸۹۹ میلی گرم بر گرم و کمترین میزان آن در ژنوتیپ HOR9567 (شاهد) برابر ۰/۰۰۵۹۳۷۲ میلی گرم بر گرم بوده (شکل ۱۳) که نشان دهنده افزایش میزان قند در ژنوتیپ‌های تنش یافته است. قندهای محلول، یکی از مهم‌ترین ترکیبات و منابع انرژی برای همه موجودات زنده هستند. گیاهان این ترکیبات آلی را طول فتوسنتز تولید می‌کنند و در طی تنفس آن‌ها را تجزیه می‌کنند. افزایش کربوهیدرات می‌تواند ناشی از افزایش تجزیه‌ی نشاسته و دیگر پلی‌ساکاریدها به مونوساکاریدها و کاهش انتقال کربوهیدرات به قسمت‌های مصرف‌کننده، باشد. بالارفتن میزان کربوهیدرات‌های محلول می‌تواند منجر به کاهش رشد و در نتیجه کاهش مواد فتوسنتزی باشد (Ehdaie et al., 2006). در نهایت، هنگام تنش به‌موجب کاهش فتوسنتز و بسته شدن روزنه‌ها، رقابت بین اندام‌های متفاوت گیاه برای دستیابی به کربوهیدرات‌های افزایش می‌یابد (Alishah and Ahmadikah, 2009). افزایش میزان کربوهیدرات‌های محلول، وظیفه مهمی در کاهش پتانسیل اسمزی دارد و در نتیجه باعث بهبود شرایط مناسب، بین گیاه و خاک و افزایش جذب آب می‌شود؛ زیرا کربوهیدرات‌ها، نقش مهمی را به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی ایفا می‌کنند (Gupta et al., 2016).

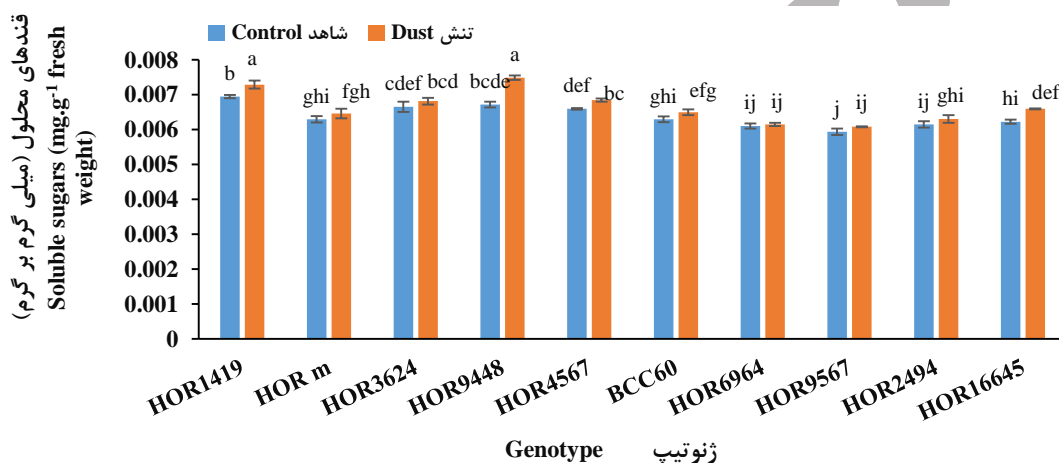
تأثیر گردوغبار بر پروتئین

نتایج حاصل از مقایسه میانگین ژنوتیپ‌ها در پروتئین نشان داد بیشترین میانگین پروتئین در ژنوتیپ HOR4567 (بدون تنش) برابر ۱/۳۹۹۸ و کمترین میزان آن در ژنوتیپ M HOR (تنش یافته) با میانگین ۰/۷۹۰۲ میلی گرم بر گرم بود (شکل ۱۲). در شرایط عادی، مقدار تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن کم است؛ بنابراین در شرایط استرس میزان تولید ROSها مانند H_2O_2 ، HO، O_2 و غیره افزایش می‌یابد که این عوامل از طریق واکنش با اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها سبب جهش در مولکول DNA، پراکسیداسیون غشاء لیپیدی و تخریب پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها می‌شوند (Zhou and Messersmith, 2006; Niknam et al., 2006). در واقع کاهش محتوی پروتئین به دلیل ناشی از کاهش تولید پروتئین، افزایش تجزیه پروتئین به دلیل افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز و یا تخریب توسط گونه‌های فعال اکسیژن است (Suriyan and Chalermopol, 2009; Ray, 2016). نتایج مشاهده‌شده در پژوهش حاضر با نتایج شریف کالیانی و همکاران (Sharifikaliani et al., 2021) مطابقت دارد. کاهش غلظت پروتئین، در شرایط استرس می‌تواند ناشی از کاهش زیر واحدهای روبیسکو و افزایش اکسیداسیون پروتئین‌های مرتبط است (Tahkokorpi, 2010).



شکل ۱۲. نتایج مقایسه میانگین صفت پروتئین در ژنوتیپ‌های مختلف

Fig. 12. The results of comparing traits in different genotypes



شکل ۱۳. نتایج مقایسه میانگین تأثیر گردوغبار بر قندهای محلول

Fig. 13. The results of comparing the results of dust on soluble sugars

واریانس را توجیه نمودند که تقریباً برای ترسیم بای پلات جهت بررسی تأثیر گردوغبار بر ژنوتیپ‌های جو به کمک این دو مؤلفه اصلی، کفایت می‌کند (جدول ۴). از آنجایی که مؤلفه اول تغییراتی را در برمی‌گیرد که توسط مؤلفه دوم تبیین نمی‌شود و بالعکس، از این جهت دو مؤلفه را می‌توان به صورت دو محور عمود بر هم نمایش داد و ژنوتیپ‌ها را بر اساس این دو مؤلفه در سطح بای پلات مشخص نمود (شکل ۱۴). نتایج حاصل از بای پلات نشان می‌دهد که ژنوتیپ‌های *Hordeum vulgare* 4567 و *vulgare* 9448 در مجاورت بردارهای مربوط به شاخص‌های مقاومت به تنش گردوغبار قرار گرفتند. در تجزیه بای پلات ژنوتیپ‌های که در مجاورت بردارهای مربوط به تنش قرار گرفتند به عنوان ژنوتیپ‌های متحمل به گردوغبار شناسایی شدند. ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر بالاتر و مثبت مؤلفه دوم هستند جزء ژنوتیپ‌های

نتایج همبستگی صفات فیزیولوژیکی

نتایج به دست آمده از ضریب همبستگی صفات فیزیولوژیکی مورد مطالعه ژنوتیپ‌های جو با استفاده از ضریب پیرسون نشان داد که صفت کلروفیل a با صفت کلروفیل b ($r=0.984$)، کلروفیل کل ($r=0.998$) و کارتنوئید ($r=0.998$) بیشترین سطح همبستگی مثبت و معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد داشته، اما اثر غیر معنی‌داری با دیگر صفات مورد بررسی در این پژوهش نشان داد. صفت محتوای نسبی آب با پروتئین ($r=0.758$) همبستگی مثبت و معنی‌داری در سطح پنج درصد داشت (جدول ۳).

تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

در تجزیه‌های آماری مؤلفه‌های اصلی با توجه به جدول، دو مؤلفه اصلی اول و دوم به میزان ۹۶/۷۸۵ درصد تغییرات

مقادیر منفی از مؤلفه دوم هستند جزء ژنوتیپ‌های مقاوم و مناسب گروه‌بندی می‌شوند و ژنوتیپ‌هایی که دارای مؤلفه اول منفی و مؤلفه دوم مثبت هستند جزء ژنوتیپ‌های حساس به‌شمار می‌آیند (Rahi et al., 2020).

حساس دسته‌بندی می‌شوند. همچنین ژنوتیپ‌هایی که دارای ضرایب منفی برای هر دو عامل یا ضرایب مثبت برای هر دو عامل هستند جزء ژنوتیپ‌های حد واسطه تقسیم‌بندی می‌گردند، ژنوتیپ‌هایی که دارای مقادیر مثبت از مؤلفه اول و

جدول ۳. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه ژنوتیپ‌های جو تحت تنش گردوغبار

Table 3. Simple correlation coefficients between studied traits of barley genotypes under dust stress

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 کروفیل a Chl a	1									
2 کروفیل b Chl b	0.984**	1								
3 کروفیل کل Chl _{total}	0.998**	0.993**	1							
4 کارتنوئید Carotenoid	0.998**	0.993**	1**	1						
5 پرولین Proline	-0.371	-0.252	-0.333	-0.333	1					
6 نشت یونی EC	0.311	0.349	0.324	0.324	0.178	1				
7 محتوای نسبی آب RWC	0.499	0.552	0.518	0.518	-0.102	0.267*	1			
8 کاتالاز Catalase	0.391	0.464	0.416	0.417	0.143	-0.263	0.632	1		
9 پروتئین Protein	0.220	0.328	0.256	0.256	0.369	0.230	0.758*	0.458	1	
10 کربوهیدرات Carbohydrate	0.018	0.021	0.019	0.019	-0.377	-0.313	0.198	0.164	0.010	1

* و ** به ترتیب گزارش‌دهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

* and ** respectively, reporting significance at 5% and 1% probability level

Table 4. Breakdown into main components

جدول ۴. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی

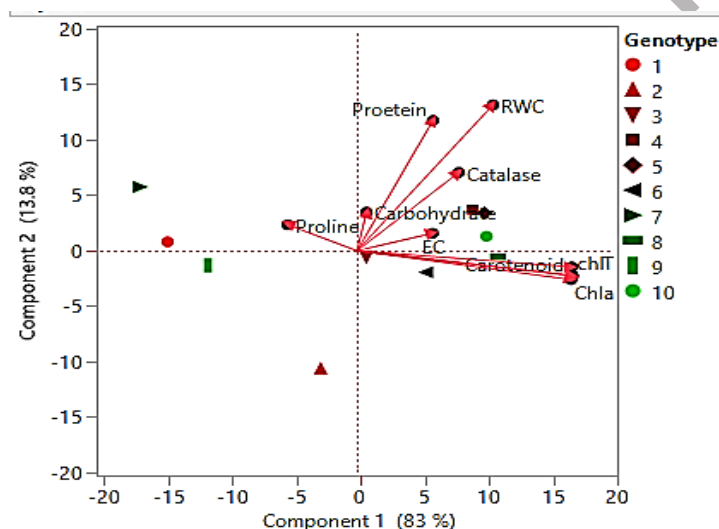
شماره NUMBER	مقدار خاص EIGENVALUE	درصد واریانس مربوطه PERCENTAGE OF VARIANCE	درصد تجمعی واریانس CUMULATIVE PERCENTAGE OF VARIANCE
1	119.6337	82.963	82.963
2	19.9317	13.822	96.785
3	4.2429	2.942	99.727
4	0.34	0.236	99.963
5	0.0463	0.032	99.995
6	0.0068	0.005	100
7	0	0	100
8	0	0	100

سبب افزایش کارتنوئید، پرولین، کاتالاز و کربوهیدرات‌های محلول شده است. از این جهت که محتوای کلروفیل یکی از عوامل نگه‌داری ظرفیت فتوسنتزی است و همچنین

نتیجه‌گیری نهایی
نتایج نشان می‌دهد که تنش گردوغبار سبب کاهش فتوسنتز، نشت یونی، محتوای نسبی آب و پروتئین شده و همچنین

نسبت به شرایط نامساعد محیطی دارند. از آنجایی که تأثیر گردوغبار بر روی کلیه صفات مورد بررسی به یک نسبت نبوده و در ژنوتیپ‌های مختلف، متفاوت بوده است اما به این حال ژنوتیپ‌های 9448 *Hordeum vulgare* و 4567 *vulgare* به دلیل افزایش بیشتر پرولین و پروتئین و کاهش کمتر کلروفیل ژنوتیپ‌های مقاوم‌تری نسبت به ژنوتیپ‌های دیگر می‌باشند.

بهره‌مندی بیشتر گیاه از اسمولیت‌هایی مانند پرولین، کاتالاز و قند در شرایط تنش، به‌عنوان عامل نگه‌دارنده اسمزی تحمل گیاه را افزایش می‌دهد. اغلب، افزایش پرولین، کاتالاز و کربوهیدرات‌های محلول در ژنوتیپ‌های مقاوم بیشتر از ژنوتیپ‌های حساس است. در نتیجه ژنوتیپ‌های مقاوم به‌واسطه تجمع کربوهیدرات‌های محلول و پرولین، نقش مهم‌تری را در تنظیم اسمزی ایفا می‌کنند و سازگاری بالاتری



شکل ۱۴. ترسیم گرافیکی بای پلات شاخص‌های تحمل به تنش گردوغبار و ژنوتیپ‌های جو بر اساس دو مؤلفه اول.

Fig. 14. Bi-plot graphic drawing of dust stress tolerance indices and atmosphere genotypes based on the first two components

منابع

- Abbasnasab, Z., Abedi, M., Sadati, S. E., 2019. Effects of dust on some morphological and physiological parameters in bromus tomentellus and Medicago sativa. Iranian Journal of Range and Desert Research. 26. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.119338> [In Persian].
- Abdel-Hamza, Z. M., Abdel-Kalabi, H. G. (2023, December). Effect of Dust Emitted from Al-Kufa Cement Factory on some Indicators of Vegetative Growth of Wheat Plants. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1262, No. 2, p. 022014). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/2/022014>
- Alipour, S., Soltani, E., Alahdadi, I., Ghorbani Javid, M., Akbari, G.A., 2023. The effect of fine dust stress on some functional and physiological characteristics of *Salsola imbricata* and *Salicornia ibricata* at different planting dates. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 16, 213-238. <https://doi.org/10.22077/escs.2022.4527.2033> [In Persian]
- Alishah, O., Ahmadikhah, A., 2009. The Effects of Drought Stress on Improved Cotton Varieties in Golestan Province of Iran. *International Journal of Plant Production*. 3, 17-26. <https://doi.org/10.22069/ijpp.2012.628> [In Persian]
- Baik, B. K., Ullrich, S. E., 2008. Barley for food: Characteristics, improvement, and renewed interest. *Journal of Cereal Science*. 48, 233-242. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.02.002>
- Bates, L.S., Waldren, R.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>
- Bazgeer, S., Behrouzi, M., Nouri, H., Nejatian, M. A., Akhzari, D., 2022. Effect of Dust on Growth and Reproductive Characteristics of Grapevine (*Vitis vinifera*). *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 9, 301-313. <https://doi.org/10.22059/ijhst.2021.320693.448> [In Persian]
- Behrouzi, M., Nouri, H., Bazgeer, S., Nejatian, M. A., Akhzari, D., 2017. Reduction of the impact of dust on quantitative and qualitative characteristics of white seedless grape variety by washing with D-Octil. *Plant Productions*, 40, 113-125. <https://doi.org/10.22055/ppd.2017.13124> [In Persian].
- Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*. 72, 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Dhindsa, R.S., Plumb-Dhindsa, P.A.M.E.L.A., Thorpe, T.A., 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. *Journal of Experimental Botany*. 32, 93-101. <https://doi.org/10.1093/jxb/32.1.93>
- Ehdaie, B., Alloush, G.A., Madore, M.A., Waines, J.G., 2006. Genotypic variation for stem reserves and mobilization in wheat: II. Postanthesis changes in internode water-soluble carbohydrates. *Crop Science*, 46, 2093-2103. <https://doi.org/10.2135/cropsci2006.01.0013>
- Estrada, B., Aroca, R., Barea, J.M., Ruiz-Lozano, J.M., 2013. Native arbuscular mycorrhizal fungi isolated from a saline habitat improved maize antioxidant systems and plant tolerance to salinity. *Plant Science*. 201, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2012.11.009>
- Fu, J., Huang, B., 2001. Involvement of antioxidants and lipid peroxidation in the adaptation of two cool-season grasses to localized drought stress. *Environmental and Experimental Botany*. 45, 105-114. [https://doi.org/10.1016/S00988472\(00\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S00988472(00)00084-8).
- Gholami, A.A., 2018. Manipulating the pathway for the synthesis of carotenoids to improve the quality of food products through biotechnology. *Journal of Biosafety*. 10, 1-15. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.27170632.1396.10.4.5.0> [In Persian]
- Gupta, G.P., Kumar, B., Kulshrestha, U.C., 2016. Impact and pollution indices of urban dust on selected plant species for green belt development: mitigation of the air pollution in NCR Delhi, India. *Arabian Journal of Geosciences*. 9, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s12517-015-2226-4>
- Habibpour, S., Dahaghi, M. A., Ghobadi, M. E., Kordenaeej, A., 2020. Impact of dust accumulation on yield and yield components of soybean. *Acta Agriculturae Slovenica*. 116, 145-155. <https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.1.1719>
- Hatami, Z., Rezvani Moghaddam, P., Rashki, A., Mahallati, M. N., Habibi Khaniani, B., 2018. Effects of desert dust on yield and yield components of cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64, 1446-1458. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1440081>
- Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., Ahmad, A., 2012. Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling and Behavior*. 7, 1456-1466. <https://doi.org/10.4161/psb.21949>
- Horton, P., Ruban, A., 2005. Molecular design of the photosystem II light-harvesting antenna: photosynthesis and photoprotection. *Journal of Experimental Botany*. 56, 365-373. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri023>
- 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. *Physiologia Plantarum*. 84, 55-60. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x>
- Ishibashi, Y., Yamaguchi, H., Yuasa, T., Iwaya-Inoue, M., Arima, S., Zheng, S.H., 2011. Hydrogen peroxide spraying alleviates drought stress in soybean plants. *Journal of Plant Physiology*. 168, 1562-1567. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2011.02.003>
- Javanmard, Z., Tabari Kouchaksaraei, M., Bahrami, H.A., Hosseini, S.M., Modarres Sanavi, S.A.M., Struve, D., Ammere, C., 2020. Soil dust effects on morphological, physiological and biochemical responses of

- four tree species of semiarid regions. *European Journal of Forest Research*, 139, 333-348. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01232-z>
- Karami, L., Ghaderi, N., Javadi, T., 2017. Morphological and physiological responses of grapevine (*Vitis vinifera* L.) to drought stress and dust pollution. *Folia Horticulturae*, 29, 231. <https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0021>
- Lutts, S., Kinet, J. M., Bouharmont, J., 1996. NaCl-induced senescence in leaves of rice (*Oryza sativa* L.) cultivars differing in salinity resistance. *Annals of Botany*, 78, 389-398. <https://doi.org/10.1006/anbo.1996.0134>
- Marivani, F., Ghaderi, N., Javadi, T., 2019. Evaluation of lipid peroxidation and antioxidant reaction of strawberry to drought stress and dust. *Plant Productions*, 42(4), 535-550. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.26308.1618> [In Persian].
- Mohammadi, M., Endelman, J.B., Nair, S., Chao, S., Jones, S.S., Muehlbauer, G.J., ... Smith, K. P., 2014. Association mapping of grain hardness, polyphenol oxidase, total phenolics, amylose content, and β -glucan in US barley breeding germplasm. *Molecular Breeding*, 34, 1229-1243. <https://doi.org/10.1007/s11032-014-0112-5>
- Mousavi, M.E., Tab, A., Hajinia, S., 2023. Competition between mungbean (*Vigna radiate* L. Wilczek) and redroot pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) under Dust Conditions. *Iran Plant Protection Research*, 37, 327-350. <https://doi.org/10.22067/jpp.2023.81895.1142> [In Persian].
- Najafi Zilaie, M., Mosleh Arani, A., Etesami, H., Dinarvand, M., 2022. Improved salinity and dust stress tolerance in the desert halophyte *Haloxylon aphyllum* by halotolerant plant growth-promoting rhizobacteria. *Frontiers in Plant Science*, 13, 948260. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.948260>
- Naji, H. R., Roushani Nia, F., Tongo, A., Soheili, F., Arminian, A., 2024. Effect of simulated dust storm conditions on the physiological features of wild pistachio. *Forest Science and Technology*, 20(1), 16-24. <https://doi.org/10.1080/21580103.2023.2280647>
- Nanos, G.D., Ilias, I.F., 2007. Effect of inert dust on olive leaf physiological parameters. *Environmental Science and Pollution Research International*, 14, 3, 212-214. <https://doi.org/10.1065/espr2006.08.327>
- Naresh, R. K., Singh, S. P., Dwivedi, A., Kumar, V., 2013. Effects of water stress on physiological processes and yield attributes of different mungbean varieties. *African Journal of Biochemistry Research*, 7, 55-62. <https://doi.org/10.5897/AJBR13.0677>
- Nawaz, M. F., Rashid, M. H. U., Saeed-Ur-Rehman, M., Gul, S., Farooq, T. H., Sabir, M. A., ... Alotaibi, S. S., 2022. Effect of dust types on the eco-physiological response of three tree Species seedlings: *Eucalyptus camaldulensis*, *Conocarpus erectus* and *Bombax ceiba*. *Atmosphere*, 13, 1010. <https://doi.org/10.3390/atmos13071010>
- Niknam, V., Razavi, N., Ebrahimzadeh, H., Sharifizadeh, B., 2006. Effect of NaCl on biomass, protein and proline contents, and antioxidant enzymes in seedlings and calli of two *Trigonella* species. *Biologia Plantarum*, 50, 591-596. <https://doi.org/10.1007/s10535-006-0093-2>
- Porra, R. J., 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis research*, 73, 149-156. <https://doi.org/10.1023/a:1020470224740>
- Rahi, A. R., Najafi Zarrini, H., Ranjbar, G., & Ghajar Spanlou, M. (2020). Identification of drought tolerant genotypes of soybean plant using principal component analysis and cluster analysis. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 13(1), 27-40. <https://doi.org/10.22077/escs.2019.1656.1371> [In Persian].
- Rai, P. K., 2016. Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 129, 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>
- Rai, P., Mishra, R. M., 2013. Effect of urban air pollution on epidermal traits of road side tree species, *Pongamia pinnata* L. Merr. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 2, 2319-2402. <https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.1183419>
- Ramazani, S. H. R., Abdipour, M., 2019. Statistical analysis of grain yield in Iranian cultivars of barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Research*, 8, 239-246.

- <https://doi.org/10.1007/s40003-018-0360-4>.
[In Persian].
- Roushani Nia, F., Naji, H., Bazgir, M., & Naderi, M., 2018. Effect of simulated dust storm on some bio-chemical features of persian oak (*Quercus brantii* Lindl.). Environmental Erosion Research Journal, 8(1), 59-73. <httpS://dorl.net/dor/20.1001.1.22517812.1397.8.1.4.1> [In Persian].
- Sabir, M. A., Guo, W., Nawaz, M. F., Yasin, G., Yousaf, M. T. B., Gul, S., ... Rahman, S. U., 2023. Assessing the effects of limestone dust and lead pollution on the ecophysiology of some selected urban tree species. Frontiers in Plant Science, 14, 1144145. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1144145>.
- Shabnam, N., Tripathi, I., Sharmila, P., Pardha-Saradhi, P., 2016. A rapid, ideal, and eco-friendlier protocol for quantifying proline. Protoplasma, 253, 1577-1582. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0910-6>.
- Shao H.B., Liang Z.S., Shao M.A., 2006. Osmotic regulation of 10 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at soil water deficits. Colloids of Surfases. 47, 32-139. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2005.11.028>.
- Sharifi Kaliani, F., Babaei, S., ZafarSohrappour, Y., 2021. Study of the effects of dusts on the morphological and physiological traits of some crops. Journal of Plant Production Research, 28, 205-220. <https://doi.org/10.22069/jopp.2021.18782.2768>
- Sharifi, Z., Saeidi, M., Nosrati, E., Heidary, H., 2019. The effect of dust particles on grain yield and some of the physiological and biochemical characteristics of wheat in West of Iran. Plant Productions, 42, 149-164. <https://doi.org/10.22055/ppd.2019.21856.1470>
- Singh, H., Yadav, M., Kumar, N., Kumar, A., Kumar, M., 2020. Assessing adaptation and mitigation potential of roadside trees under the influence of vehicular emissions: A case study of *Grevillea robusta* and *Mangifera indica* planted in an urban city of India. Plos One, 15, e0227380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227380>.
- Sullivan, P., Arendt, E., Gallagher, E., 2013. The increasing use of barley and barley by-products in the production of healthier baked goods. Trends in Food Science & Technology, 29, 124-134. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.10.005>.
- Suriyan, C. U., Chalermopol, K., 2009. Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. Agricultural Sciences in China, 8, 51-58. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60008-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60008-0)
- Tahkokorpi M (2010) Anthocyanins under drought and drought-related stresses in bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.). Acta Universitatis Ouluensis: A Scientiae Rerum Naturalium 556, 1-46. <https://urn.fi/URN:ISBN:9789514262050>
- Wen, K., Liang, C., Wang, L., Hu, G., Zhou, Q., 2011. Combined effects of lanthanum and acid rain on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in soybean seedlings. Chemosphere, 84, 601-608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.054>
- Zhou, J., Tao, B., Messersmith, C. G., 2006. Soil dust reduces glyphosate efficacy. Weed Science, 54, 1132-1136. <https://doi.org/10.1614/WS-06-107R.1>