

Effect of salicylic acid foliar application on mitigating dust stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.)

Kosar Mohammadi ^a, Arash Fazeli ^{*b}, Amin Fathi ^c

^a M.Sc Student in Plant Breeding, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam, Iran

^b Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

^c Department of Agronomy, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, Amol, Iran

*Corresponding Author: a.fazeli@ilam.ac.ir

Received: 5 May 2025

Accepted: 17 July 2025

DOI: 10.22034/CSRAR.2026.521541.1485

How to cite this article:

Mohammadi, K., Fazeli, A. and Fathi, A., 2026. Effect of salicylic acid foliar application on mitigating dust stress in durum wheat (*Triticum durum* Desf.). *Crop Science Research in Arid Regions*, 8(1), 131-152. <https://doi.org/10.22034/CSRAR.2026.521541.1485>

Abstract

Introduction: Climate change has become one of the biggest environmental challenges facing the world, disrupting the growth and development of plants. The phenomenon of dust has emerged as a serious threat in recent years. With increasing global temperatures, decreasing rainfall, increased evaporation and transpiration, and excessive and improper water use in many human activities, the number of arid and semi-arid areas worldwide has increased. This phenomenon causes enormous damage to farms, the environment, facilities, and people's lives every year, increases evaporation, and causes drying of the upper soil layer, destruction of agricultural lands, expansion of deserts, and pollution of surface water resources. In recent years, the ability of salicylic acid to provide a protective effect in plants under abiotic stresses has been investigated. Salicylic acid is recognized as a promising molecule for enhancing abiotic stress tolerance in plants, owing to its ability to improve the antioxidant defense system and promote root development. Durum wheat is recognized as one of the most important crops in the cereal family, with an annual global production of approximately 40 million tons. The cultivation and planting of suitable varieties, adequate planting density, and sufficient plant nutrition are among the recommended practices for achieving maximum grain yield and quality in durum wheat.

Materials and Methods: An experiment was conducted in the greenhouse of Ilam University as a factorial experiment in a completely randomized design with four replications to investigate the effect of foliar spraying with salicylic acid on modulating the impact of dust on durum wheat. The experimental factors included wheat cultivars (four genotypes), dust at five levels (control, once, twice, three times, and four times), and salicylic acid treatment at three levels (0, 50, and 100 ppm).

Results: The results showed that the highest spike length was obtained in genotype TRI 10519 with 100 ppm salicylic acid application and three times of dust stress (9.8 cm), and the lowest was obtained in genotype TRI 11020 with three times of dust stress and 50 ppm salicylic acid application (4.3 cm). Based on the mean comparison results, the maximum plant height was recorded in genotype TRI 10519 treated with 50 ppm salicylic acid under three dust stress events, reaching 138 cm. Statistically,



this treatment did not differ significantly from TRI 14231 treated with 100 ppm salicylic acid under non-stress conditions, nor from TRI 14246 treated with 50 ppm salicylic acid under four dust contamination events. The minimum plant height (91 cm) was observed in genotype TRI 10519 treated with 50 ppm salicylic acid under one dust stress event. The highest relative leaf water content was observed in genotype TRI 14231 and 100 ppm salicylic acid application and three times of dust stress (96.3 percent), and the lowest was observed in genotype TRI 10519 without dust stress and salicylic acid application (31.31 percent). Also, the highest amount of carotenoids was obtained in TRI 11020, with no salicylic acid application and no dust stress (2.9 mg/g wet weight), and the lowest amount was obtained in TRI 14231, with no dust stress and 100 ppm salicylic acid application (0.5 mg/g wet weight).

Conclusion: The results of this study highlight the importance of balance and interaction between genotype, salicylic acid, and environmental factors, such as dust, in regulating plant growth. In general, and according to the results obtained from the present study, it can be said that to get the highest internode length and flag leaf length under dust stress conditions, the TRI 14246 genotype and the application of salicylic acid are recommended, and to obtain the highest amount of carotenoid pigments and chlorophyll a and b under dust stress conditions, the TRI 11020 genotype and the application of salicylic acid, as well as the highest bract length, relative leaf water content, and proline under dust stress conditions, the TRI 14231 genotype is recommended.

Keywords: Tolerant varieties, Growth regulators, Dust particles, Chlorophyll, Carotenoids

اثر محلول پاشی اسید سالیسیلیک بر کاهش تنش گرد و غبار در گندم دوروم (*Triticum durum* Desf.)

کوثر محمدی^۱، آرش فاضلی^{۲*}، امین فتحی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اصلاح نباتات، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۳- گروه زراعت، واحد آیت الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، آمل، ایران

* مسئول مکاتبه: a.fazeli@ilam.ac.ir

DOI: 10.22034/CSRAR.2026.521541.1485

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۱۵

چکیده

اسید سالیسیلیک یکی از تنظیم کننده های رشد گیاهی است که استفاده از آن باعث بهبود رشد گیاهان در شرایط تنش های غیر زیستی از جمله تنش گرد و غبار می شود. به همین منظور آزمایشی در گلخانه دانشگاه ایلام به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار برای بررسی تأثیر محلول پاشی اسید سالیسیلیک در تعدیل اثر گرد و غبار بر گندم دوروم انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل چهار ژنوتیپ گندم، گرد و غبار در پنج سطح (کنترل، یک بار آلودگی، دو بار آلودگی، سه بار آلودگی و چهار بار آلودگی) و تیمار اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین میزان طول سنبله در ژنوتیپ TRI 10519 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار (۹/۸ سانتیمتر) و کمترین میزان آن در ژنوتیپ TRI 11020 در سه بار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک (۴/۳ سانتیمتر) بدست آمد. بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ TRI 14231 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار (۹۶/۳ درصد) و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 10519 عدم تنش گرد و غبار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک (۳۱/۳ درصد) مشاهده گردید. نتایج این پژوهش نشان دهنده اهمیت تعادل و تعامل بین ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و عوامل محیطی مانند گرد و غبار در تنظیم رشد گیاهان می باشد. **واژه های کلیدی:** ارقام متحمل، تنظیم کننده رشد، ذرات گرد و غبار، کلروفیل، کاروتنوئید

مقدمه

اجازه می دهد، شن و غبار سست از خاک سطحی خشک در مناطق خشک حذف شود و تپه های شنی یا گرد و غبار در هوا ایجاد شود (Miri et al., 2021). بخش های غربی و جنوب غربی ایران به شدت تحت تأثیر طوفان های گرد و غباری هستند که از مناطق کویری مجاور، عمدتاً از بیابان های عراق و همچنین منابع گرد و غبار محلی منتقل می شوند (Hamzeh et al., 2021). این پدیده به عنوان یک پدیده بارز در مناطق بیابانی و خشک، سبب اختلال در فعالیت های انسانی، کشاورزی، حمل و نقل و صنایع می گردد (Fallah Zazuli et al., 2014). این پدیده هر ساله خسارت هنگفتی به مزارع، محیط زیست، امکانات و جان مردم وارد می کند، تبخیر را افزایش می دهد و باعث خشک شدن لایه بالایی خاک، تخریب زمین های زراعی، گسترش بیابان ها و آلودگی منابع آب های سطحی می شود. تنش های محیطی عامل اصلی محدود کننده بهره وری گیاه است که در بین تنش ها ذرات گرد و غبار یک عامل تنش زا،

تغییر اقلیم به یکی از بزرگترین چالش های زیست محیطی پیش روی جهان تبدیل شده است که شرایط رشد و نمو گیاهان را مختل کرده است (Fathi et al., 2024). پدیده هایی مانند خشکسالی های گسترده، سیل های ویرانگر، آتش سوزی و همچنین گرد و غبار در مقیاس وسیع از پیامدهای تغییرات اقلیمی هستند (Eslami and Ghasemi, 2019). پدیده گرد و غبار در سال های اخیر به عنوان یک تهدید جدی مطرح شده است. با افزایش دمای زمین، کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و تعرق، مصرف زیاد و استفاده نادرست از آب در بسیاری از فعالیت ها توسط انسان، تعداد مناطق خشک و نیمه خشک در سراسر جهان افزایش یافته است (Liu et al., 2003; Velayatzadeh et al., 2020). این شرایط باعث ایجاد منابع جدیدی از گرد و غبار شده است (Boloorani et al., 2020). طوفان های گرد و غبار توسط بادهای متلاطم ایجاد می شوند که

دارای تأثیرات زیادی است که بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و فیزیولوژیکی برگ‌ها و زیست توده خشک تأثیر می‌گذارد، فتوسنتز را کاهش می‌دهد، تعرق و دمای سطح برگ را تغییر می‌دهد (Amid et al., 2023; Boloorani et al., 2020). تنش باعث می‌شود که تعادل بین گونه‌های فعال اکسیژن و سیستم دفاع سلولی در بخش‌های مختلف گیاه از بین برود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). در سال‌های اخیر قابلیت سالیسیلیک اسید در ایجاد اثر محافظتی در گیاهان تحت تنش‌های غیرزنده مورد بررسی قرار گرفته است. اسید سالیسیلیک به دلیل توانایی آن در تقویت سیستم دفاعی آنتی اکسیدانی و ارتقای سیستم ساختار ریشه، به عنوان یک مولکول امیدوارکننده برای بهبود تحمل تنش غیرزیستی در گیاهان شناخته شده است (Yang et al., 2023). اسید سالیسیلیک یک ترکیب فنلی است که در طبیعت وجود دارد و در برخی از بافت‌های گیاهی به فراوانی یافت می‌شود (Dong et al., 2011). بسیاری از پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد مانند اسید سالیسیلیک، چه به صورت پیش تیمار بذر و چه به صورت محلول پاشی آن باعث افزایش تحمل گیاه در زمان بروز تنش‌های غیرزنده می‌شود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023; Amid et al., 2023). کاربرد اسید سالیسیلیک از آن جهت مورد اهمیت است که باعث افزایش مقاومت و تحمل گیاه زراعی به انواع تنش‌ها از جمله شوری، خشکی، گرما و سرما می‌شود و راندمان محصول را نسبت به شاهد تا حدودی افزایش می‌دهد (Fazeli et al., 2022; Shohani et al., 2022; Bazi Zlan et al., 2017).

گندم دوروم یکی از محصولات مهم خانواده غلات شناخته می‌شود که تولید سالانه آن در دنیا به حدود ۴۰ میلیون تن می‌رسد (Mefleh et al., 2019). سطح زیر کشت گندم دوروم در سال زراعی ۲۰۲۱-۲۰۲۰ معادل ۶/۲ درصد سطح زیر کشت گندم دنیا گزارش شده است. مهمترین کشورهای تولید کننده این محصول الجزایر، هند، ایتالیا، مراکش، روسیه، سوریه، تونس، ترکیه و آمریکا هستند (Martínez-Moreno et al., 2022). گندم دوروم از لحاظ ژنتیکی و مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی متفاوت از گندم نان است. سطح زیر کشت گندم دوروم در ایران حدوداً بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ هزار هکتار می‌باشد که بیشتر در مناطق گرمسیری و معتدل کشور شامل استان‌های

گلستان، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان، خوزستان، فارس، ایلام، اردبیل، کرمانشاه به صورت پراکنده واقع شده است (Mohammadi and Haghpars, 2022). گندم دوروم علاوه بر اینکه بیشتر برای تهیه ماکارونی (پاستا) استفاده می‌شود، دارای ژن‌های مقاومت به برخی بیماری‌های شایع غلات از قبیل زنگ‌ها و سیاهک‌ها و سازگاری به شرایط دیم می‌باشد (Guzman et al., 2016). عملکرد گندم تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله تنش‌های غیر زنده نظیر سرما، گرما، خشکی، شوری، فقر غذایی، فلزات سنگین، امواج مرئی، مواد شیمیایی سمی، تنش‌های اکسیداسیونی ناشی از عوامل زنده و غیر زنده قرار می‌گیرد (Miao and Zentgraf, 2007). پرورش و کاشت ارقام مناسب، جمعیت کاشت کافی و تغذیه کافی گیاه از جمله اقدامات مورد نظر برای دستیابی به حداکثر عملکرد و کیفیت دانه در گندم دوروم است (Melash et al., 2019; Yang et al., 2016). مناطق مختلف ایران به دلیل قرار گرفتن در ناحیه خشک و نیمه خشک و به دلیل ساختار دشتی، نفوذ سیستم‌های سینوپتیکی مختلف و همجواری با کانون‌های بیابانی و مهم گرد و غبار، تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار قرار دارند (Zarei et al., 2022). بنابراین با توجه به شرایط آب و هوایی موجود در منطقه، یافتن ارقام گیاهی سازگار و متحمل به تنش گرد و غبار در راستای افزایش تولید یک امر ضروری است. به همین منظور در آزمایش حاضر بررسی تأثیر میزان گرد و غبار و همچنین اثر اسید سالیسیلیک و تأثیر همزمان این دو مقوله بر روی گیاه گندم دوروم مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به آنچه گفته شد هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی تأثیر همزمان اسید سالیسیلیک و گرد و غبار بر روی گندم دوروم و شناسایی ارقام متحمل به گرد و غبار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در در سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ایلام انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل ارقام گندم (۴ ژنوتیپ)، گرد و غبار در پنج سطح (شاهد یا بدون آلودگی، یک بار آلودگی، دو بار آلودگی، سه بار آلودگی و چهار بار آلودگی) و تیمار اسید سالیسیلیک در سه سطح (۰، ۵۰ و ۱۰۰ پی پی ام) بودند. ابتدا

تعداد ۶۰ گلدان با قطر تقریباً ۳۰ سانتیمتر تهیه گردید. سپس محتویات گلدان که شامل خاک + کود + ماسه بادی (به نسبت ۶ : ۳ : ۳) بود، آماده شد. بذره‌های گندم دوروم از بذره‌های مربوط به ۴ ژنوتیپ از بانک ژن موسسه IPK^۱ آلمان تهیه گردید. پس از شستشوی بذرها در گلدان‌ها در تاریخ ۱۴۰۱/۸/۲۸ کاشت گردیدند. مشخصات ژنوتیپ‌ها در جدول یک آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های مورد بررسی

Table 1- Characteristics of the studied genotypes

کد ژنوتیپ Genotype code	نام ژنوتیپ Genotype name	محل تهیه Place of supply
G1	TRI 11020	موسسه IPK آلمان IPK Institute, Germany
G2	TRI 10519	موسسه IPK آلمان IPK Institute, Germany
G3	TRI 14246	موسسه IPK آلمان IPK Institute, Germany
G4	TRI 14231	موسسه IPK آلمان IPK Institute, Germany

غلظت ذرات معلق در هوا به میزان ۱۵۰۰ میکروگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شد. در پژوهش حاضر فن‌های تعبیه شده در بالا و کف محفظه، سبب شد ذرات در تمام جهات محفظه پراکنده شوند. برای سنجش غلظت ذرات معلق در هوا از دستگاه غبار سنج استفاده شد. در طول انجام آزمایش، شرایط گلخانه برای دریافت نور از طریق سقف و دیواره‌های پلاستیکی بود دمای گلخانه در شب ۱۵ درجه سانتی‌گراد و در روز ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود.

برای اعمال تنش گرد و غبار یک اتاقک تقریباً بسته مشابه گلخانه آماده شد. جهت ایجاد گرد و غبار، به مقدار لازم خاک از منطقه مرزی مهران، جمع‌آوری گردید. جهت تعیین خصوصیات خاک قبل از اجرا نمونه برداری انجام و نتایج آن در جدول دو گزارش شده است. سپس با توجه به اندازه ذرات خاک معلق در جو، خاک را با ۲۷۰ لک نموده و ذرات خاک به اندازه ۵۳ میکرون بدست آورده شد. بر اساس اطلاعات حاصله از محیط زیست ایلام و طبق مراحل رشد گیاه طی سال زراعی، اعمال تیمار گرد و غبار در چند مرحله بر روی گیاهان انجام شد.

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 2- Results of physical and chemical analysis of soil at the test site

واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی EC	کربن آلی OC	نیتروژن کل N	فسفر P	پتاسیم K	بافت خاک Soil texture
	(dS m ⁻¹)	(%)	(%)	(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)	
7.08	3.9	0.26	0.15	6.3	157.6	لومی-شنی Loamy-sandy

استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس اثرات ژنوتیپ، تنش گرد و غبار و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در جدول ۳ آمده است. نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر اصلی ژنوتیپ بر تمام صفات مورد بررسی بجز وزن تر گیاه، محتوای نسبی آب و کلروفیل b معنی‌دار بود. اثر تنش گرد و غبار بر

یک هفته بعد از اعمال تنش، صفات رشدی (طول ریشک، طول سنبله، طول میانگره، طول برگ پرچم، ارتفاع گیاه، وزن کل، وزن تر، وزن خشک) و فیزیولوژیکی از جمله محتوای نسبی آب برگ، پروتئین (Bradford, 1976)، پرولین (Shabnam et al., 2016)، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید به روش پورا (Porra, 2002) انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌های مربوطه با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.3 انجام شد. مقایسه میانگین با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد

¹ Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research

تیمارها بر تمامی صفات مورد بررسی بجز وزن کل و کلروفیل کل معنی دار بود (جدول ۳).

صفات مورفولوژیک

طول ریشک

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار که در جدول ۴ نشان داده شده است. بیشترین میزان طول ریشک در ژنوتیپ TRI 11020 در حالت دو بار تنش گرد و غبار و غلظت ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۱۷/۵ سانتی متر بدست آمد و کمترین میزان طول ریشک در ژنوتیپ TRI 14246 در یکبار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۶/۵ سانتی متر بدست آمد. این تفاوتها در نتایج نشان می دهند که ژنوتیپها به طرق مختلفی به تنش گرد و غبار و اسید سالیسیلیک پاسخ می دهد.

تمام صفات بجز طول ریشک، طول میانگره و کلروفیل b معنی دار بود. اثر اصلی اسید سالیسیلیک تنها بر صفات پرولین، محتوای نسبی آب برگ، وزن خشک گیاه، ارتفاع گیاه و طول میانگره معنی دار بود. اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × گرد و غبار بر بیشتر صفات معنی دار بود و بر صفات طول ریشک، طول میانگره، وزن کل و کلروفیل b تأثیر معنی داری نداشت. اثر متقابل دوگانه ژنوتیپ × اسید سالیسیلیک بر صفات طول سنبله، ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، محتوای نسبی آب، پرولین و کلروفیل a اثر معنی داری بر صفات طول میانگره، طول برگ پرچم، وزن کل گیاه، کاروتنوئید، کلروفیل b و کلروفیل کل تأثیر معنی داری نداشت. اثر متقابل دو گانه گرد و غبار × اسید سالیسیلیک تأثیر معنی دار بر صفات طول ریشک، طول میانگره، طول برگ پرچم، ارتفاع گیاه، وزن تر گیاه، وزن خشک گیاه، پرولین، کاروتنوئید و کلروفیل a داشت ولی بر صفات طول سنبله، وزن کل گیاه، محتوای نسبی آب، کلروفیل b و کلروفیل کل نداشت. همچنین اثرات متقابل سه گانه

جدول ۳ - تجزیه واریانس تأثیرات ژنوتیپ، گرد و غبار و اسید سالیسیلیک بر صفات مورفولوژیک

Table 3- Analysis of variance of the effects of genotype, dust and salicylic acid on morphological traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	طول ریشک Beard length	طول سنبله Spike length	طول میانگره Internode length	طول برگ پرچم Flag leaf length	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تر Wet weight	وزن خشک Dry weight
تکرار R	1	0.8 ns	1.37*	99ns	4.8**	1912**	0.03 ns	0.0001 ns
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	3	120.1**	56.76**	671.7**	255.3**	108.2**	0.005 ns	0.085**
گرد و غبار Dust (D)	4	5.8 ns	1.55**	12.9 ns	29.9**	466.2**	0.024**	0.050**
اسید سالیسیلیک Salicylic acid(S)	2	3.1 ns	0.13 ns	102.2**	9.5 ns	116.4*	0.005 ns	0.035**
ژنوتیپ × گرد و غبار G*D	12	5.3 ns	0.68**	33.9 ns	43.6**	225.3**	0.012**	0.027**
ژنوتیپ × اسید سالیسیلیک G*S	6	11**	0.97**	28.2 ns	3.6 ns	186.3**	0.022**	0.007**
گرد و غبار × اسید سالیسیلیک D*S	8	6*	0.38 ns	145.5**	15.8**	233.1**	0.012*	0.022**
ژنوتیپ × گرد و غبار × اسید سالیسیلیک G*D*S	24	7.9**	0.64**	48.8**	23.5**	178.6**	0.015**	0.022**
خطا Error	59	2.8	0.27	26.4	5.1	24.3	0.005	0.001
ضریب تغییرات CV	-	13.1	7.6	12.2	11.4	4.1	12.01	21.86

ns, **, * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی دار، و اثر معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

ns, ** and * represent not significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively

ادامه جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیرات ژنوتیپ، گرد و غبار و اسید سالیسیلیک بر صفات فیزیولوژیک

Table 3 Continued- Analysis of variance of the effects of genotype, dust and salicylic acid on physiological traits

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی DF	محتوای نسبی آب RWC	پرولین Proline	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
تکرار R	1	297.4 ^{ns}	0.037 ^{**}	0.02 ^{ns}	17.4 [*]	0.011 ^{ns}
ژنوتیپ (G) Genotype (G)	3	267.9 ^{ns}	42.37 ^{**}	1.02 ^{**}	11.1 [*]	0.015 ^{ns}
گرد و غبار Dust (D)	4	822.9 ^{**}	11.03 ^{**}	0.58 [*]	12.1 ^{**}	0.018 ^{ns}
اسید سالیسیلیک Salicylic acid(S)	2	862.7 ^{**}	7.40 ^{**}	0.16 ^{ns}	1.8 ^{ns}	0.005 ^{ns}
ژنوتیپ × گرد و غبار G*D	12	399.8 ^{**}	21.14 ^{**}	0.80 ^{**}	16.2 ^{**}	0.018 ^{ns}
ژنوتیپ × اسید سالیسیلیک G*S	6	356.7 [*]	29.99 ^{**}	0.46 ^{ns}	9.0 [*]	0.010 ^{ns}
گرد و غبار × اسید سالیسیلیک D*S	8	172.1 ^{ns}	24.27 ^{**}	0.57 [*]	11.3 ^{**}	0.008 ^{ns}
ژنوتیپ × گرد و غبار × اسید سالیسیلیک G*D*S	24	642.7 ^{**}	12.06 ^{**}	0.49 ^{**}	6.3 [*]	0.007 ^{**}
خطا Error	59	145.1	0.51	0.21	3.1	0.009
ضریب تغییرات CV	-	15.7	13.6	3.3	2.5	4.6

ns, **, * به ترتیب نشانگر عدم وجود اثر معنی دار، و اثر معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.

ns, ** and * represent not significant and significant at the 5 and 1% probability levels, respectively.

سالیسیلیک در تعیین طول سنبله تحت تأثیر تنش گرد و غبار بسیار حائز اهمیت می باشد. گزارش شده است که تنش گرد و غبار باعث کاهش طول شاخه انگور می شود (Karami, 2014). همچنین برخی گزارش کردند که غلظت های مختلف اسید سالیسیلیک بر شاخص های رشدی در شرایط تنش خشکی اثر معنی داری داشت (Safajo et al., 2023).

طول میانگره

طول میانگین تحت تأثیر تنش گرد و غبار و سالیسیلیک قرار گرفت به طوری که بیشترین میزان طول میانگره در ژنوتیپ TRI 14246 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و دو بار تنش گرد و غبار به میزان ۵۴ سانتیمتر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 عدم تنش گرد و غبار و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان

محققان در گزارش های جداگانه اظهار داشتند کردند افزایش طول ریشک در گندم تیمار شده با اسید سالیسیلیک در اثر تغییر در وضعیت هورمونی گیاه می باشد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Montazeri Takhti et al., 2016; Stevens et al., 2006).

طول سنبله

بر اساس نتایج مقایسه بیشترین میزان طول سنبله در ژنوتیپ TRI 10519 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار به میزان ۹/۸ سانتیمتر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 11020 در سه بار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۴/۳ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۴).

نتایج نشان می دهند که نقش ژنوتیپ و مصرف اسید

۲۹/۵ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۴).

این نتایج نشان می‌دهد ژنوتیپ TRI 14246 در شرایط تنش گرد و غبار با مصرف اسید سالیسیلیک واکنش بهتری از خود نشان داده است به طوری که در ژنوتیپ TRI 14246 حتی بدون تنش گرد و غبار نتوانسته است طول میانگرم بیشتری بدست بیاورد. محققان اظهار داشتند اسید سالیسیلیک ماده شبه هورمونی است که با تاثیر بر مریستم‌های رویشی موجب افزایش طول میانگرم می‌شود. آنها اظهار داشتند که احتمالاً اسید سالیسیلیک همانند اکسین در تنظیم طویل شدن و تقسیم سلولی دخالت داشته باشد (Li et al., 2022; Salarpour Ghoraba and Farahbakhsh, 2014).

طول برگ پرچم

بر اساس نتایج بیشترین میزان طول برگ پرچم در ژنوتیپ TRI 14246 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و یک بار تنش گرد و غبار به میزان ۳۱/۵ سانتیمتر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 سه بار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۱۲ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۴). تنش‌های محیطی می‌توانند از طریق کوتاه کردن طول دوره و همچنین افزایش سرعت نمو موجب کاهش طول برگ پرچم در گیاه شود (Rezabeigi et al., 2020).

ارتفاع بوته

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان ارتفاع بوته در ژنوتیپ TRI 10519 و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار به میزان ۱۳۸ سانتیمتر بدست آمد که البته از لحاظ آماری با تیمارهای TRI 14231 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و عدم تنش و نیز TRI 14246، مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و چهار بار آلودگی اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین میزان آن در ژنوتیپ TRI 10519 یک بار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۹۱ سانتیمتر بدست آمد (جدول ۴).

گرد و غبار در فرایندهای طبیعی فتوسنتزی برگ‌ها به

دلیل بسته شدن روزنه‌ها و اجزای تشکیل دهنده آن دخالت می‌کند که باعث اختلال در فعالیت‌های فتوسنتزی گیاه می‌شود. با کاهش فعالیت فتوسنتزی گیاه توان رشدی گیاه را محدود می‌کند و سبب کاهش ارتفاع بوته می‌شود (Meravi et al., 2021).

سالیسیک اسید می‌تواند شرایط گیاه را به تنش صورت گرفته را تا حدودی مهار کند. در همین رابطه اثر مثبت سالیسیلیک لسید بر ارتفاع گیاه تحت تنش‌های محیطی توسط محققان (Wani et al., 2017; Ali et al., 2023) نیز گزارش شد.

وزن تر و خشک

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار، بیشترین وزن تر بوته در ژنوتیپ TRI 11020 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و یک بار تنش گرد و غبار به میزان ۰/۷۹۵ گرم بدست آمد و کمترین میزان وزن تر در ژنوتیپ TRI 10519 و عدم تنش گرد و غبار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۳۳۵ گرم بدست آمد (جدول ۴).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین وزن خشک بوته در ژنوتیپ TRI 10519 و عدم مصرف اسید سالیسیلیک و عدم تنش گرد و غبار به میزان ۰/۵۷۵ گرم بدست آمد و کمترین میزان وزن خشک در ژنوتیپ TRI 11020 چهار بار تنش گرد و غبار و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۲۲۵ گرم بدست آمد (جدول ۴).

تنش گرد و غبار با تاثیر منفی که بر روی تولیدات فتوسنتزی گیاه دارد سبب کاهش رشد رویشی گیاه می‌شود که یکی از این موارد می‌تواند به کاهش در وزن تر و خشک گیاه مشاهده کرد. در همین راستا محققان اظهار داشتند که تنش گرد و غبار باعث کاهش رشد و وزن خشک ریحان شده است (Sharifi and Beiranvand, 2013).

دیگر محققان گزارش کردند ریزگرد بیلانی منجر به کاهش صفات رویشی و زایشی انگور عسکری شد که کلروفیل‌های a و b، وزن خشک و برگ نسبت به شاهد کاهش یافت (Salahi and Behrozi, 2020).

جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات مورفولوژیک

Table 4- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on morphological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	طول ریشک Beard length	طول سنبله Spike length	طول میانگره Internode length	طول برگ پرچم Flag leaf length	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تر Wet weight	وزن خشک Dry weight
TRI11020	شاهد	شاهد	15.5a-d	5.3mno	40f-q	19i-p	116j-n	0.675j-i	0.115m-t
	Control	Control							
	یکبار آلودگی	شاهد	13c-i	4.8nop	41.5d-p	17.5l-s	126.5c-h	0.57g-l	0.215h-j
	Once pollution	Control							
	دوبار آلودگی	شاهد	11.5f-k	4.5op	36j-r	16o-v	112.5mno	0.515kl	0.275gef
	double pollution	Control							
	سه بار آلودگی	شاهد	15.0a-e	5.5lmn	33.5n-r	21h-m	a-g۱۲۹	0.535i-l	0.385bcd
	triple contamination	Control							
	چهار بار آلودگی	شاهد	13.5b-h	5nop	q۳۰	21h-m	pqr۱۰۶	0.47lm	0.435b
	Four times contaminated	Control							
	شاهد	۵۰ پی پی ام	a-e۱۵	5.5lmn	44.5a-l	19i-p	121.5g-m	0.56j-k	0.085p-u
	Control	50 ppm							
	یکبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	g-۱۱۱	5nop	29.5r	18k-r	113.5l-o	0.64c-k	0.375bcd
	Once pollution	50 ppm							
	دوبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	16.5ab	5nop	b-n۴۳	21h-m	112.5mno	0.575g-l	0.415bc
	double pollution	50 ppm							
	سه بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	15.5a-d	4.3p	m-r۳۴	23d-i	g-m۱۲۲	0.515kl	0.395bcd
	triple contamination	50 ppm							
	چهار بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	9.5j-m	4.8nop	n-r۳۳	14.5q-v	117.5i-n	0.525i-l	0.502u
	Four times contaminated	50 ppm							
	شاهد	۱۰۰ پی پی ام	13c-i	5nop	41.5c-o	13.5s-v	117.5i-n	0.645j-k	0.105n-u
	Control	۱۰۰ پی پی ام							
	یکبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	16.5ab	4.5op	45.5a-j	20h-o	122.5 g-l	0.795a	0.225ghi
	Once pollution	100ppm							
	دوبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	17.5a	5.3mno	38h-r	26.5b-e	118g-n	0.52kl	0.425b
	double pollution	100ppm							
	سه بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	12e-k	5.3mno	41.5c-o	17.5l-s	121g-m	0.54i-k	0.34cde
	triple contamination	100ppm							
	چهار بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	14.5 a-f	5nop	44a-m	21.5g-l	120.5g-m	0.565g-l	0.06 r-u
	Four times contaminated	100ppm							
TRI10519	شاهد	شاهد	b-g۱۴	8.5cde	35 k-r	20.5h-n	112.5mno	0.335m	0.575a
	Control	Control							
	یکبار آلودگی	شاهد	14.5 a-f	7.3fghi	35.5j-r	m-t۱۷	130 a-f	0.695a-g	0.405bcd
	Once pollution	Control							
	دوبار آلودگی	شاهد	12.5d-j	7.5fgh	37.5i-r	m-t۱۷	97.5qr	0.605c-l	0.11n-s
	double pollution	Control							
	سه بار آلودگی	شاهد	13.5b-h	7.5fgh	h-r 3.5	h-m۲۱	125g-j	0.62c-k	0.135m-s
	triple contamination	Control							
	چهار بار آلودگی	شاهد	13c-i	8def	31pqr	h-m۲۱	121.5g-m	0.545h-l	0.045t-u
	Four times contaminated	Control							

ادامه جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات مورفولوژیک

Table 4 Continued- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on morphological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	طول ریشک Beard length	طول سنبله Spike length	طول میانگره Internode length	طول برگ پرچم Flag leaf length	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تر Wet weight	وزن خشک Dry weight
TRI10519	شاهد	۵۰ پی پی ام	16abc	9.5ab	38.5g-r	23.5c-h	125g-j	0.6g-l	0.065q-u
	Control	50 ppm							
	یکبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	11.5f-k	8.5cde	34.5l-r	22f-j	91r	0.52 lk	0.12m-s
	Once pollution	50 ppm							
	دوبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	12.5d-j	7.5fgh	37.5i-r	17m-t	121.5g-m	0.74a-d	0.21h-k
	double pollution	50 ppm							
	سه بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	14.5 a-f	8.8bcd	46.5a-i	18.5j-p	138a	0.655a-k	0.165 i-o
	triple	50 ppm							
	contamination								
	چهار بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	16abc	9.3abc	35.5j-r	20.5h-n	122.5g-l	0.515kl	0.07p-u
	Four times	50 ppm							
	contaminated								
	شاهد	۱۰۰ پی پی ام	12.5d-j	7.5fgh	32.5o-r	23d-i	122.5g-l	0.71 a-f	0.055stu
	Control	100ppm							
	یکبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	15a-e	9abc	51a-d	16.5n-u	137.5a	0.59j-l	0.125m-s
	Once pollution	100ppm							
TRI 14246	دوبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	16.5ab	h-7.5f	38.5g-r	20.5h-n	117.5i-n	0.725a-e	0.355b-e
	double pollution	100ppm							
	سه بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	12.5d-j	9.8a	37i-r	17m-t	127.5b-h	0.54i-l	0.115 m-s
	triple	100ppm							
	contamination								
	چهار بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	13.5b-h	d-8.8b	38.5g-r	25.5b-g	127.5b-h	0.54i-l	0.105n-u
	Four times	100ppm							
	contaminated								
	شاهد	شاهد	9.5j-m	7g-j	48.5a-g	22.5e-j	126.5c-h	0.56g-l	0.13 m-s
	Control	Control							
	یکبار آلودگی	شاهد	9.5j-m	6.6ijk	46.5a-i	26b-f	113.5l-o	0.63c-k	0.325def
	Once pollution	Control							
	دوبار آلودگی	شاهد	10i-l	7.3f-i	47a-i	27.5bcd	125g-j	0.785ab	0.165h-l
	double pollution	Control							
	سه بار آلودگی	شاهد	11g-l	6.2g-j	45a-k	23d-i	122.5g-l	0.575g-l	0.195h-l
	triple	Control							
TRI 14246	contamination								
	چهار بار آلودگی	شاهد	10.5h-l	6.5i-k	41.5c-o	15p-v	136.5ab	0.54i-l	0.14m-r
	Four times	Control							
	contaminated								
	شاهد	۵۰ پی پی ام	10.5h-l	6.8h-k	50a-f	22.5e-j	126.5c-h	0.635c-k	0.125m-t
	Control	50 ppm							
	یکبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	6.5m	6.5i-k	37.5i-r	28ab	104opq	0.785ab	0.245fgh
	Once pollution	50 ppm							
TRI 14246	دوبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	11g-l	6.3j-l	47a-i	15p-v	121.5 g-m	0.565g-l	0.135 m-s
	double pollution	50 ppm							
	سه بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	11g-l	7.3f-i	50a-f	21.5g-l	131.5a-e	0.665i-j	0.135m-s
	triple	50 ppm							
	contamination								

ادامه جدول ۴- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات مورفولوژیک

Table 4 Continued- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on morphological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	طول ریشک Beard length	طول سنبله Spike length	طول میانگره Internode length	طول برگ پرچم Flag leaf length	ارتفاع گیاه Plant height	وزن تر Wet weight	وزن خشک Dry weight
TRI 14231	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۵۰ پی پی ام 50 ppm	9.5j-m	6.3j-l	53ab	23.5c-h	137.5a	0.61c-k	0.125m-r
	شاهد Control	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	10i-l	7.5f-h	44.5a-l	27bcd	109 n-p	0.585g-l	0.14 m-q
	یکبار آلودگی Once pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	8lm	7.5f-h	51.5abc	31.5a	105opq	0.535i-l	0.2 h-l
	دو بار آلودگی double pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	12e-k	6.3j-l	54a	20h-o	115k-n	0.515kl	0.18h-n
	سه بار آلودگی triple contamination	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	11g-l	6.8h-k	46.5a-i	21h-m	135abc	0.515lk	0.155i-o
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	9k-m	6.3j-l	49a-f	21.5g-l	132a-d	0.555h-l	0.115m-t
	شاهد Control	شاهد Control	17.5a	8d-f	51a-d	20h-o	100.5pqr	0.625c-k	0.14m-r
	یکبار آلودگی Once pollution	شاهد Control	16ab	7.3f-i	37i-r	16o-v	115k-n	0.745abc	0.115m-t
	دو بار آلودگی double pollution	شاهد Control	17.5a	7g-j	49.5a-f	18.5j-p	120g-m	0.675c-i	0.15 i-p
	سه بار آلودگی triple contamination	شاهد Control	13.5b-h	6.5i-k	42.5c-o	13tuv	117.5i-n	0.61c-l	0.145i-q
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	شاهد Control	14 b-g	7g-j	48a-h	14.5q-v	129.5a-g	0.575g-l	0.16i-o
	شاهد Control	۵۰ پی پی ام 50 ppm	14.5 a-f	7.5f-h	53.5a	18.5j-p	135abc	0.605c-l	0.105n-u
	یکبار آلودگی Once pollution	۵۰ پی پی ام 50 ppm	16a-c	6.8h-k	42.5c-o	19i-p	120g-m	0.545i-l	0.165h-i
	دو بار آلودگی double pollution	۵۰ پی پی ام 50 ppm	13c-i	7.3f-i	40.5e-p	15p-v	136.5ab	0.55h-l	0.155i-o
	سه بار آلودگی triple contamination	۵۰ پی پی ام 50 ppm	13c-i	6klm	41d-p	12v	121.5g-m	0.635c-k	0.14 j-r
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۵۰ پی پی ام 50 ppm	13.5b-h	6.8h-k	41d-p	12.5uv	b-g\۲۷	0.685a-h	0.1 n-u
	شاهد Control	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	14 b-g	7.8efg	29.5r	22.5e-j	138.5a	0.615c-k	0.105 n-u
	یکبار آلودگی Once pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	11g-l	6klm	45.5a-j	15.5p-v	110nop	0.615c-k	0.135m-s
	دو بار آلودگی double pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	10i-l	6.3jkl	48a-h	13tuv	116.5j-n	0.535i-l	0.13m-s
	سه بار آلودگی triple contamination	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	11.5f-k	7g-j	50.5 a-e	r-v\۴14	124 g-k	0.515kl	0.115m-s
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	14.5 a-f	7.3f-i	50 a-f	p-v\۱۵	117.5i-n	0.545h-l	0.12l-s

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

صفات فیزیولوژیک

محتوای نسبی آب برگ

نتایج مقایسه میانگین نشان داد بیشترین میزان محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ TRI 14231 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار به میزان ۹۶/۳ درصد بدست آمد که با ژنوتیپ TRI 14246 در مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد، با ژنوتیپ TRI 10519 با یکبار آلودگی و ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک، با TRI 11020 با دو بار آلودگی و عدم مصرف اسید سالیسیلیک و با TRI 11020 با چهار بار آلودگی و مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک تفاوت معنی داری نداشت. کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 10519 عدم تنش گرد و غبار و عدم مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۳۱/۳۱ درصد بدست آمد (جدول ۵). محتوای نسبی آب برگ، شاخصی برای نشان دادن مقدار آب در اندام گیاهی است که توانایی گیاه برای حفظ آب در شرایط تنش را نشان می دهد. تحقیقات نشان داده است که اولین تأثیر گرد و غبار بر کشاورزی در حوزه تولید است، چرا که گرد و غبار باعث کاهش ذخیره رطوبتی می شود. محققان گزارش کردند که گرد و غبار باعث تغییر محتوای نسبی آب برگ محصولات زراعی شده است (Karami, 2014; Aziz, 2011). پژوهشگران نشان دادند که گرد و غبار ناشی از سیمان باعث کاهش محتوای نسبی آب برگ در گیاه خر زهره، *Adhatoda vasica* و *Jatropha gossypifolia* شده است (Loganathan and Muhammad Ilyas, 2012). محققان دیگر نیز گزارش کردند که اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان کلروفیل و نیز کاهش محتوای نسبی آب گندم گردید (Behnam et al., 2019). گزارش شده است که محلول پاشی برگ اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان محتوای آب نسبی برگ کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گردید (Seifi, 2014). محتوای آبی برگ بهترین شاخص برای بیان وضعیت آب در گیاه است و وضعیت فراگیرتری از تعادل میزان عرضه و تبخیر و تعرق را نشان می دهد. بنابراین گرد و غبار به عنوان یک فاکتور آلوده کننده محیط، مسئول تغییرات رطوبت نسبی برگ گیاهان است، هر چند این فاکتور عمدتاً وابسته به مقدار رطوبت قابل دسترس در خاک است. نتایج به دست آمده با نتایج دیگر محققان

(Qadir and Siddiqui, 2014) مطابقت دارد.

پرولین

بیشترین میزان پرولین در ژنوتیپ TRI 14231 و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و یک بار تنش گرد و غبار به میزان ۱۳/۴ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 چهار بار تنش گرد و غبار و ۱۰۰ پی پی ام مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۷/۲ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۵). این نتایج نشان می دهد تیمار یک بار تنش گرد و غبار بر روی رقم TRI 14231 تأثیر بسیار منفی داشته و باعث افزایش پرولین این رقم گردیده است. در حالی که رقم TRI 14231 در تیمار ۴ بار تنش گرد و غبار کمترین میزان پرولین را داشت و مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک باعث کاهش پرولین در این رقم شده است. محققان نشان دادند که افزایش گرد و غبار به طور معنی داری بر مقدار پرولین بلوط تأثیرگذار بوده است به طوری که با افزایش گرد و غبار به مقدار پرولین افزوده شده است (Lajm Orak Remeh et al., 2014). دیگر پژوهشگران اظهار داشتند گرد و غبار بر روی گیاه آفتابگردان باعث کاهش میزان پرولین آفتابگردان شد (Zadsar et al., 2015). در پژوهشی مشخص شد که تنش گرد و غبار تأثیر معنی داری بر میزان پرولین دو گونه بنه و بلوط ایرانی نداشته است که احتمالاً بدلیل کافی نبودن میزان گرد و غبار ایجاد شده در این پژوهش بوده است (Roshaninia, 2017). نتایج تحقیقات محققان حاکی از آن بود که کاربرد اسید سالیسیلیک باعث کاهش میزان پرولین ارقام گندم شد که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد (Behnam et al., 2019).

کارتنوئید

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار، بیشترین میزان کارتنوئید در TRI 11020 عدم مصرف اسید سالیسیلیک و عدم تنش گرد و غبار به میزان ۲/۹ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 و عدم تنش گرد و غبار و ۱۰۰ پی پی ام مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۵). نشان داده شده است

نشان دادند که کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید لوبیا چیتی به طور معنی داری تحت تأثیر تیمار گرد و غبار قرار گرفت (Ghasemi et al., 2020). دیگر پژوهشگران گزارش کردند که محلول پاشی برگ‌گی اسید سالیسیلیک باعث افزایش میزان کارتنوئید برگ کدو تخم کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) گردید (Seifi, 2014).

که گرد و غبار بر کلروفیل a، کلروفیل b و کلروفیل کل و کارتنوئید در گونه بلوط تأثیر معنی داری داشت. آنها اظهار داشتند از آنجایی که نقش کارتنوئید، محافظت از کلروفیل و ممانعت از تخریب نوری در برابر شدت نور بالاست. منطقی است که به دلیل اثر سایه اندازی ذرات گرد و غبار، کاهش شدت نور، میزان کارتنوئید کاهش یابد (Roshaninia, 2017). محققان

جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات فیزیولوژیک

Table 5- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on physiological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	محتوای نسبی آب RWC	پروکلین Proline	کارتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
TRI 11020	شاهد	شاهد	68.9b-j	10.1cd	2.9a	10.8 ab	0.38 ab
	Control	Control					
	یکبار آلودگی	شاهد	83.3abc	3.1t-y	0.6lm	4.1 mnop	0.09 ef
	Once pollution	Control					
	دوبار آلودگی	شاهد	93.8a	5.6jklm	1.7c-j	8.2 a-l	0.20 b-f
	double pollution	Control					
	سه بار آلودگی	شاهد	76.7a-g	11.7b	1.4d-l	6.8 d-m	0.17 cdef
	triple contamination	Control					
	چهار بار آلودگی	شاهد	50.4ijkl	3.3s-x	1.6c-k	7.9 b-l	0.20 b-f
	Four times contaminated	Control					
	شاهد	۵۰ پی پی ام	87.6ab	4.9k-p	1.4e-m	7.9 b-l	0.19 b-f
	Control	50 ppm					
	یکبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	48.2jkl	8.3ef	h-m	5.8 h-o	0.13 c-f
	Once pollution	50 ppm					
	دوبار آلودگی	۵۰ پی پی ام	53.1ghijkl	7.7fg	1.8b-h	8 a-l	0.22 b-f
	double pollution	50 ppm					
	سه بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	87.5ab	2.7v-z	1.5d-l	11.5 a	0.24 b-f
	triple contamination	50 ppm					
	چهار بار آلودگی	۵۰ پی پی ام	95.1a	3.2t-y	0.9h-m	4.9 lmno	0.11 def
	Four times contaminated	50 ppm					
	شاهد	۱۰۰ پی پی ام	73.6a-i	3.4r-x	0.5m	3.2 nop	0.55 a
	Control	100ppm					
	یکبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	48.3jkl	4.8k-q	0.9i-m	5.7 h-o	0.17 cdef
	Once pollution	100ppm					
	دوبار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	83.3abc	2.1wxyz	2.3abcd	9.6 a-e	0.29 bcd
	double pollution	100ppm					
	سه بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	74.9a-i	4.7l-s	2.1a-f	8.7 a-j	0.25 b-f
	triple contamination	100ppm					
	چهار بار آلودگی	۱۰۰ پی پی ام	87.4ab	4.4m-u	1.3e-m	5.4 i-o	0.15 cdef
	Four times contaminated	100ppm					

ادامه جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات فیزیولوژیک

Table 5 Continued- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on physiological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	محتوای نسبی آب RWC	پرولین Proline	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
TRI 10519	شاهد Control	شاهد Control	31.3 l	4n-v	1.3e-m	5.4 i-o	0.15 cdef
	یکبار آلودگی Once pollution	شاهد Control	51.2hijkl	3.4r-x	1h-m	5.9 g-o	0.17 cdef
	دوبار آلودگی double pollution	شاهد Control	78.9abcde	4.1n-v	1.3e-m	9.4 a-f	0.26 b-f
	سه بار آلودگی triple contamination	شاهد Control	79.2abcd	3.1t-y	1.1h-m	7.1 c-m	0.19 b-f
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	شاهد Control	90.9ab	1.9yz	0.8jklm	4.2 mnop	0.11 def
	شاهد Control	۵۰ پی پی ام 50 ppm	81.8abc	10.5bcd	1.2g-m	3.1 op	0.15 cdef
	یکبار آلودگی Once pollution	۵۰ پی پی ام 50 ppm	95a	7.4fghi	1.2g-m	5.3 i-o	0.13 cdef
	دوبار آلودگی double pollution	۵۰ پی پی ام 50 ppm	54.9e-l	2.7vw	0.8jklm	4.1 mnop	0.09 ef
	سه بار آلودگی triple contamination	۵۰ پی پی ام 50 ppm	68.7b-j	5.5jklmn	0.9ijklm	c-mv	0.22 b-f
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۵۰ پی پی ام 50 ppm	96.6a	3u-z	0.9ijklm	6 f-o	0.22 b-f
	شاهد Control	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	73.3a-i	4o-v	1.4e-m	7.8 b-l	0.17 cdef
	یکبار آلودگی Once pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	83.2abc	10.7bcd	1.5d-l	10.8 ab	0.25 b-f
	دوبار آلودگی double pollution	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	39.6kl	3u-z	1.2f-m	5.8 h-o	0.13 cdef
	سه بار آلودگی triple contamination	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	90.6ab	1.9u-z	0.9ijklm	5.2 j-o	0.12 cdef
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۱۰۰ پی پی ام 100ppm	90.8ab	2xyz	1 h-m	6 f-o	0.18 cdef
	شاهد Control	شاهد Control	87ab	4.4m-u	1.1h-m	7.2c-m	0.24b-f
	یکبار آلودگی Once pollution	شاهد Control	57.4d-k	1.6xyz	1h-m	8.8a-i	0.19cdef
	دوبار آلودگی double pollution	شاهد Control	54f-l	6.7ghij	1.2g-m	6.9d-m	0.2b-f
	سه بار آلودگی triple contamination	شاهد Control	80abcd	2.1xyz	1.8b-h	9.5a-e	0.22b-f
TRI 14246	شاهد Control	شاهد Control	87ab	4.4m-u	1.1h-m	7.2c-m	0.24b-f
	یکبار آلودگی Once pollution	شاهد Control	57.4d-k	1.6xyz	1h-m	8.8a-i	0.19cdef
	دوبار آلودگی double pollution	شاهد Control	54f-l	6.7ghij	1.2g-m	6.9d-m	0.2b-f
	سه بار آلودگی triple contamination	شاهد Control	80abcd	2.1xyz	1.8b-h	9.5a-e	0.22b-f

ادامه جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات فیزیولوژیک

Table 5 Continued- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on physiological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	محتوای نسبی آب RWC	پرولین Proline	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
TRI 14231	چهار بار آلودگی Four times contaminated	شاهد Control	90ab	4.9k-p	1.4d-l	8.1a-l	0.18cdef
	شاهد Control	۵۰ پی پی am	74a-i	7.5fgh	1.4e-m	7.6b-m	0.19cdef
	یکبار آلودگی Once pollution	۵۰ پی پی am	46.9jkl	3.5p-w	1h-m	5.5h-o	0.13cdef
	دوبار آلودگی double pollution	۵۰ پی پی am	86.4ab	0.5z	1.1h-m	7c-m	0.2b-f
	سه بار آلودگی triple contamination	۵۰ پی پی am	68.9b-j	0.6z	2.6ab	9.6a-e	0.3bc
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۵۰ پی پی am	77.8a-f	4.8k-q	2.6ab	6.2e-o	0.17cdef
	شاهد Control	۱۰۰ پی پی am	82abc	5.5jklmn	1.4e-m	8.5a-k	0.23b-f
	یکبار آلودگی Once pollution	۱۰۰ پی پی am	89.6ab	4.4m-u	1.2g-m	8.2a-l	0.21b-f
	دوبار آلودگی double pollution	۱۰۰ پی پی am	95.6a	2.3wxyz	1.1h-m	6.3d-o	0.2b-f
	سه بار آلودگی triple contamination	۱۰۰ پی پی am	95.8a	3.9o-v	2.1a-g	9.4a-f	0.24b-f
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	۱۰۰ پی پی am	87.5ab	11.2b	1.2f-m	6.2e-o	0.21b-f
	شاهد Control	شاهد Control	74.5a-h	3.1t-v	2.2a-e	9.5a-f	0.28b-e
	یکبار آلودگی Once pollution	شاهد Control	60.8c-k	7.7fg	1.6c-k	8.3a-l	0.23b-f
	دوبار آلودگی double pollution	شاهد Control	73.1a-i	11.7b	0.9ijklm	4.8lmno	0.13cdef
	سه بار آلودگی triple contamination	شاهد Control	76.3a-g	8.4ef	0.9ijklm	4.1mnop	0.19cdef
	چهار بار آلودگی Four times contaminated	شاهد Control	83.3abc	6.7ghij	2.7a	7.6b-m	0.22b-f

ادامه جدول ۵- نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار بر صفات فیزیولوژیک

Table 5 Continued- Results of comparison of the mean interaction of genotype, salicylic acid and dust stress on physiological traits

ژنوتیپ Genotype	تنش گرد و غبار Dust	اسید سالیسیلیک Salicylic acid	محتوای نسبی آب RWC	پروترین Proline	کاروتنوئید Carotenoid	کلروفیل a Chlorophyll a	کلروفیل b Chlorophyll b
شاهد Control		۵۰ پی پی ام 50 ppm	80abcd	1.1z	1.2f-m	8a-l	0.23b-f
یکبار آلودگی Once pollution		۵۰ پی پی ام 50 ppm	89.5ab	6.1hijk	1.3e-m	9.7a-e	0.21b-f
دوبار آلودگی double pollution		۵۰ پی پی ام 50 ppm	87.5ab	6ijkl	0.9ijklm	2.9op	0.15cdef
سه بار آلودگی triple contamination		۵۰ پی پی ام 50 ppm	72.7a-i	2.7wxyz	2.4abc	10.5abc	0.23b-f
چهار بار آلودگی Four times contaminated		۵۰ پی پی ام 50 ppm	68.3b-j	6.2hijk	1.2f-m	9.0a-h	0.27b-e
شاهد Control		۱۰۰ پی پی ام 100ppm	77.5a-f	9.6de	1.1h-m	5.1k-o	0.13cdef
یکبار آلودگی Once pollution		۱۰۰ پی پی ام 100ppm	76a-g	13.4a	1.2f-m	9.8abcd	0.26b-f
دوبار آلودگی double pollution		۱۰۰ پی پی ام 100ppm	91.3ab	5.4j-o	1.3e-m	1p	0.08f
سه بار آلودگی triple contamination		۱۰۰ پی پی ام 100ppm	96.3a	7.9fg	0.7klm	6.4d-o	0.24b-f
چهار بار آلودگی Four times contaminated		۱۰۰ پی پی ام 100ppm	89.4ab	7.2fghi	1.6c-k	6.6d-n	0.17cdef

میانگین‌های دارای حروف یکسان بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند.

Means followed by similar letters show non- significant difference according to LSD tests at 5% level.

کلروفیل a

بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و تنش گرد و غبار، بیشترین میزان کلروفیل a در ژنوتیپ TRI 11020 با مصرف ۵۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و سه بار تنش گرد و غبار به میزان ۱۱/۵ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 و سه بار تنش گرد و غبار و ۱۰۰ پی پی ام مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۱ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۵). رنگدانه‌های کلروفیل یکی از مهم‌ترین فاکتورهای زیستی به

شمار می‌روند که تنش‌های محیطی باعث کاهش آنها می‌شود. گزارش شده است که ذرات گرد و غبار به دلایل زیر باعث کاهش کلروفیل گیاهان می‌شود. افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز، که عامل اصلی تجزیه کلروفیل است و زمانی افزایش می‌یابد که در اثر سایه اندازی ذرات گرد و غبار، دهانه روزنه‌ها مسدود شود و دمای برگ افزایش یابد (Lajm Orak Remeh *et al.*, 2014). گرد و غبار با ایجاد شرایط قلیایی در برگ، باعث تخریب کلروفیل و کاهش رنگیزه‌ها می‌شود. این امر فعالیت آنزیم‌های سازنده رنگیزه را متوقف کرده و تولید فرم‌های فعال

اکسیژن را افزایش می‌دهد (Loggini et al., 1999).

کلروفیل b

براساس نتایج مقایسه میانگین بیشترین میزان کلروفیل b در TRI 11020 مصرف ۱۰۰ پی پی ام اسید سالیسیلیک و عدم تنش گرد و غبار به میزان ۰/۵۵ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد و کمترین میزان در ژنوتیپ TRI 14231 و دو بار تنش گرد و غبار و ۱۰۰ پی پی ام مصرف اسید سالیسیلیک به میزان ۰/۰۸ میلی گرم بر گرم وزن تر بدست آمد (جدول ۵). محققان نشان دادند که میزان کلروفیل a گیاه ماش (*Vigna radiata* L.) تحت تأثیر افزایش غلظت ریزگرد کاهش یافت (Fateminejad et al., 2017). نتایج پژوهشگران حاکی از آن بود که با افزایش گرد و غبار میزان کلروفیل a ، b و کل بلوط نسبت به شاهد (عدم تنش گرد و غبار) کاهش نشان داد (Lajm Orak Remeh et al., 2014). دیگر محققان نشان دادند که تنش گرد و غبار باعث کاهش کلروفیل برگ ارقام گندم شده است (Shahbazi et al., 2016). پژوهشگران نشان دادند اعمال غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی مولار اسید سالیسیلیک منجر به افزایش میزان کلروفیل a و b جو (افزایش حدود ۱/۶ برابر نسبت به سطح شاهد) گردید (Behnam et al., 2019). با توجه به این که گردوغبار بر میزان دریافت نور خورشید از سوی برگ مؤثر است، پس میزان کلروفیل برگ در زمان بروز گردوغبار کاهش می‌یابد (Arvin spanani et al., 2013).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده اهمیت تعادل و تعامل بین

ژنوتیپ، اسید سالیسیلیک و عوامل محیطی مانند گرد و غبار در تنظیم رشد گیاهان می‌باشد. نتایج نشان داد بالاترین طول میانگین و طول برگ پرچم در شرایط تنش گرد و غبار ژنوتیپ TRI 14246 و کاربرد اسید سالیسیلیک و بالاترین میزان رنگدانه‌های کارتنوئید و کلروفیل a و b در شرایط تنش گرد و غبار ژنوتیپ TRI 11020 و اعمال اسید سالیسیلیک و نیز بالاترین طول ریشک، محتوی آب نسبی برگ و پرولین در شرایط تنش گرد و غبار ژنوتیپ TRI 14231 بدست آمد. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای بهره‌گیری از اسید سالیسیلیک به‌عنوان راهکاری مدیریتی در افزایش تحمل گندم دوروم به تنش گرد و غبار، به‌ویژه در مناطق مستعد طوفان‌های گرد و غبار، فراهم سازد. کاربرد این ترکیب، به‌ویژه در ژنوتیپ‌هایی با سازگاری بیشتر، می‌تواند موجب بهبود صفاتی مانند طول سنبله، محتوای نسبی آب برگ و میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی شود و در نتیجه، به پایداری عملکرد و حفظ کیفیت محصول در شرایط اقلیمی نامساعد کمک کند. این نتایج می‌تواند برای کشاورزان مناطق خشک و نیمه‌خشک و همچنین برنامه‌ریزان بخش کشاورزی، در جهت افزایش تولید گندم تحت شرایط تنش گرد و غبار، سودمند و قابل استفاده باشد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از پایان نامه کارشناسی ارشد بوده که فعالیت‌های عملی آن در گلخانه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های دانشگاه ایلام انجام شده است. به این وسیله نویسندگان مقاله از زحمات کارشناسان بخش‌های مذکور قدردانی می‌نمایند.

References

- Ali, E., Hussain, S., Jalal, F., Khan, M.A., Imtiaz, M., Said, F., Ismail, M., Khan, S., Ali, H.M., Hatamleh, A.A. and Al-Dosary, M.A., 2023. Salicylic acid-mitigates abiotic stress tolerance via altering defense mechanisms in *Brassica napus* (L.). *Frontiers in Plant Science*, 14, 1187260. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1187260>
- Amid, S., Fazeli, A., Haghi, R. and Bazgir, M., 2023. Physiological response of some wheat genotypes under dust conditions. *Journal of Plant Biological Sciences*, 15(2), pp.67-84. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2024.139885.1345>

- Arvin, A.A., Cheraghi, S. and Cheraghi, S., 2013. Evaluation of dust effect on the quantitative and qualitative growth of sugarcane varieties CP57-614. *Physical Geography Research Quarterly*, 45(3), pp.95-106. <https://doi.org/10.22059/jphgr.2013.35837>
- Aziz, K., 2011. Studying the effect of dust duration on vegetative growth and physiological characteristics of rice and corn. First International Congress on Dust Phenomenon and Counteraction to Its Harmful Effects, Ramin University of Agriculture and Natural Resources, Khuzestan.
- Bazi Zlan, R. , Fazeli, A. , Zarei, B. and Erfani Moghadam, J., 2022. The effect of salicylic acid on the activity of catalase and peroxidase enzymes and the content of phenol and flavonoid of (*Scrophularia striata* L.) under water deficit stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 13(4), pp.57-68. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2022.133824.1288>
- Behnam, A., Abbaspour, H. and Saeid Nematpour, F., 2019. Effects of salicylic acid on growth improvement and changes of biochemical parameters of wheat seedlings in cadmium stress. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 32(2), pp.315-327. <https://doi.org/20.1001.1.23832592.1398.32.2.1.6>
- Bolorani, A.D., Ranjbareslamloo, S., Mirzaie, S., Bahrami, H.A., Mirzapour, F. and Tehrani, N.A., 2020. Spectral behavior of Persian oak under compound stress of water deficit and dust storm. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 88, 102082. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102082>
- 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(1-2), pp.248-254.
- Dong, C.J., Wang, X.L. and Shang, Q.M., 2011. Salicylic acid regulates sugar metabolism that confers tolerance to salinity stress in cucumber seedlings. *Scientia Horticulturae*, 129(4), pp.629-636. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.05.005>
- Eslami, A. and Ghasemi, S.M., 2019. Determination of the best interpolation method in estimating the concentration of environmental air pollutants in Tehran city in 2015. *Journal of Air Pollution and Health*. 3(4), pp.187-198. <https://doi.org/10.18502/japh.v3i4.402>
- Fatemejad, P., Lari-Yazdi, H and Rafiei, M., 2017. Effect of aerosols and drought stresses on some physiological traits of mungbean (*Vigna radiata* L.). *Applied Field Crops Research*, 30(2), pp.19-30. [In Persian]. <https://doi.org/10.22092/aj.2018.109025.1109>
- Fathi, A., Shiade, S.R.G., Ait-El-Mokhtar, M. and Rajput, V.D., 2024. Crop Photosynthesis under Climate Change. In *Handbook of Photosynthesis* (4th ed.). Taylor & Francis, Boca Raton, USA. P.826. <https://doi.org/10.1201/b22922>
- Fallah Zazuli, M., Vafaeinezhad, A., Kheirkhah Zarkesh, M.M. and Ahmadi Dehka, F., 2014. Source routing of dust haze phenomenon in the west and southwest of Iran and its synoptic analysis by using remote sensing and GIS. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(4), pp.61-78. [In Persian].

- Fazeli, A., Zarei, B and Tahmasebi, Z., 2017. The effect of salinity stress and salicylic acid on some physiological and biochemical traits of Black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Plant Biological Sciences*, 9(4), pp.69-84. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2018.104605.1029>
- Ghadirnezhad Shiade, S.R., Fathi, A., Taghavi Ghasemkheili, F., Amiri, E. and Pessarakli, M., 2023. Plants' responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches—A review. *Journal of Plant Nutrition*, 46(9), pp.2198-2230. <https://doi.org/10.1080/01904167.2022.2105720>
- Ghasemi, E., Taab, A. and Radicetti, E., 2020. Study the effect of soil dust on the competitiveness between bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Kosha) and *Chenopodium album* (L.) and *Echinochloa crus-galli* (L.) P. Beauv. *Environmental Sciences*, 18(2), pp.219-236. <https://doi.org/10.29252/envs.18.2.219>
- Guzman, C., Peña, R. J., Singh, R., Autrique, E., Dreisigacker, S., Crossa, J., Rutkoski, J., Poland, J. and Battenfield, S., 2016. Wheat quality improvement at CIMMYT and the use of genomic selection on it. *Applied & Translational Genomics*, 11, pp.3-8. <https://doi.org/10.1016/j.atg.2016.10.004>
- Hamzeh, N.H., Kaskaoutis, D.G., Rashki, A. and Mohammadpour, K., 2021. Long-term variability of dust events in southwestern Iran and its relationship with the drought. *Atmosphere*, 12(10), 1350. <https://doi.org/10.3390/atmos12101350>
- Karami, L., 2014. The effect of drought and dust stress on some morpho-physiological characteristics of grapes, Master's thesis in Horticultural Sciences, Physiology and Breeding of Fruit Trees, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan.
- Lajm Orak Remeh, M., Ghalibaf, M.A., Azimzadeh, H., Mosleh, A. and Ghasemi, S., 2014. Studying the effect of fine dust on some physiological characteristics of oak trees: Master's thesis, Yazd University, Faculty of Agriculture and Natural Resources.
- Li, A., Sun, X. and Liu, L., 2022. Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science*, 13, 878076. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076>
- Liu, M., Westphal, D.L., Wang, S., Shimizu, A., Sugimoto, N., Zhou, J. and Chen, Y., 2003. A high-resolution numerical study of the Asian dust storms of April 2001. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D23). <https://doi.org/10.1029/2002JD003178>
- Loganathan, M. and Ilyas, M.M., 2012. Impact of cement dust pollution on morphology and histology in some medicinally significant plants. *Pharmacie Globale (IJCP)*, 11, pp.23-28.
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E. and Navari-Izzo, F., 1999. Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant physiology*, 119(3), pp.1091-1100. <https://doi.org/10.1104/pp.119.3.1091>
- Martínez-Moreno, F., Ammar, K. and Solís, I., 2022. Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: a historical review. *Agronomy*, 12(5), 1135. <https://doi.org/10.3390/agronomy12051135>

- Mefleh, M., Conte, P., Fadda, C., Giunta, F., Piga, A., Hassoun, G. and Motzo, R., 2019. From ancient to old and modern durum wheat varieties: Interaction among cultivar traits, management, and technological quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(5), pp.2059-2067. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9388>
- Melash, A.A., Mengistu, D.K., Abera, D.A. and Tsegay, A., 2019. The influence of seeding rate and micronutrients foliar application on grain yield and quality traits and micronutrients of durum wheat. *Journal of Cereal Science*, 85, pp.221-227. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.08.005>
- Meravi, N., Singh, P.K. and Prajapati, S.K., 2021. Seasonal variation of dust deposition on plant leaves and its impact on various photochemical yields of plants. *Environmental Challenges*, 4, 100166. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100166>
- Miao, Y. and Zentgraf, U., 2007. The antagonist function of Arabidopsis WRKY53 and ESR/ESP in leaf senescence is modulated by the jasmonic and salicylic acid equilibrium. *The Plant Cell*, 19(3), pp.819-830. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.042705>
- Miri, A., Maleki, S. and Middleton, N., 2021. An investigation into climatic and terrestrial drivers of dust storms in the Sistan region of Iran in the early twenty-first century. *Science of the Total Environment*, 757, 143952. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143952>
- Mohammadi, R. and Haghparast, R., 2022. Durum wheat: production, nutritional value and economic importance. *Cereal Biotechnology and Biochemistry*, 1(3), pp.414-445. <https://doi.org/10.22126/cbb.2022.8385.1021>
- Montazeri Takhti, N., Khajoei Nejad, G.R. and Arvin, M.J., 2016. Response of barley cultivars to chemical treatments of salicylic acid and selenium under drought stress in field condition. *Journal of Crops Improvement*, 18(2), pp.431-441. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56579>
- 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, pp.149-156. <https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
- Qadir, S.U. and Siddiqui, W.A., 2014. Effect of fly ash on some biochemical parameters of selected plants growing at dumping site of Badarpur Thermal Power Plant in Delhi. *International Journal of Research in Applied, Natural and Social Sciences*, 2(7), pp.7-14. <https://doi.org/10.1166/asl.2014.5569>
- Rezabeigi, S., Bijanzadeh, E. and Behpouri, A., 2020. Effect of salicylic acid on photosynthetic pigments, enzyme activity and yield of durum wheat (*Triticum durum* L.) under drought stress conditions. *Journal of Plant Process and Function*, 9(35), pp.243-258. <https://doi.org/10.1001.1.23222727.1399.9.35.17.8>
- Roshaninia, F., 2017. The effect of fine dust on the morphological and physiological characteristics of two species of Iranian oak (*Quercus brantii*) and pistachio (*Pistacia atlantica*). Master's thesis in Natural Resources Engineering-Forestry, Faculty of Agriculture, University of Ilam.
- Safajo, S., Faramarzi, A., Ajali, J., Abdi, M. and Orei, M., 2023. Investigating the effect of foliar spraying of salicylic acid and methanol on yield and yield components of *Brassica napus* under drought stress. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54(1), pp.205-222. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.354327.669439>

- Salahi, B. and Behrozi, M., 2020. Investigating the effect of desert micro-organisms on vegetative traits and yield of grapevine in Shiraz. *Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(1), pp.135-152. <https://doi.org/10.29252/jsaeh.7.1.10>
- Salarpour Ghoraba, F. and Farahbakhsh, H., 2014. Effects of drought stress and salicylic acid on morphological and physiological traits of (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Crops Improvement*, 16(3), pp.765-778. <https://doi.org/10.22059/jci.2014.53276>
- Seifi, M., 2014. Studying the effect of water deficit stress, salicylic acid and ascorbic acid on the yield and oil content of the medicinal plant pumpkin (*Cucurbita pepo* L.), Master's thesis in Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrood University.
- Shabnam, N., Tripathi, I., Sharmila, P. and Pardha-Saradhi, P., 2016. A rapid, ideal, and eco-friendlier protocol for quantifying proline. *Protoplasma*, 253, pp.1577-1582. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0910-6>
- Shahbazi, T., Saiedi, M. and Nosratti, I., 2016. Evaluation the effect of airborne dust on physiological characteristics and yield of different wheat varieties (*Triticum sp.*). *Journal of Plant Process and Function*, 5(15), pp.195-204. <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1395.5.15.3.6>
- Sharifi, M. and Beiranvand, T., 2013. Studying the effect of dust on yield (dry weight, chlorophyll content and chlorophyll fluorescence) of green basil plant, First National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources.
- Shohani, F., Fazeli, A. and Hosseini, S., 2022. The effects of using salicylic acid and silicon on some physiological and anatomical indices in two ecotypes of *Scrophularia striata* L. medicinal plant under drought stress. *Journal of Plant Biological Sciences*, 14(2), pp.21-42. <https://doi.org/10.22108/ijpb.2023.137115.1315>
- Stevens, J., Senaratna, T. and Sivasithamparam, K., 2006. Salicylic acid induces salinity tolerance in tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Roma): associated changes in gas exchange, water relations and membrane stabilisation. *Plant Growth Regulation*, 49, pp.77-83. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-0019-1>
- Velayatzadeh, M., 2020. Introducing the causes, origins and effects of dust in Iran. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(1), pp.63-70. <https://doi.org/10.18502/japh.v5i1.2860>
- Wani, A.B., Chadar, H., Wani, A.H., Singh, S. and Upadhyay, N., 2017. Salicylic acid to decrease plant stress. *Environmental Chemistry Letters*, 15(1), pp.101-123. <https://doi.org/10.1007/s10311-016-0584-0>
- Yang, H., Meng, Y., Chen, B., Zhang, X., Wang, Y., Zhao, W. and Zhou, Z., 2016. How integrated management strategies promote protein quality of cotton embryos: high levels of soil available N, N assimilation and protein accumulation rate. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1118. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01118>
- Yang, J., Yang, R., Liang, X., Marshall, J.M. and Neibling, W., 2023. Impact of drought stress on spring wheat grain yield and quality. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, 6(1), e20351. <https://doi.org/10.1002/agg2.20351>
- Zadsar, N., Sodaieizadeh, H., Azimzadeh, H. and Mosleh Arani, A., 2015. Studying the effect of dust on some morphological and physiological characteristics of sunflower plants. National Conference on Agricultural Development, Healthy Soil.

Zarei, N., Ali, S., Kakhki, M.D., Froshani, N.S., Moghaddam, P.R. and Sabouni, M.S., 2022. An investigation into the effect of dust on wheat yield. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 24(03), 2250032. <https://doi.org/10.1142/s1464333222500326>