



<https://ijpb.ui.ac.ir/?lang=en>
Journal of Plant Biological Sciences
E-ISSN: 3041-9603
Vol. 15, Issue, No. 2, Summer 2023
Document Type: Research Paper
Received: 08/12/2023 Accepted: 08/06/2024

Physiological response of some wheat genotypes under dust conditions

Saba Amid¹, Arash Fazeli^{2*}, Reza Haghi³, Masoud Bazgir⁴

^{1,2} Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

³ Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research (IPK), Gatersleben, Germany

⁴ Department of Water and Soil Engineering, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran

Abstract

To investigate the impact of airborne dust on the physiological characteristics of 11 wheat genotypes, an experiment was conducted in the agricultural year of 1401 at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ilam University. The experiment followed a factorial design based on a completely random design with three replications. The study factors encompassed two stress and control conditions and 11 wheat genotypes. The measured traits included relative leaf water content, ion leakage, membrane stability, as well as protein, proline, and photosynthetic pigment levels at the four-leaf stage of wheat. Statistical analysis revealed the significance of all assessed traits. Dust stress led to a decrease in relative leaf water content, ion leakage, membrane stability, protein, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoid levels, with an increase in proline. This reduction in these factors resulted in decreased photosynthesis and, ultimately, reduced crop productivity.

Introduction

Dust storms are natural occurrences that are widespread, particularly in arid and semi-arid regions (Wang, 2005). Dust exerts numerous adverse effects by impacting the leaf surface, which is vital for essential plant functions like photosynthesis, transpiration, and respiration. Furthermore, dust indirectly affects marketability and product quality. Dust particles, when deposited on plant aerial parts, trigger various physical and chemical changes, including stomatal blockage, reduced photosynthetic activity, leaf abscission, tissue damage, increased temperature, and alteration of leaf pigments (Wijayratne et al., 2009). Dust accumulation also affects the relative leaf water content and leaf chlorophyll content (Chaturvedi et al., 2013), ultimately leading to reduced crop yields. On average, the reduction in the yield of agricultural products due to dust has been estimated up to five percent. The occurrence of dust during crop growth, especially in wheat, poses a significant risk in the western and southern regions of Iran. Accurate assessment of the damage caused

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



by dust particles in crop production is crucial, and the study of the effects of dust on crop growth is vital to identify varieties that can withstand these conditions and enhance productivity. Dust directly challenges agriculture in the region, emphasizing the need for documented, long-term strategies to mitigate its adverse effects. Wind and rain can help reduce dust accumulation on leaf surfaces.

Materials and Methods

This experiment was conducted during the agricultural year of 1401 at the research greenhouse of the Faculty of Agriculture, Ilam University. It followed a factorial design based on a completely random design with three replications. The study aimed to investigate the impact of airborne dust on the physiological characteristics of 11 wheat genotypes. Genotype seeds were sourced from the gene bank of IPK Institute in Germany. Soil sampling was performed in the Mehran region, with a soil analysis including pH, EC, lime, gypsum, organic matter, and soil texture determination. Airborne dust was simulated in a controlled environment similar to a greenhouse. After subjecting the wheat to dust stress, the study assessed relative leaf water content, ion leakage, and membrane stability, and analyzed leaf samples for protein, proline, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids. Various methods were used for these measurements, including Ritchie et al. (1990) for relative water content, Lutts et al. (1995) for ion leakage, Kaya et al. (2002) for membrane stability, Shabnam et al. (2015) for proline, Bradford (1976) for protein, and Porra (2002) for photosynthetic pigments. Subsequently, data were normalized, and statistical analysis was performed using SAS software. Mean comparisons were carried out using Duncan's multiple range test, and figures and graphs were generated using Graph Pad software.

Results and Discussion

The analysis of variance results indicated that both stress effects and the interaction between stress and genotype were significant for all evaluated traits. Dust stress led to a decrease in relative leaf water content, an increase in ion leakage, a decrease in membrane stability, a reduction in protein content, and a decrease in chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids levels, with an increase in proline content. Dust stress led to a decrease in relative leaf water content, an increase in ion leakage, a decrease in membrane stability, a reduction in protein content, and a decrease in chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids levels, with an increase in proline content. Among the genotypes, G10 and G6 exhibited the lowest relative leaf water content, ion leakage, membrane stability, protein, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids, with the highest values observed for G6 and G11. Proline levels were lowest in the control (G2) and highest in the treatment (G8). Decreased relative leaf water content indicates a reduction in morphological and physiological processes in plants, while increased ion leakage signifies heightened cell membrane permeability due to damage from reactive oxygen species. Proline aids in plant stress tolerance by regulating osmosis, preventing enzyme damage, and eliminating hydroxyl radicals. Reduced protein content under stress results from decreased production, increased decomposition, or damage from reactive oxygen species. Dust accumulation on leaf surfaces leads to reduced oxygen and light absorption, causing a decline in photosynthetic pigment synthesis. Increased chlorophyllase enzyme activity is a primary factor in the reduction of chlorophyll pigments due to dust particles, while decreased carotenoids may be attributed to water conversion into abscisic acid.

Conclusion

This study investigated the physiological traits and photosynthetic pigments of 11 wheat genotypes under simulated dust conditions. The results demonstrated that dust significantly affected various physiological characteristics of the plants. Dust stress led to reductions in relative leaf water content, ion leakage, membrane stability, protein, chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll, and carotenoids, with a concurrent increase in proline levels. Among the tested genotypes, G11 and G6 exhibited better resilience to dust stress. These genotypes have the potential to be considered for cultivation in regions prone to dust stress, offering a promising solution for enhancing crop productivity.

Keywords: Chlorophyll, Dust storm, Physiological traits, Proline, Spectrophotometer

پاسخ فیزیولوژیکی برخی از ژنوتیپ‌های گندم تحت تأثیر شرایط گرد و خاک

صبا عمید^۱، آرش فاضلی^{۲*}، رضا حقی^۳، مسعود بازگیر^۴
^۱ گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران
^۲ موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی (IPK)، گاترسلین، آلمان
^۴ گروه مهندسی خاک و آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

چکیده

گرد و خاک به عنوان یک پدیده غیر زیستی تأثیر زیادی بر کیفیت و کمیت محصولات کشاورزی دارد. بنابراین برای بررسی تأثیر گرد و خاک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی ۱۱ ژنوتیپ گندم، پژوهش حاضر در سال ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. فاکتورهای مورد بررسی شامل دو شرایط (تنش و شاهد) و ۱۱ ژنوتیپ گندم بودند. صفاتی مانند محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری غشاء، پروتئین، پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله چهار برگی گندم در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، تنش گرد و خاک بر تمامی صفات اندازه‌گیری شده، تأثیر معنی‌داری داشت. در اثر اعمال این تنش فاکتورهای محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری غشاء، پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید کاهش و فقط پرولین افزایش یافت. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت تنش گرد و خاک تأثیر معنی‌داری در کاهش این صفات و نهایتاً عملکرد محصول دارد.

واژه‌های کلیدی: اسپکتروفتومتر، پرولین، پدیده گرد و خاک، صفات فیزیولوژی، کلروفیل



مقدمه

گندم از نظر تولید، سطح زیر کشت و تغذیه، مهم ترین محصول کشاورزی ایران و جهان است. گندم با تولید ۷۷۷ میلیون تن در سال ۲۰۲۲ به عنوان یکی از غلات مهم شناخته می شود که غذای بیش از یک سوم جمعیت جهان را فراهم می کند (Christoforidou et al., 2022). با توجه به افزایش جمعیت، افزایش کمی و کیفی تولید گندم روز به روز بیشتر مورد توجه است. این گیاه در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی رشد می کند. گندم از تیره گندمیان (Poaceae) و از جنس *Triticum* است. گندم گیاهی یکساله، روز بلند و سه کربنه (C_3) است. عوامل مختلفی عملکرد گندم را تحت تأثیر قرار می دهند. تنش های محیطی نظیر گرما، سرما، خشکی، شوری، فلزات سنگین، امواج مرئی، مواد شیمیایی سمی، تنش های اکسیداسیونی ناشی از عوامل زنده و غیرزنده از مهم ترین عوامل محدود کننده تولیدات کشاورزی هستند (Miao & Zentgraf, 2007). علف های هرز، بیماری ها و آفات، تنش های زیستی، غیر زیستی و در سال های اخیر گرد و خاک عملکرد گیاهان مختلف از جمله گندم را به شدت تحت تأثیر قرار داده است.

طوفان های گرد و خاک پدیده هایی طبیعی هستند که به طور وسیعی در جهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک رخ می دهند. این پدیده به علت تغییر اقلیم و بادهای تند منطقه ای، اتفاق می افتد و در کل شامل انتقال ذرات، معلق شدن ذرات در اتمسفر و در نهایت ته نشینی این ذرات است (Wang, 2005). گرد و خاک با تأثیر بر سطح برگ به عنوان مهم ترین بخش انجام فعالیت های حیاتی گیاه از قبیل فتوسنتز، تعرق و تنفس آثار منفی

زیادی بر جای می گذارد. همچنین گرد و خاک به طور غیر مستقیم بر بازارپسندی و کیفیت محصول تأثیر دارد. ذرات گرد و خاک با نشستن بر اندام هوایی گیاه سبب تغییرات فیزیکی و شیمیایی مختلفی مانند مسدود کردن روزنه ها، کاهش فعالیت فتوسنتزی، ریزش برگ، مرگ بافت گیاهی، افزایش دما و تغییر رنگدانه برگ (Wijayratne et al 2009)، تغییر در محتوای نسبی آب برگ، محتوای کلروفیل برگ (Chaturvedi et al 2013) و در نهایت کاهش عملکرد محصولات زراعی می شوند. Sivakumar & Stefanski (2009) بیان داشتند گرد و خاک آثار منفی از جمله کاهش محصول از طریق دفن جوانه ها، صدمه به بافت گیاهی، کاهش فعالیت فتوسنتزی، تاخیر در نمو گیاه و افزایش تنش خشکی در پایان فصل رشد بر کشاورزی دارد، که در نهایت منجر به کاهش محصول می شود. برگ های پوشیده از گرد و خاک، نور کمتری برای فتوسنتز دریافت می کنند، در نتیجه، منجر به کاهش زیست توده و عملکرد گیاه می شود (Habibpour et al., 2020).

در پژوهش اثر گرد و خاک بر عملکرد دانه و برخی ویژگی های فیزیولوژیک و بیوشیمی گندم در غرب ایران تیمار شستشو در مقایسه با عدم شستشو به طور معنی داری سبب بالا رفتن عملکرد دانه شد. همچنین میزان فتوسنتز، هدایت روزنه ای، کارایی فتوشیمیایی فتوسیستم II، شاخص بقای برگ، کلروفیل b، غلظت پروتئین های محلول و کارتنوئیدها نیز به طور معنی داری افزایش یافت (Sharifi et al., 2019). در پژوهشی کاهش تولیدات کشاورزی در اثر این تنش ۵ تا ۳۰ درصد گزارش شده است (Emami Meibodi et al., 2020).

بزرگ برای سلامت انسان، فیزیولوژی گیاهان و تعاملات اکولوژیکی آنها است (Singh et al., 2020). پدیده گرد و خاک به صورت مستقیم بخش کشاورزی منطقه را با چالش خطرناکی روبرو می‌سازد. در صورت عدم مدیریت و برنامه‌ریزی جهت مقابله با این پدیده خسارات فراوانی متوجه منطقه خواهد شد. از آنجایی که تاکنون پژوهشی در این زمینه و منطقه انجام نشده است، نتایج این پروژه اهمیت پدیده گرد و خاک و اثرات منفی آن بر محصول استراتژیک گندم را نشان می‌دهد و ضرورت مقابله با پدیده گرد و خاک و کاهش اثرات نامطلوب آن با انجام برنامه‌های مدون و طولانی مدت را بیش از پیش نمایان می‌کند. هدف از این پژوهش، ارزیابی و بررسی ۱۱ ژنوتیپ گندم از نظر برخی ویژگی‌های فیزیولوژی مانند محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری غشاء، پروتئین، پرولین و رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش پدیده گرد و خاک است که می‌تواند در شناسایی سازوکارهای مؤثر برای افزایش مقاومت در برابر شرایط نامطلوب محیطی و افزایش عملکرد و نیز گزینش ژنوتیپ‌های مطلوب تحت تنش مفید باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۱ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ایلام در گلدان‌هایی با قطر ۱۰ سانتیمتر به تعداد ۶۶ گلدان، به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. برای بررسی تأثیر پدیده گرد و خاک، بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی در ۱۱ ژنوتیپ گندم (جدول ۱)، بذور مربوط به ژنوتیپ‌ها از بانک ژن موسسه تحقیقات ژنتیک گیاهی و گیاهان زراعی

(2015). ذرات معلق سبب کاهش سطح برگ، زیست توده، کلروفیل، اسید اسکوریک و محتوای نیتروژن شده است. همچنین میزان نور برای فتوسنتز کاهش یافته و منجر به آسیب بیشتر محصولات زراعی و کاهش عملکرد محصولات می‌شود (Kunt et al., 2023). همچنین، در بررسی تأثیر اسپری گرد و خاک و سیمان روی برگ درخت هلو، کلروفیل کل کاهش و محتوای فنل کل در مقایسه با برگ‌های شاهد افزایش داشت (Maletsika et al., 2015). شریفی کالیانی و همکاران (2021)، اثرات گرد و خاک بر ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی لوبیا، گوجه‌فرنگی و خیار را بررسی کردند. گرد و خاک با کاهش میزان کلروفیل، پروتئین محلول و کربوهیدرات‌ها در برگ و افزایش میزان پرولین سبب کاهش معنی‌دار وزن خشک ساقه و برگ در لوبیا، گوجه‌فرنگی، خیار و نیز کاهش معنی‌دار ارتفاع لوبیا و خیار شد.

در سال‌های اخیر بیابان‌زایی ناشی از تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد ذرات گرد و خاک است. وقوع گرد و خاک در هنگام رشد محصولات زراعی (به ویژه گندم) یکی از اساسی‌ترین خطرات در تولید محصولات زراعی در مناطق غربی و جنوبی ایران است. در این مناطق برآورد دقیق خسارت ذرات گرد و خاک در تولید محصولات زراعی از اهمیت بالایی برخوردار است و بررسی اثرات ذرات گرد و خاک بر رشد محصول بسیار حائز اهمیت است. بنابراین با توجه به شرایط آب و هوایی موجود در منطقه، یافتن ارقام گیاهی سازگار و مقاوم با شرایط تنش گرد و خاک در راستای اهداف افزایش تولید امری ضروری است (Farmer, 1993). گرد و خاک چالشی

انجام شد و کلیه عملیات‌های مربوط به کاشت، داشت و برداشت صورت گرفت.

(IPK)، آلمان تهیه شدند. فاکتورهای مورد بررسی شامل دو شرایط تنش و شاهد و ۱۱ ژنوتیپ گندم بود. در طول دوره رشد، بسته به نیاز گیاه آبیاری جدول ۱- مشخصات ژنوتیپ‌های گندم

Table 1- Characteristics of wheat genotypes

cod	ACCENUMB	GENUS	SPECIES	ACQDATE	ORIGCTY
G1	TRI 9931	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1972	USA
G2	TRI 10026	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1972	SUN
G3	TRI 10592	<i>Triticum</i>	<i>durum</i>	1973	CYP
G4	TRI 10779	<i>Triticum</i>	<i>durum</i>	1974	GRC
G5	TRI 11309	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1976	CZE
G6	TRI 15199	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1986	ITA
G7	TRI 15655	<i>Triticum</i>	<i>aethiopicum</i>	1986	ETH
G8	TRI 15867	<i>Triticum</i>	<i>aethiopicum</i>	1986	ETH
G9	TRI 17563	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1994	TJK
G10	TRI 17056	<i>Triticum</i>	<i>aestivum</i>	1993	ESP
G11	TRI 19821	<i>Triticum</i>	<i>sp.</i>	2003	TUR

به قطر ۵۳ میکرون جدا شوند (Mousavi et al., 2023). برای سنجش غلظت ذرات معلق در هوا از دستگاه غبار سنج (مدل EPAM-5000 ساخت آمریکا) استفاده شد. سپس آنالیز خاک شامل اندازه‌گیری اسیدیته خاک با دستگاه pH متر (مدل pH-2001)، شوری خاک با دستگاه EC سنج (مدل GLP31)، فسفر قابل جذب به روش اولسون، پتاسیم قابل جذب به روش شعله‌سنجی، گچ به روش تیتراسیون با استون، مواد آلی به روش اکسیداسیون‌تر و در نهایت بافت خاک با هیدرومتری انجام شد (Kasaei et al., 2023). جدول ۲ تجزیه شیمیایی و نوع بافت خاک مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

از کانون‌های مولد گرد و خاک در استان ایلام، منطقه بهرام‌آباد به عنوان یکی از بحرانی‌ترین کانون‌های مولد گرد و خاک در استان ایلام واقع در پایانه مرزی ایران و عراق در نزدیکی شهر مهران انتخاب شد (Ranjbar et al., 2018). برای شبیه‌سازی طوفان‌های گرد و خاک نمونه‌برداری از خاک سطحی (۵-۰ سانتیمتری) انجام شد. سپس نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک شناسی دانشگاه ایلام منتقل شدند. پس از جدا کردن سنگ، سنگریزه و بقایای گیاهی، نمونه‌ها در هاون کوبیده و از الک‌های مطابق با منافذ مختلف عبور داده شدند. با توجه به اندازه ذرات خاک معلق در جو، نمونه‌های خاک با شماره مش ۲۷۰ الک شدند تا ذرات خاک

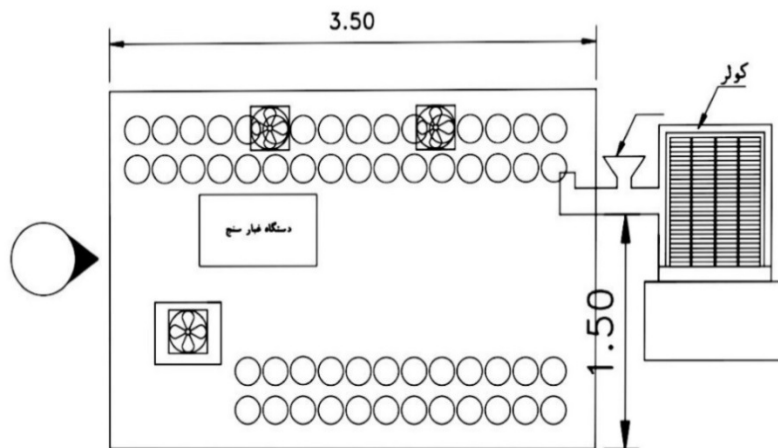
جدول ۲- آنالیز نمونه گرد و خاک

Table 2- analysis of dust sample

Sample	pH	EC ds/m	Pava mg/kg	Kava mg/kg	GYPs %	OC %	Sand %	Silt %	Clay %	Soil Texture
1	7.80	3.9	6.38	157.6	34.18	0.268	67	25.5	7.5	Sandy Loam

شد و با فن‌های کوچک که در نقاط مختلف اتاقک نصب شده بودند گرد و خاک به طور یکنواخت در محفظه انتشار یافته و همه گلدان‌های محتوی گندم به طور یکسان در معرض گرد و خاک قرار داشتند (شکل ۱).

در پژوهش حاضر جهت ایجاد گرد و خاک در شرایط آزمایشگاهی، محیطی تقریباً بسته مشابه گلخانه آماده و با تولید گرد و خاک، در مرحله چهار برگی گیاه زراعی گندم، طی سه دوره طوفان پدیده گرد و خاک شبیه سازی شد. در هر دوره، ۳۰ گرم گرد و خاک طی ۲۴ ساعت به محفظه وارد



شکل ۱- شماتیکی از محفظه اعمال گرد و خاک

Figure 1- Schematic of the dust chamber

در پژوهش حاضر فن‌های تعبیه شده در بالا و کف محفظه، سبب شد ذرات در تمام جهات محفظه پراکنده شوند. یک هفته بعد از اعمال تنش، صفات موردنظر شامل محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری غشاء بررسی و نیز نمونه‌گیری برگی جهت اندازه‌گیری پروتئین، پرولین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید انجام شد.

محتوای نسبی آب برگ: نمونه‌های برگی قسمت‌های سبز از تیمارهای آزمایشی جمع‌آوری و بلافاصله وزن تر با ترازوی دقیق اندازه‌گیری شد.

رابطه (۱):

$$RWC = (FW - DW / TW - DW) \times 100$$

در این رابطه، RWC محتوای نسبی آب، FW

نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل SPECORD، ساخت شرکت Analytik jena، کشور آلمان) خوانده و سپس منحنی استاندارد رسم و معادله خط محاسبه شد (Bradford, 1976) رابطه (۵):

$$Y = 0.0058 X + 0.1798$$

در این رابطه Y برابر با جذب خوانده شده و X غلظت پروتئین بر حسب میلی گرم بر لیتر است. در نهایت پس از محاسبه نتایج بر حسب میلی گرم در گرم بافت تر بیان شدند.

رنگی‌های فتوستزی: برای اندازه‌گیری این صفات ۰/۱ گرم از نمونه‌های برگ با ۳ میلی لیتر استون ۸۰ درصد سائیده شد. سپس محلول حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۵۰۰ دور سانتریفیوژ شد. در نهایت غلظت کلروفیل a (chl a)، کلروفیل b (chl b)، کلروفیل کل (chl T) و کارتنوئید در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر توسط روابط زیر محاسبه شدند. جهت صفر کردن دستگاه از استون ۸۰ درصد استفاده شد (Porra, 2002).

$$\text{chl a } (\mu\text{g/ml}) = (12.25 \times A664) - (2.55 \times A647)$$

$$\text{chl b } (\mu\text{g/ml}) = (20.31 \times A647) - (4.91 \times A664)$$

$$\text{chl T } (\mu\text{g/ml}) = (17.76 \times A647) + (7.37 \times A664)$$

$$\text{car } (\mu\text{g/ml}) = [(1000 \times A470) - (3.27 \times \text{chl a}) - (104 \times \text{chl b})] / (221)$$

در نهایت پس از نرمال‌سازی داده‌ها، تجزیه واریانس با نرم‌افزار آماری SAS 9.2 نسخه ۹.۲ انجام شد. مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار یا LSD در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. شکل‌ها و نمودارها نیز با نرم‌افزار گراف پد نسخه ۸.۴.۳ رسم شدند.

نتایج و بحث

وزن تر برگ، DW وزن خشک برگ و TW وزن برگ در حالت تورژسانس کامل است (Ritchie et al., 1990)

نشت یونی (EC): برای تعیین نشت یونی (Electrolyte leakage)، از هر گلدان ۰/۵ گرم برگ تازه همراه با ۱۰ میلی لیتر آب مقطر در لوله‌های آزمایشگاهی قرار داده شد. پس از ۲۴ ساعت، هدایت الکتریکی اولیه (EC_1) با دستگاه EC سنج (مدل GLP31، شرکت CRISON، ساخت بارسلونا) اندازه‌گیری شد. پس از آن، نمونه‌ها در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۰ دقیقه در بن‌ماری قرار گرفت تا الکترولیت‌ها آزاد شود. بعد از خنک شدن نمونه‌ها، هدایت الکتریکی ثانویه (EC_2) اندازه‌گیری و EC محاسبه شد (Lutts et al., 1995) رابطه (۲):

$$EC = (EC_1 / EC_2) \times 100$$

پایداری غشاء: این فاکتور عکس نشت یونی غشاء است. پایداری غشاء (Membrane Stability) از رابطه زیر محاسبه شد (Kaya et al., 2002) رابطه (۳):

$$MS = (1 - EC_1/EC_2) \times 100$$

پرولین: جهت سنجش پرولین از روش شبلم استفاده شد که در این روش میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و برای محاسبه مقدار پرولین منحنی استاندارد رسم و معادله خط محاسبه شد (Shabnam et al., 2016) رابطه (۴):

$$Y = 0.0751 X - 0.0687$$

در این رابطه Y برابر با جذب خوانده شده و X برابر با غلظت پرولین بر حسب میلی گرم بر میلی لیتر است.

پروتئین: برای سنجش پروتئین از روش برادفورد استفاده شد. میزان جذب در طول موج ۵۹۵

غشاه، پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید کاهش و فقط پرولین افزایش یافت. نتایج این پژوهش با نتایج Omra و همکاران (۲۰۲۳) مطابقت دارد که بیانگر تأثیر منفی تنش گرد و غبار بر کلروفیل و هدایت روزنه‌ای در درختان خرما بود.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان دادند اثر متقابل پدیده گرد و خاک و ژنوتیپ در تمام صفات مورد نظر اثر معنی‌داری دارد (جدول ۳ و ۴). همچنین پدیده گرد و خاک در سطح یک درصد در تمامی صفات مورد بررسی معنی‌دار شده‌است. در اثر تنش گرد و خاک فاکتورهای محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر گرد و خاک بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی ۱۱ ژنوتیپ گندم.

Table 3-Variance analysis of the effect of dust on the physiological characteristics of 11 wheat genotypes.

Mean of Squares میانگین مربعات							
منابع تغییرات	درجه آزادی	محتوای نسبی آب	نشت یونی	پایداری غشا	پرولین	پروتئین	
Source of variance	Degree of freedom	Relative water content	Electrical conductivity	Membrane stability	Proline	protein	
گردوخاک	dust	1	322.06**	4399.22**	14316.40**	64.64**	222581.14**
ژنوتیپ	genotype	10	162.97*	828.96**	992.80**	3.00 ^{ns}	3097.01 ^{ns}
اثرمتقابل	G × D	10	252.27**	725.66**	128.80**	4.82*	13092.45**
خطا	Error	44	76.22	284.51	109.12	1.76	5591.63
ضریب تغییرات	Coefficient variation %		11.22	27.14	22.92	27.75	21.80

*, **, and ^{ns} are significant at the 5% and 1% level and non-significant respectively

*, **, and ^{ns} are significant at the 5% and 1% level and non-significant respectively

جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر گرد و خاک بر رنگیزه‌های فتوسنتزی ۱۱ ژنوتیپ گندم.

Table 4- Variance analysis of the effect of dust on the photosynthetic pigments of 11 wheat genotypes.

Mean of Squares میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	
Source of variance	Degree of freedom	Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Carotenoid	
گردوخاک	dust	1	26.21**	55.69**	150.75**	3.28**
ژنوتیپ	genotype	10	0.92 ^{ns}	0.33 ^{ns}	1.70 ^{ns}	0.081 ^{ns}
اثرمتقابل	G × D	10	1.81**	3.24*	8.45*	0.23**
خطا	Error	44	0.78	1.75	4.06	0.07
ضریب تغییرات	Coefficient variation %		24.11	30.12	25.10	22.34

*, **, and ^{ns} are significant at the 5% and 1% level and non-significant respectively

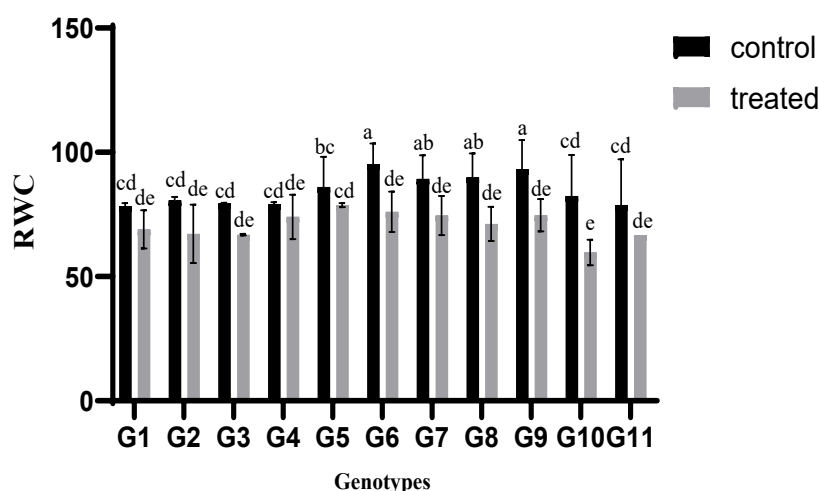
*, **, and ^{ns} are significant at the 5% and 1% level and non-significant respectively

محتوای نسبی آب برگ: این شاخص بر اثر تیمار گرد و خاک در ژنوتیپ‌های گندم کاهش نشان داد. کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G₁₀ تحت تنش و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G₆

از آنجایی که همه صفات مورد نظر معنی‌دار شدند، مقایسه میانگین صفات فیزیولوژی و رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تأثیر تنش پدیده گرد و خاک انجام شد.

ترتیب ریشه‌ی گیاه با کمبود مواد مغذی مواجه می‌شود. به همین علت، پدیده گرد و خاک جذب آب از خاک را کاهش می‌دهد (Karami et al., 2017). از نظر بسیاری از پژوهشگران، این شاخص مطمئن‌ترین صفت در بررسی میزان آب برگ است. کاهش محتوای نسبی آب برگ در دو گونه سالسولا و سالیکورنیا بر اثر ریزگردها گزارش شده است (Alipour et al., 2023). همچنین نتایج این بررسی با نتایج Chaturvedi et al (2013) مطابقت دارد که نشان‌دهنده کاهش میزان محتوای نسبی آب برگ در اثر گرد و خاک است.

شاهد است (شکل ۱). شاخص RWC از برآورد میزان آبی که با روزنه‌ها و سایر منافذ از برگ خارج و یا آبی که توسط آوندهای چوبی وارد برگ‌ها می‌شود و سبب رسیدن برگ به حالت اشباع می‌شود، تعیین می‌شود (Wang & Clarke, 1993). کاهش در محتوای نسبی آب برگ نشانگر کاهش فرآیندهای ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی در گیاه است. گرد و خاک سبب افزایش نفوذپذیری، هدر رفت آب و مواد مغذی سلول شده که منجر به پیری زودرس برگ‌ها می‌شود. همچنین این پدیده سبب کاهش فتوسنتز و ماده‌سازی در گیاه شده و به این



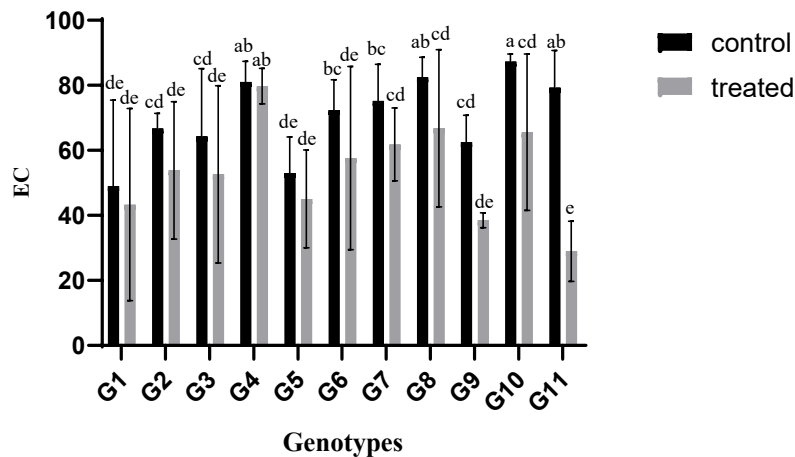
شکل ۱- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ ژنوتیپ‌های گندم تحت تأثیر تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

Figure 1- Comparison of the average relative leaf water content of wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

غشاء و خسارت به سلول می‌شود. بنابراین، اندازه‌گیری آلدهیدهای تولید شده در طی پراکسیداسیون لیپیدها و سنجش میزان نشت یونی شاخص‌های خوبی برای اندازه‌گیری میزان آسیب اکسیداتیو وارد شده به غشاء هستند (Bandeoglu et al., 2004)

نشت یونی و پایداری غشاء: نشت یونی بر

اثر تیمار گرد و خاک در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش کاهش یافت. کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G11 تیمار و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G10 شاهد است (شکل ۲). گونه‌های فعال اکسیژن منجر به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء و تغییر در نفوذپذیری

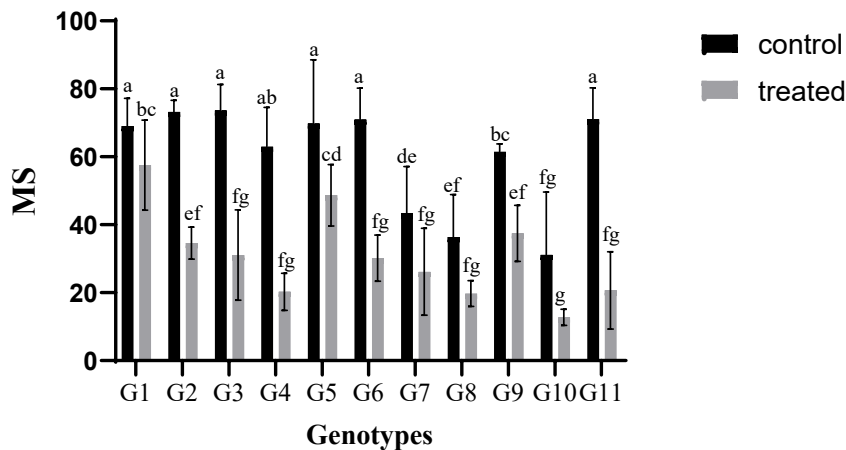


شکل ۲- مقایسه میانگین نشت یونی ژنوتیپ‌های گندم تحت تأثیر تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

Figure 2- Comparing the average ion leakage of wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

از تجمع گونه‌های فعال اکسیژن به ویژه یون‌های پراکسید، افزایش نشان داد که این امر منجر به کاهش تمامیت غشاءها می‌شود. به همین علت توان غشای سلولی برای کنترل ورود و خروج مواد نیز کاهش می‌یابد (Yang et al., 2009) و این پژوهش با نتایج Karami et al (2017) مطابقت دارد.

همچنین صفت پایداری غشاء در ژنوتیپ‌های مورد آزمایش بر اثر تنش کاهش یافت. کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G10 تیمار و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G3 شاهد است (شکل ۳). در گیاهانی که در معرض تنش‌های محیطی قرار دارند، نفوذپذیری غشاهای سلولی به علت صدمات ناشی

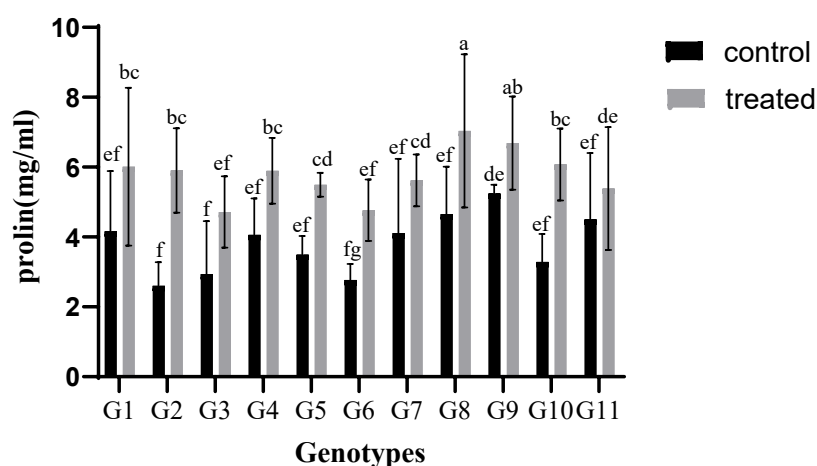


شکل ۳- مقایسه میانگین پایداری غشاء ژنوتیپ‌های گندم تحت تأثیر تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

Figure 3- Comparing the average membrane stability of wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

برگ شده است. کاهش میزان کلروفیل می تواند به علت تغییر متابولیسم نیتروژن و استفاده بیشتر از گلوتامات (به عنوان ماده اولیه سنتز پرولین و کلروفیل) در مسیر سنتز پرولین باشد که در تنظیم اسمزی به کار می رود (De La Rosa-Ibarra & Maiti, 1995). پرولین با تنظیم اسمزی، جلوگیری از تخریب آنزیم ها و پاک کردن رادیکال های هیدروکسیل، تحمل گیاهان در برابر تنش ها را افزایش می دهد (Dar et al., 2016). هر اندازه در پاسخ به تنش، مقدار پرولین بیشتری تولید شود، تنظیم اسمزی بهتری شکل می گیرد (Naresht et al., 2013). گرد و خاک نور ورودی به تاج پوشش را کاهش داده و در شرایط تنش، تجمع پرولین در برگ به عنوان یک راهبرد دفاعی در تنظیم اسمزی گیاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Nelson & Ilias, 2007).

پرولین: بر اثر تیمار گرد و خاک، فقط پرولین در ژنوتیپ های مورد آزمایش افزایش یافت. کمترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G₂ شاهد و بیشترین مقدار مربوط به ژنوتیپ G₈ تیمار است (شکل ۴). از سازوکارهای دفاعی مورد استفاده توسط گیاهان عالی تحت تنش های محیطی، افزایش متابولیت های سازگار مانند پرولین است. اسید آمینه پرولین بدون شک به عنوان یک نشانگر تنش در نظر گرفته می شود. افزایش غلظت آن فراوان ترین و عمومی ترین پاسخی است که به محض ایجاد تنش مشاهده می شود و سطح آن اغلب توسط زیست شناسان اندازه گیری می شود (Sanchita et al., 2015; Suriyan & Chalernpol, 2009). رسوب ذرات سیمانی بر روی برگ درخت زیتون سبب کاهش محتوای کلروفیل a، b و کلروفیل کل



شکل ۴- مقایسه میانگین پرولین در ژنوتیپ های گندم تحت تأثیر تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان دهنده تفاوت معنی داری در سطح $P \leq 0.05$

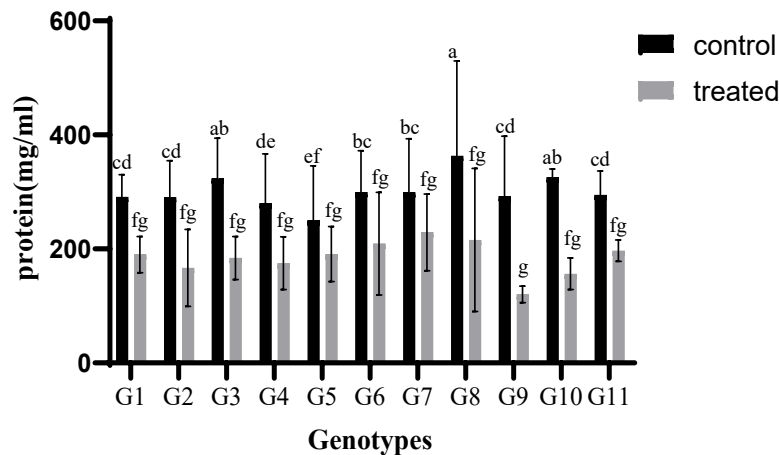
Figure 4- Comparison of average proline in wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب مربوط به ژنوتیپ G₉ تیمار و ژنوتیپ G₈ شاهد است (شکل ۵). در

پروتئین: بر اثر تیمار گرد و خاک پروتئین ژنوتیپ های مورد آزمایش کاهش نشان داد.

اکسیژن مانند پراکسید هیدروژن، سوپر اکسید اکسیژن آزاد و سایر رادیکال‌های هیدروکسیل افزایش می‌یابد که این عوامل توسط واکنش با اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها سبب تخریب پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها می‌شود (Zhou et al., 2006).

واقع کاهش محتوای پروتئین در اثر تنش، به علت کاهش میزان تولید پروتئین، افزایش تجزیه پروتئین در اثر افزایش فعالیت آنزیم پروتئاز و یا تخریب توسط گونه‌های فعال اکسیژن است (Rai, 2016; Cha-um & Kirdmanee, 2009). در شرایط طبیعی میزان تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن اندک است، اما در شرایط تنش میزان تولید گونه‌های فعال



شکل ۵- مقایسه میانگین پروتئین در ژنوتیپ‌های گندم تحت تأثیر تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

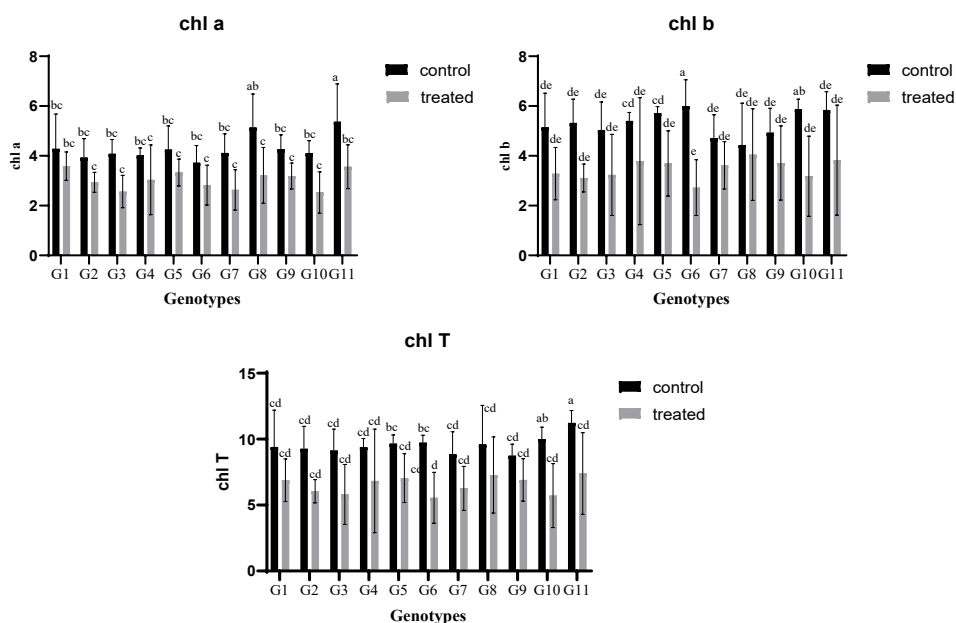
Figure 5- Comparison of average protein in wheat genotypes under dust and soil stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

کلروفیل کل نیز G6 تیمار و بیشترین مقدار برای کلروفیل a، G11 شاهد، کلروفیل b، G6 شاهد و کلروفیل کل G11 شاهد است (شکل ۶). رنگدانه‌های کلروفیل از مهم‌ترین فاکتورهای زیستی گیاه به شمار می‌رود که تنش‌های محیطی منجر به کاهش آن‌ها می‌شود. رسوب گرد و غبار با پوشاندن سطح برگ و مسدود شدن روزنه‌ها سبب کاهش اکسیژن و جذب نور و نیز کاهش سنتز رنگدانه‌های فتوسنتزی و مشتقات آن می‌شود (Horton & Ruban, 2004). افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز که عامل اصلی تجزیه کلروفیل است، از مهم‌ترین

کلروفیل: کلروفیل ماده سبزرنگ موجود در کلروپلاست و عامل اصلی فتوسنتز در گیاهان سبز محسوب می‌شود. پژوهش‌های مختلف گویای تأثیر پذیری کلروفیل به عنوان مهم‌ترین رنگیزه فتوسنتزی از تنش‌های مختلف زیستی و غیرزیستی است. همچنین پژوهش‌ها نشان دادند اعمال تیمار گرد و خاک منجر به کاهش محتوای رنگدانه‌های گیاهان می‌شود (Jongschaap & Booih, 2004). این شاخص بر اثر تیمار گرد و خاک در ژنوتیپ‌های مورد بررسی کاهش یافت. کم‌ترین مقدار برای کلروفیل a، G10 تیمار، کلروفیل b، G6 تیمار،

گرد و خاک اعمال شده در این پژوهش، کمتر از ۵۳ میکرون قطر داشتند، بسته شدن روزنه‌ها توسط گرد و خاک قابل پیش‌بینی است. در اثر بسته شدن روزنه‌ها، فرم‌های اکسیژن فعال افزایش می‌یابد (Shahbazi et al., 2016). این فرایند به پراکسیداسیون لیپیدهای غشاء منجر و در نتیجه، کلروفیل تخریب می‌شود (Gong et al., 2003). کاهش نور طی دوره آزمایش و تغییرات عناصر ضروری برای بیوسنتز، علت دیگری برای کاهش فعالیت فتوسنتزی رنگدانه‌ها در گیاهان است (Brandt & Rhoades, 1973).

عوامل کاهش رنگدانه‌های کلروفیل تحت تأثیر ذرات گرد و غبار است (Loggini et al., 1999). در اثر سایه‌اندازی ذرات گرد و غبار، دهانه روزنه‌ها مسدود و دمای برگ بیشتر می‌شود و این امر به افزایش میزان این آنزیم منجر می‌شود (Moradi et al., 2017). همچنین، شرایط قلیایی برگ به علت تأثیر ذرات گرد و غبار سبب کاهش رنگدانه‌های کلروفیل می‌شود (Wen et al., 2011). از عوامل دیگری که کلروفیل را کاهش می‌دهد، می‌توان به افزایش فرم‌های اکسیژن فعال (رادیکال سوپراکسیداز، هیدروژن پراکسیداز و رادیکال‌های هیدروکسیل) اشاره کرد. با توجه به اینکه ذرات



شکل ۶- مقایسه میانگین کلروفیل در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

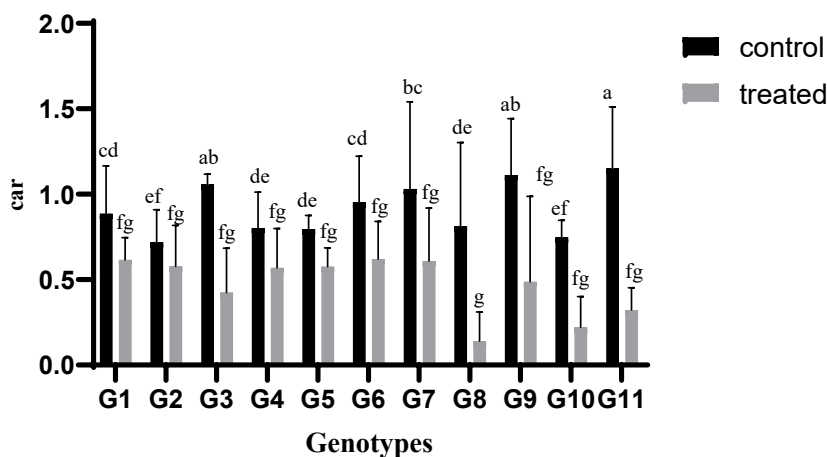
Figure 6- Comparison of average chlorophyll in wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

مربوط به G₈ تیمار و G₁₁ شاهد است (شکل ۷). کارتنوئیدها گروهی از رنگدانه‌های طبیعی محلول در چربی هستند که نقش مهمی در گیاهان دارند. با

کارتنوئید: این شاخص بر اثر تیمار گرد و خاک در ژنوتیپ‌های مورد بررسی کاهش نشان داد. به طور نسبی کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب

کاهش محتوای کارتنوئید برگ‌های گیاهان می‌شود و از این نظر ارتباط منفی بین میزان گرد و خاک و محتوای کارتنوئید مشاهده شده است. گرد و غبار نقش مهمی در مهار فعالیت فتوسنتزی دارد که ممکن است منجر به کاهش محتوای کارتنوئید گیاهان شود (Neves et al., 2009). از دلایل دیگر کاهش محتوای کارتنوئید، حساسیت کارتنوئید به SO_2 (Steubing et al., 1989) و تجمع فلزات سنگین از ذرات غبار کنار جاده بیان شده است (Salt et al., 1995). کارتنوئید به عنوان رنگیزه کمکی مؤثر است و نقش‌های مهمی مانند محافظت از غشاء تیلاکوئید و جلوگیری از فتواکسیداسیون کلروفیل را بر عهده دارد (Lawlor & Cornic, 2002).

توجه به این که وظیفه کارتنوئید، محافظت از کلروفیل و جلوگیری از تخریب نوری در برابر شدت نور بالاست، منطقی است که به علت سایه حاصل از ذرات گرد و غبار و کاهش شدت نور، میزان کارتنوئید نیز کاهش یابد (Agbaire et al., 2017). علاوه بر این، در تنش‌های محیطی مقدار هورمون آبسزیک اسید به عنوان عامل بازدارنده رشد افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، کاهش کارتنوئید می‌تواند به علت تبدیل آب به هورمون آبسزیک اسید باشد (Allen et al., 1998). محتوای کارتنوئید در برگ‌های گیاهان، تحت تأثیر غلظت‌های مختلف رسوب گرد و خاک است (Shah et al., 2018). رسوب گرد و خاک سبب



شکل ۷- مقایسه میانگین کارتنوئید در ژنوتیپ‌های گندم تحت تنش گرد و خاک، میانگین سه تکرار \pm خطای آزمایشی، حروف کوچک نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح $P \leq 0.05$

Figure 6- Comparison of average carotenoids in wheat genotypes under dust stress, mean of three replicates \pm SE. Lowercase letters indicate significant differences at the $P \leq 0.05$ level

نظیر ژنوتیپ، سطح تنش (شدت و مدت تنش) و نیز مرحله رشد و نمو گیاه بستگی دارد. بنابراین انتخاب ژنوتیپ‌های مقاوم به تنش برای تداوم‌پذیری کشت و تولید بهینه محصولات اهمیت دارد (George & Ilias, 2007).

نتیجه‌گیری

ذرات گرد و خاک به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی رشد و نمو گیاهان تأثیر دارند. پژوهش‌ها نشان دادند دریافت تنش در سطح مولکولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی به عواملی

ویژگی‌های فیزیولوژی گیاه اثر معنی‌داری داشت؛ بدین صورت که در اثر تنش گرد و خاک، محتوای نسبی آب برگ، نشت یونی، پایداری غشاء، پروتئین، کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئید کاهش یافته و تنها مقدار پرولین افزایش یافت. در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده، ژنوتیپ‌های G₆ و G₁₁ در برابر تنش گرد و خاک پاسخ بهتری نشان دادند و این ژنوتیپ‌ها می‌توانند به عنوان گزینه کاندید برای گیاه متحمل به این تنش باشند.

References

- Agbaire, P. O., Akporhonor, E. E., & Ogboru, R. O. (2017). Air pollution-induced biochemical changes in some plants in selected forest reserves in Edo State, Nigeria. *Global Journal of Earth and Environmental Science*, 2(4), 21-29. <https://doi.org/10.31248/GJEES2017.012>
- 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(1), 213-238. [in Persian]. <https://doi.org/10.22077/escs.2022.4527.2033>
- Allen, D., Nogues, S., & Baker, N. (1998). Ozone depletion and increased UV-B radiation: is there a real threat to photosynthesis?. *Journal of Experimental Botany*, 49(328), 1775-1788. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.328.1775>
- Bandeoglu, E., Egidogan, F., Yucel, M. & Avni Oktem, H. (2004). Antioxidant responses of shoots and roots of lentil to NaCl-salinity Stress. *Plant Growth*
- نتایج این پژوهش نشان دادند اعمال تنش گرد و خاک منجر به کاهش محتوای کلروفیل و کارتنوئید در برگ شده است که با پژوهش Chameides et al. (1999) مطابقت دارد. این پژوهش‌ها نشان دادند گرد و خاک با خسارت بر بافت‌های سبز و کاهش محتوای رنگیزه‌های گیاهی منجر به کاهش تولید و در نهایت کاهش رشد گیاهان می‌شوند.
- پژوهش حاضر به بررسی اثر گرد و خاک در شرایط شبیه‌سازی شده بر صفات فیزیولوژی و رنگیزه‌های فتوسنتزی ۱۱ ژنوتیپ گندم پرداخته‌است. در مجموع گرد و خاک بر اغلب *Regulation*, 42(1), 69-77. <https://doi.org/10.1023/b:grow.0000014891.35427.7b>
- Bradford, M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Journal of Analytical Biochemistry*, 72(1), 248-254. <https://doi.org/10.1006/abio.1976.9999>
- Brandt, C., & Rhoades, R. (1973). Effects of limestone dust accumulation on lateral growth of forest trees. *Environmental Pollution*, 4(3), 207-213. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(73\)90040-2](https://doi.org/10.1016/0013-9327(73)90040-2)
- Chameides, W., Yu, H., Liu, S. C., Bergin, M., Zhou, X., Mearns, L., Wang, G., Kiang, C. S., Saylor, R. D., Luo, C., Huang, Y., Steiner, A., & Giorgi, F. (1999). Case study of the effects of atmospheric aerosols and regional haze on agriculture: An opportunity to enhance crop yields in China through emission controls. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96(24), 13626-13633. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.24.13626>

- Chaturvedi, R., Prasad, Sh., Rana, S., Obaidullah, S., Pandey, V., & Singh, H. (2013). Effect of dust load on the leaf attributes of the tree species growing along the roadside. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(1), 383-391.
<https://doi.org/10.1007/s10661-012-2560-x>
- Cha-um, S., & Kirdmanee, Ch. (2009). Proline accumulation, photosynthetic abilities and growth characters of sugarcane (*Saccharum ofcinarum* L.) plantlets in response to iso-osmotic salt and water-deficit stress. *Agricultural Sciences in China*, 8(1), 51-58.
[https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60008-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60008-0)
- Christoforidou, M., Borghuis, G., Seijger, C., van Halsema, G. E., & Hellegers, P. (2022). Food security under water scarcity: a comparative analysis of Egypt and Jordan. *Food Security*, 15(1), 171 - 185. <https://doi.org/10.1007/s12571-022-01310-y>
- Dar, M. I., Naikoo, M. I., Rehman, F., Naushin, F., & Khan, F. A. (2016).. proline accumulation in plants: roles in stress tolerance and plant development. Osmolytes and Plants Acclimation to Changing Environment. *Emerging Omics Technologies*, Springer, New Delhi, 155-166.
https://doi.org/10.1007/978-81-322-2616-1_9
- De La Rosa-Ibarra, M., & Maiti, R. K. (1995). Biochemical mechanism in glossy sorghum lines for resistance to salinity stress. *Journal of Plant Physiology*, 146(4), 515-519.
[https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(11\)82017-1](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(11)82017-1)
- Emami Meibodi, A., Abdoli, GH., Taklif, A., & Morshedi, B. (2015). Economic modeling of the regional polices to combat dust phenomenon by using game theory. *Procedia Economics and Finance*, 24(1), 409-418.
[https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00697-8](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00697-8)
- Farmer, A. (1993). The effects of dust on vegetation a review. *Environment Pollution*, 79(1), 63-75.
[https://doi.org/10.1016/0269-7491\(93\)90179-R](https://doi.org/10.1016/0269-7491(93)90179-R)
- George, D., & Ilias, F. (2007). Effects of inert dust on olive (*Olea europaea* L.) leaf physiological parameters. *Environmental Science and Pollution Research*, 14(3), 212-214.
<https://doi.org/10.1065/espr2006.08.327>
- Gong, H., Chen, K., Chen, G., Wang, S., & Zhang, C. (2003). Effects of silicon on growth of wheat under drought, *Journal of Plant Nutrition*, 26(5), 1055-1063.
<https://doi.org/10.1081/PLN-120020075>
- 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(1), 145-155.
<https://doi.org/10.14720/aas.2020.116.1.1719>
- Horton, P., & Ruban, A. (2004). Molecular design of the photosystem II light-harvesting antenna: photosynthesis and photoprotection. *Journal of Experimental Botany*, 56(1), 365-373.
<https://doi.org/10.1093/jxb/eri023>
- Jongschaap, R., & Booij, R. (2004). Spectral measurements at different spatial scales in potato: relating leaf. Plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(3), 205-218.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.03.002>
- 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(2), 231-240.
<https://doi.org/10.1515/fhort-2017-0021>
- Kasaei, M., Gharahi, N., & Zare Bidaki, R. (2023). Investigating the effect of nano-Clay particles and biochar on nitrate leaching and soil aggregate stability. *Environment and Interdisciplinary*

- Development*, 8(79), 106-119. [in Persian].
<https://doi.org/10.22034/envj.2023.386800.1281>
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., & Satali, K. (2002). Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Plant Horticulture*, 93(1), 65-74.
[https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00313-2](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00313-2)
- Kunt, F., Kopuklu, B. N., & Güneş, E. (2023). Effects of air pollution on agriculture. *International Journal of Ecosystems and Ecology Sciences*, 13(3), 1-4.
<https://doi.org/10.31407/ijees13.301>
- Lawlor, D., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant Cell and Environment*, 25(2), 275 – 294.
<https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00814.x>
- Loggini, B., Scartazza, A., Brugnoli, E., & Navari-Izzo, F. (1999). Antioxidative defense system, pigment composition, and photosynthetic efficiency in two wheat cultivars subjected to drought. *Plant Physiology*, 119(3), 1091–1099.
<https://doi.org/10.1104/pp.119.3.1091>
- Lutts, S., Kinet, J., & Bouharmont, J. (1995). Changes in plant response to NaCl during development of rice (*Oryza sativa* L.) varieties differing in salinity resistance. *Journal of Experimental Botany*, 46(12), 1843-1852.
<https://doi.org/10.1093/jxb/46.12.1843>
- Maletsika, P., Nanos, G., & Stavroulakis, G. (2015). Peach leaf responses to soil and cement dust pollution. *Journal of Environmental Science and Pollution Research International*, 22(20), 15952–15960. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4821-z>
- Miao, Y., & 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 Online*, 19(3), 819-830.
<https://doi.org/10.1105/tpc.106.042705>
- Moradi, A., Taheri Abkenar, K., Afshar Mohammadian, M., & Shabaniyan, N. (2017). Effects of dust on forest tree health in Zagros oak forests. *Environmental Monitoring Assessment*, 189(11), 549-559.
<https://doi.org/10.1007/s10661-017-6262-2>
- Mousavi, M, Taab, A., & Hajinia, S. (2023). Competition between Mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) and Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) under Dust Conditions. *Iran Plant Protection Research*, 37(3), 327-350. [in Persian].
<https://doi.org/10.22067/jpp.2023.81895.1142>
- Naresh, R. K., Singh, S. P., Dwivedi, A., & Kumar, V. (2013). Effects of water stress on physiological processes and yield attributes of different mungbean (L.) varieties. *African Journal of Biochemistry Research*, 7(5), 55-62.
- Nelson, G., & Ilias, I. (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>
- Neves, N., Oliva, M., da Cruz Centeno, D., Costa, A., Ribas, R. & Pereira, E. (2009). Photosynthesis and oxidative stress in the restinga plant species *Eugenia uniflora* L. exposed to simulated acid rain and iron ore dust deposition: potential use in environmental risk assessment. *Science of the Total Environment*, 407(1), 3740–3745.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.035>
- Omara, M. O., Ramroudi, M., Rashki, A., Galavi, M., & Jabari, M. (2023). The effect of dust on leaf chlorophyll, stomatal conductance and fruitset date palm trees (CV. Mozafati). *Plant Productions*, 46(1), 25-37. [in Persian].

- <https://doi.org/10.22055/ppd.2022.3668>
3.1968
- Porra, R. (2002). The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls a and b. *Photosynthesis Research*, 73(1), 149-156. <https://doi.org/10.1023/A:1020470224740>
- Rai, P. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicol. Journal of Environment and Safety*, 129(1), 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>
- Ranjabr, H., Bazgir, M., Namdarkhojasteh, D., & Rostamina, M. (2018). Identification of areas and centers of dust generation in Ilam province. *Scientific Journal of Pasture and Desert Research in Iran*, 26(3), 675-688. [in Persian]. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2019.120016>
- Ritchie, S., Nguyen, H., & Haloday, A. (1990). Leaf water content and gas exchange parameters of two wheat genotypes differing in drought resistance. *Crop Science*, 30(1), 105-111. <https://doi.org/10.2135/cropsci1990.0011183X003000010025x>
- Salt, D., Blaylock, M., Kumar, N., Dushenkov, V., Ensley, B., Chet, I. & Raskin, I. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Nature Biotechnology*, 13(5), 468-474. <https://doi.org/10.1038/nbt0595-468>
- Sanchita, G., Singh, R., Mishra, A., Dhawan, S., Shirke, P., Gupta, M., & Sharma, A. (2015). Physiological performance, secondary metabolite and expression profiling of genes associated with drought tolerance in *Withania somnifera*. *Protoplasma*, 252(6), 1439-50. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0771-z>
- Shabnam, N., Indu Tripathi, I., Sharmila, P., & Pardha-Saradhi, P. (2016). A rapid, ideal, and eco-friendlier protocol for quantifying proline. *Article in Protoplasma*, 253(6), 1577-1582. <https://doi.org/10.1007/s00709-015-0910-6>
- Shah, K., UL Amin, N., Ahmad, I., & Ara, G. (2018). Impact assessment of leaf pigments in selected landscape plants exposed to roadside dust. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(23), 23055-23073. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2309-3>
- Shahbazi, T., Saiedi, M., Nosratti, I., & Jalali Honarmand, S. (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), 195-204. [in Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1395.5.15.3.6>
- 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(2), 149-164. [in Persian]. <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(1), e0227380. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227380>
- Sivakumar, M., & Stefanski, R. (2009). Impacts of sand and dust storms on agriculture & potential agricultural applications of a SDSWS. *Earth and Environmental Science*, 7(1), 212-214. <https://doi.org/10.1088/1755-1307/7/1/012016>

- Steubing, L., Fangmeier, A., Both, R., & Frankenfeld, M. (1989). Effects of SO₂, NO₂, and O₃ on population development and morphological and physiological parameters of native herb layer species in a beech forest. *Environmental Pollution*, 58(4), 281–302. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90140-1](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90140-1)
- Suriyan, C., & 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(1), 51–58. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(09\)60008-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(09)60008-0)
- Wang, H., & Clarke, J. (1993). Relationship between excised-leaf water loss and stomatal frequency in wheat. *Canadian Journal of Plant Science*, 73(1), 93–99. <https://doi.org/10.4141/cjps93-012>
- Wang, N. (2005) Decrease trend of dust event frequency over the past 200 years recorded in the Malan ice core from the northern Tibetan Plateau. *Chinese Science*, 50, 2866–2871. <https://doi.org/10.1360/982005-237>
- Wen, K., Liang, C., Wang, L., Hu, G., & Zhou, Q. (2011). Combined effects of lanthanum ion and acid rain on growth, photosynthesis and chloroplast ultrastructure in soybean seedlings. *Chemosphere*, 84(5), 601–608. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.054>
- Wijayratne, C., Sara, J., & Lesley, A. (2009). Dust deposition effects on growth and physiology of the endangered. *Astragalus Jaegerianus* (Fabaceae). *Madrono*, 52(2), 81–88. <https://doi.org/10.3120/0024-9637-56.2.81>
- Yang, F., Hu, J., Li, J., Wu, X., & Qian, Y. (2009). Chitosan enhances leaf membrane stability and antioxidant enzyme activities in apple seedlings under drought stress. *Plant Growth Regulation*, 58, 131–136. <https://doi.org/10.1007/s10725-009-9361-4>
- Zhou, J., Tao, B., & Messersmith, C. (2006). Soil dust reduces glyphosate efficacy. *Weed Science*, 54(1), 1132–113. <https://doi.org/10.1614/WS-06-107R.1>