University of Birjand

Journal homepage:
https://escs.birjand.ac.ir

تنشهای محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses In Crop Sciences

*Vol. 16, No. 4, pp. 905-918 (Winter 2024)*

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5127.2111

*Original article*

# Effect of foliar application of chitosan and humic acid on yield and yield components of bread wheat under end-season drought stress

**A.R. Jahanbani[1], R. Asghari Zakaria[2*], V. Ashrafi[3], M. Ghasemi Kalkhoran[4], R. Shahryari[5]**

*1. PhD student in Agrotechnology (Crop Physiology), Islamic Azad University of Parsabad Moghan, Iran*
*2 Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran*
*3 Assistant Professor, Department of Agriculture, Pars Abad Moghan Islamic Azad University, Pars Abad Moghan, Iran*
*4 Assistant professor, Horticulture Crops Research Department. Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil, Iran*
*5 Assistant Professor, Department of Agriculture, Ardabil Branch Islamic Azad University, Ardabil, Iran*

Received 31 October 2021; Accepted 12 February 2022

## *Extended abstract*

### Introduction

Drought is considered one of the most important factors limiting crop performance worldwide. Consumption of humic acid on plants, in addition to soil fertility, increases plant tolerance to drought and soil water holding capacity. Chitosan is also a natural biopolymer modified from chitin and non-toxic, biodegradable, and environmentally friendly substances that acts as a potential stimulant in agriculture. Chitosan and humic acid reduce the negative effects of abiotic stresses. Accordingly, due to the drought crisis in arid and semi-arid regions, in this study, the modulating effect of humic acid and chitosan foliar application on wheat tolerance to drought stress at the end of the season was investigated.

### Materials and methods

This experiment was performed to study the effect of foliar application of chitosan and humic acid on improving drought tolerance of wheat genotypes in the form of split split plots based on a randomized complete block design with three replications. The main plot includes irrigation treatments at two levels (full irrigation and cessation of irrigation in spike stage), sub-plots including three wheat genotypes including Mihan, CD-93-9, and CD-93-10, and sub-plots including humic acid and chitosan foliar application levels (Zero, 2 $g.L^{-1}$ of humic acid, 3 $ml.L^{-1}$ of chitosan and the combination of humic acid and chitosan). The experiment was carried out on a field in Ardabil Agricultural Research Station. Sowing was done in October 2020 with a planting density of 450 seeds per square meter. Chemical fertilizer based on NPK soil test at 50, 100, and 20 $kg.ha^{-1}$, respectively was added to the soil before planting. Each genotype was planted in 1.5 cm by 7 m plots. The length of each row was 7 m and the distance between the rows was 20 cm and the seeds were sown at a depth of 5 cm. STAR 2.01 statistical software was used to analyze the data including data analysis of variance and comparison of means by LSD method at a 5% probability level.

### Results and discussion

The results showed that the interaction effect of cultivar × stress × foliar application was significant in all studied traits including plant height, number of seeds per spike, number of spikes, spike length, and

* Corresponding author: Rasool Asghari Zakaria; E-Mail: r-asghari@uma.ac.ir

© 2024, The Author(s). Published by University of Birjand. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

grain yield, except the number of tillers per plant and 1000-seed weight. Regarding the number of tillers per plant, the interaction of cultivar × foliar application was significant and for 1000-seed weight, the interaction of cultivar × stress and stress × foliar application was significant. Although there were differences in the response of wheat genotypes to the foliar application under both stress and non-stress conditions, in most traits such as number of tillers, number of seeds per spike, spike length, plant height, and 1000-seed weight, the best result was the simultaneous use of chitosan and humic acid. Was obtained. Also, both under non-stress and under stress conditions, the highest grain yield of the studied genotypes was obtained in simultaneous foliar application of chitosan and humic acid. In general, it can be concluded that the combination of chitosan and humic acid (2 $g.L^{-1}$ humic acid and 3 $ml.L^{-1}$ chitosan) significantly showed the best results in increasing the yield and yield components of wheat compared to the control treatment in both non-stress and the end of the season drought stress conditions.

**Conclusion**

Foliar application of humic acid and chitosan increased and improved the studied traits, both under drought stress and non-stress conditions in wheat genotypes compared to non-foliar application. The maximum number of tillers, number of seeds per spike, number of spikes, spike length, 1000-seed weight, and grain yield were obtained by foliar application of chitosan and humic acid under both full irrigation and stress conditions. Therefore, it is recommended to use simultaneous spraying of chitosan and humic acid to increase tolerance and achieve higher performance. Also, the study of different concentrations of these two substances in combination with each other and at different stages of wheat growth can determine the best dose and time of their consumption in this strategic crop, which is recommended to conduct studies in this regard.

***Keywords:*** Antitranspirants, Low irrigation, Plant growth stimulant, Plant protectants

تنش‌های محیطی در علوم زراعی
Environmental Stresses in Crop Sciences
جلد شانزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۴۰۲

https://dx.doi.org/10.22077/ESCS.2023.5127.2111

*مقاله پژوهشی*

# تأثیر محلول‌پاشی با کیتوزان و هیومیک اسید بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان تحت تنش خشکی آخر فصل

**علیرضا جهانبانی[۱]، رسول اصغری‌زکریا[۲*]، وحید اشرفی[۳]، معرفت قاسمی‌کلخوران[۴]، رضا شهریاری[۵]**

۱. دانشجوی دکترای آگروتکنولوژی (فیزیولوژی گیاهان زراعی) دانشگاه آزاد اسلامی پارس‌آباد مغان
۲. استاد گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل
۳. استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد پارس‌آباد مغان
۴. استادیار بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل
۵. استادیار گروه کشاورزی، واحد اردبیل، دانشگاه آزاد اسلامی، اردبیل

**مشخصات مقاله**

*واژه‌های کلیدی:*
ضد تعرق
کم‌آبیاری
محافظ‌های گیاهی
محرک‌های رشد گیاهی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۰/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۱/۰۱/۲۲

تاریخ انتشار:
زمستان ۱۴۰۲
۹۱۸-۹۰۵ :۱۶(۴)

**چکیده**

**این آزمایش به‌منظور مطالعه‌ی اثر محلول‌پاشی کیتوزان و هیومیک اسید روی بهبود تحمل خشکی ژنوتیپ‌های گندم به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل تیمارهای آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی)، کرت‌های فرعی شامل سه ژنوتیپ گندم شامل میهن، CD-93-9 و CD-93-10 و کرت‌های فرعی فرعی شامل سطوح محلول‌پاشی هیومیک اسید و کیتوزان (صفر، دو گرم در لیتر هیومیک اسید، سه میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان و ترکیب هم‌زمان دو گرم در لیتر هیومیک اسید و سه میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان) بودند. نتایج نشان داد که اثر متقابل رقم × تنش × محلول‌پاشی در همه صفات موردبررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله، طول سنبله و عملکرد دانه، غیر از تعداد پنجه در بوته و وزن هزار دانه معنی‌دار بود. در مورد تعداد پنجه در بوته اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی و برای وزن هزار دانه اثر متقابل رقم × تنش و تنش × محلول‌پاشی معنی‌دار به دست آمد. هرچند تفاوت‌هایی در پاسخ ژنوتیپ‌های گندم به محلول‌پاشی در دو شرایط تنش و بدون تنش وجود داشت، ولی در اغلب صفات مانند تعداد پنجه، تعداد دانه در سنبله، طول سنبله، ارتفاع بوته و وزن هزار دانه بهترین نتیجه با مصرف هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد. همچنین، چه در شرایط بدون تنش و چه در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های موردمطالعه در محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که ترکیب کیتوزان و هیومیک اسید (دو گرم در لیتر هیومیک اسید و سه میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان) به‌طور معنی‌داری بهترین نتایج را در افزایش عملکرد و اجزای عملکرد گندم نسبت به تیمار شاهد در هر دو شرایط عدم تنش و تنش خشکی آخر فصل ارائه داد.**

## مقدمه

کشاورزان ایرانی به‌طور متوسط سالانه سطحی حدود ۶/۶ میلیون هکتار گندم کشت می‌کنند که ۲/۴ میلیون هکتار از آن به‌صورت دیم، تحت تنش خشکی و مابقی به‌صورت فاریاب کشت می‌شود (Shahryari and Mollasadeghi, 2011a). خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده‌ی عملکرد محصول در سراسر جهان در نظر گرفته می‌شود (Kilic and Yagbasanlar, 2010). افزایش شدت تنش خشکی برای رشد گیاه مضر است و منجر به تغییرات قابل‌توجهی در ویژگی‌های مورفولوژیکی آن می‌شود (Youssef and Ali Hozayen, 2019). علاوه بر این تنش خشکی در هنگام ظهور سنبله و گرده‌افشانی باعث کاهش

* نگارنده پاسخگو: رسول اصغری‌زکریا. پست الکترونیک: r-asghari@uma.ac.ir

عملکرد دانه تا ۲۰ درصد از طریق کاهش وزن دانه می‌شود (Masjedi et al., 2017).

عملکرد دانه در گندم را می‌توان بر اساس سه جزء عملکرد شامل تعداد سنبله در واحد سطح، تعداد دانه در سنبله و وزن دانه تجزیه‌وتحلیل کرد (Shahryari and Mollasadeghi, 2011b). تعداد دانه در سنبله به‌طورمعمول جزئی از عملکرد است که بیشترین حساسیت را به درجه حرارت بالا و خشکی دارد و به‌عنوان معیار انتخاب برای تحمل به خشکی پیشنهاد شده است (Kilic and Yagbasanlar, 2010). مصرف هیومیک اسید روی گیاهان علاوه بر باروری خاک، تحمل گیاه در برابر خشکی و ظرفیت نگهداری آب خاک را افزایش می‌دهد (Mansour and Mesairy, 2015).

کیتوزان یک بیوپلیمر طبیعی تغییریافته از کیتین و ماده‌ای غیرسمی، تجزیه‌پذیر و سازگار با محیط‌زیست است که به‌عنوان یک محرک بالقوه در کشاورزی عمل می‌کند (Hidangmayum et al., 2019). کیتوزان اثرات منفی تنش‌های غیر زیستی را از طریق تغییر مسیر انتقال تنش با استفاده از پیام‌رسان‌های ثانویه کاهش می‌دهد (Masjedi et al., 2017). علاوه بر این، کیتوزان به‌عنوان یک ماده‌ی ضد تعرق به‌صورت محلول‌پاشی در کشت بسیاری از گیاهان مورداستفاده قرار می‌گیرد تا مصرف آب را کاهش و سطح حفاظت از گیاه در برابر تنش را افزایش دهد (Karimi et al., 2012; Muriefah, 2013; Rezaeizadeh et al., 2019). در خصوص تأثیر هیومیک اسید و کیتوزان روی محصولات زراعی مختلف آزمایش‌های متعددی شامل مطالعه روی تأثیر استفاده از کیتوزان در افزایش واکنش‌های دفاعی در گیاهان (Malerba and Cerana, 2015)، افزایش رشد گیاه و کاهش مصرف آب (Guan et al., 2009)، افزایش عملکرد محصول تحت شرایط تنش خشکی (Muriefah, 2013; Youssef and Ali Hozayen, 2019) صورت گرفته است. شهریاری و ملاصادقی (Shahryari and Mollasadeghi, 2011a) کاهش ۲۰ درصدی اثر تنش خشکی بر اثر اعمال هیومیک اسید را روی عملکرد و اجزای عملکرد گندم گزارش کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هیومیک اسید تأثیر معنی‌داری بر بهبود عملکرد اقتصادی و بیولوژیک گندم دارد. مسجدی و همکاران (Masjedi et al., 2017) نیز گزارش کردند که استفاده از کیتوزان در آبیاری کامل موجب افزایش ۷۶ درصدی عملکرد گندم شد و در شرایط اعمال تنش خشکی کیتوزان اثر تعدیل‌کننده‌ای دارد. همچنین شهریاری و ملاصادقی (Shahryari and Mollasadeghi, 2011b) گزارش کردند که مواد هیومیک تأثیر معنی‌داری روی تعداد دانه در سنبله، وزن بذر، عملکرد و زیست‌توده دارد. نتایج آن‌ها نشان داد که هومات پتاسیم موجب افزایش عملکرد گندم از ۲/۵ تا ۳/۶ تن در هکتار شد. درودیان و همکاران (Doroodian et al., 2016) نیز گزارش کردند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش رشد گیاه و بهبود عملکرد و اجزای عملکرد از طریق افزایش دوره رشد شد.

باوجوداین، تاکنون مطالعات کمی در رابطه با کاربرد توأم کیتوزان و هیومیک اسید روی گندم انجام گرفته است. به‌طوری‌که طبق اطلاعات به‌دست‌آمده گزارشی درباره ارزیابی اثرات هیومیک اسید و کیتوزان بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم نان تحت تنش خشکی آخر فصل مشاهده نشده است. بنابراین، با توجه به کاهش بارندگی و کمبود آب در مناطق نیمه‌خشک و نیاز روزافزون مصرف‌کنندگان به گندم نان، انجام مطالعات در راستای کاهش اثرات تنش خشکی به‌ویژه تنش آخر فصل ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، در این پژوهش تأثیر تعدیل‌کننده‌ی محلول‌پاشی هیومیک و کیتوزان روی تحمل گندم به تنش خشکی آخر فصل موردبررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه‌ای در اراضی تحقیقاتی ایستگاه تحقیقات کشاورزی اردبیل، با مختصات جغرافیایی ′۲۴ °۴۸ طول شرقی، ′۸ °۳۸ عرض شمالی و ۱۳۹۱ متر ارتفاع از سطح دریا انجام گرفت. خاک مزرعه از نوع آبرفتی رسی بوده و pH آن بین ۷/۸ تا ۸/۲ متغیر بود. منبع تأمین آب آبیاری، از یک چاه نیمه عمیق در نزدیکی مزرعه بود. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و آب آبیاری در جدول ۱ ارائه شده است. اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی آمبروژه نیمه‌خشک و سرد محسوب می‌شود. کشت در ماه مهر سال ۱۳۹۹ با تراکم کشت ۴۵۰ بذر در مترمربع انجام گردید. کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک NPK به ترتیب میزان ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰ کیلوگرم در هکتار از کودهای پتاسیم سولفات، سوپر فسفات و اوره قبل از کاشت محصول به خاک اضافه شد.

**جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه و آب آبیاری مورداستفاده**

**Table 1. Physicochemical properties of field soil and irrigation water used**

| Soil خاک | | | | | | | Irrigation water آب آبیاری | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| EC | pH | Lime | Clay | Silt | Sand | Texture | Mg | Cu | Fe | Zn | K | P | N | C |
| $dSm^{-1}$ | | | ---------%--------- | | | | ----------ppm---------- | | | | | | | |
| 2.01 | 7.68 | 6.02 | 26 | 36 | 38 | Loam | 0.17 | 0.9 | 0.2 | 2.56 | 440 | 5.43 | 0.08 | 0.78 |

هر ژنوتیپ در کرت‌هایی به ابعاد ۱/۵ در ۷ متر کشت گردید. طول هر ردیف ۷ متر و فاصله‌ی بین ردیف‌ها ۲۰ سانتی‌متر و بذرها در عمق ۵ سانتی‌متر کشت شدند. آزمایش به‌صورت کرت‌های دو بار خردشده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. کرت اصلی شامل تیمارهای آبیاری در دو سطح (آبیاری کامل و قطع آبیاری در مرحله سنبله‌دهی)، کرت‌های فرعی شامل سه ژنوتیپ گندم شامل میهن، CD-93-9 با شجره‌ی Eryt 1554.90/MV17 و CD-93-10 با شجره‌ی Gul96/Shark- و کرت‌های فرعی‌فرعی شامل سطوح مصرف هیومیک اسید و کیتوزان (صفر، دو گرم در لیتر هیومیک اسید، سه میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان و ترکیب هم‌زمان دو گرم در لیتر هیومیک اسید و سه میلی‌لیتر در لیتر کیتوزان) بود. کود هیومیک مورداستفاده (پارس هیومیک ۷ حاوی ۶۵ درصد هیومیک اسید، ۲ درصد فولویک اسید، ۲۸ درصد کربن آلی و ۵ درصد نیتروژن کل) از شرکت گلسنگ کویر یزد تهیه شد. همچنین کیتوزان مورداستفاده (کیتوپلاس) از شرکت کیمیا سبزآور تهیه و بر اساس سطوح مذکور بعد از رشد گندم در مراحل پنجه‌زنی، ساقه‌روی و پر شدن دانه قسمت هوایی گیاه محلول‌پاشی شد. سطوح مصرف هیومیک اسید و کیتوزان بر اساس توصیه شرکت تولیدکننده و با استفاده از مطالعات پیشین محققان (Behboodi et al., 2019; Torfi and Shokoofar, 2019) انتخاب شدند. آبیاری به‌صورت جویچه‌ای انجام گرفت. در کرت‌های بدون تنش یک نوبت آبیاری پاییزه و سه نوبت آبیاری بهاره صورت پذیرفت ولی در تیمار تنش خشکی، آبیاری از مرحله‌ی ۵۰ درصد ظهور سنبله قطع گردید. تمامی نمونه‌برداری‌ها از ردیف‌های وسط و از بوته‌های رقابت‌کننده انجام پذیرفت. برای هر یک از صفات شامل تعداد پنجه‌ها، ارتفاع بوته، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه اندازه‌گیری برای ۱۰ بوته از هر تکرار به‌طور تصادفی انجام و میانگین آن در نظر گرفته شد. کل بوته‌های هر کرت پس از حذف حاشیه به‌صورت کف‌بر برداشت و بعد از خشک شدن در هوای آزاد توزین و عملکرد دانه در واحد کرت و هکتار اندازه‌گیری شد. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها شامل تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین به روش حداقل میانگین اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد از نرم‌افزار آماری STAR 2.0.1[1] (STAR, 2014) استفاده شد.

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات موردمطالعه بر اساس طرح آزمایشی کرت‌های دو بار خردشده در جدول ۲ ارائه شده است. در جدول ۳ نیز مقایسه میانگین اثرات متقابل تنش خشکی، رقم و سطوح محلول‌پاشی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم آمده است.

### *تعداد دانه در سنبله*

اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش، ژنوتیپ و محلول‌پاشی روی تعداد دانه در سنبله در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × محلول‌پاشی در هر یک از سطوح تنش خشکی (جدول ۳) مشاهده شد که در رقم میهن در هر دو شرایط بدون تنش و تنش بیشترین تعداد دانه در سنبله در محلول‌پاشی با کیتوزان و محلول‌پاشی توأم کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد. در شرایط بدون تنش در مورد لاین CD-93-9 بیش‌ترین مقدار این صفت در محلول‌پاشی با کیتوزان به‌تنهایی و محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید و در لاین CD-93-10 در محلول‌پاشی توأم با کیتوزان و هیومیک اسید مشاهده شد، درحالی‌که در شرایط تنش در مورد هر دو لاین هر سه نوع محلول‌پاشی نسبت به شاهد با اختلاف معنی‌دار باعث افزایش تعداد دانه در سنبله شدند. بدین ترتیب می‌توان گفت که محلول‌پاشی در تمام ارقام موردمطالعه هم در شرایط تنش خشکی و هم در حالت آبیاری کامل موجب افزایش

[1] Statistical Tool for Agricultural Research (STAR)

تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد شد. در این راستا گواتری و همکاران (Gutteiri et al., 2001) گزارش کردند که تنش خشکی می‌تواند در رقم‌های مختلف اثر متفاوتی در کاهش تعداد دانه در سنبله‌ها را در پی داشته باشد. یوسف و علی‌حسین (Youssef and Ali Hozayen, 2019) نیز برای گیاه جو گزارش کردند که محلول‌پاشی کیتوزان تعداد دانه‌ها را افزایش داد.

**جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی گندم بر اساس طرح کرت‌های دو بار خردشده**

**Table 2. Analysis of variance (Mean of squares) of morphological traits of wheat based on split split plot design**

| منابع تغییرات S.O.V | درجه آزادی df | عملکرد Yield | وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds | ارتفاع بوته Plant height | طول سنبله Spike length | تعداد سنبله Spikes | تعداد دانه در سنبله Seeds per spike | تعداد پنجه‌ها Tillage |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بلوک Block | 2 | 0.18$^{ns}$ | 5.75$^{ns}$ | 11.08$^{ns}$ | 0.26$^{ns}$ | 0.04$^{ns}$ | 13.37$^{ns}$ | 0.08$^{ns}$ |
| تنش Stress (S) | 1 | 0.57$^{*}$ | 55.09$^{ns}$ | 255.04$^{**}$ | 1.55$^{ns}$ | 0.55$^{*}$ | 17.72$^{ns}$ | 0.78$^{*}$ |
| اشتباه کرت اصلی Error (a) | 2 | 0.07 | 29.64 | 3.79 | 0.17 | 0.02 | 1.46 | 0.04 |
| ژنوتیپ Genotype (G) | 2 | 0.18$^{ns}$ | 0.93$^{ns}$ | 79.1$^{**}$ | 19.13$^{**}$ | 0.02$^{ns}$ | 156.58$^{**}$ | 1.91$^{**}$ |
| ژنوتیپ × تنش G × S | 2 | 1.23$^{**}$ | 51.23$^{**}$ | 144.69$^{**}$ | 2.45$^{*}$ | 0.39$^{ns}$ | 0.47$^{ns}$ | 0.35$^{ns}$ |
| اشتباه کرت فرعی Error (b) | 8 | 0.06 | 3.63 | 7.09 | 0.30 | 0.16 | 3.76 | 0.19 |
| محلول‌پاشی Foliar (F) | 3 | 11.94$^{**}$ | 605.93$^{**}$ | 268.16$^{**}$ | 35.60$^{**}$ | 0.97$^{**}$ | 344.46$^{**}$ | 14.2$^{**}$ |
| تنش × محلول‌پاشی S × F | 3 | 0.10$^{ns}$ | 24.71** | 22.62$^{*}$ | 2.09$^{*}$ | 1.46$^{**}$ | 51.39$^{**}$ | 0.07$^{ns}$ |
| ژنوتیپ×محلول‌پاشی G × F | 6 | 0.76$^{**}$ | 3.24$^{ns}$ | 36.76$^{**}$ | 6.68$^{**}$ | 0.21$^{*}$ | 44.45$^{**}$ | 0.59$^{**}$ |
| تنش×ژنوتیپ×محلول‌پاشی S × G × F | 6 | 0.27$^{**}$ | 10.13$^{ns}$ | 55.13$^{**}$ | 9.32$^{**}$ | 0.38$^{**}$ | 35.02$^{**}$ | 0.13$^{ns}$ |
| اشتباه کرت فرعی فرعی Error (c) | 36 | 0.04 | 4.53 | 5.88 | 0.67 | 0.09 | 7.77 | 0.12 |
| ضریب تغییرات CV (%) | | *3.41* | *6.21* | *3.59* | *10.97* | *10.51* | *9.41* | *9.52* |

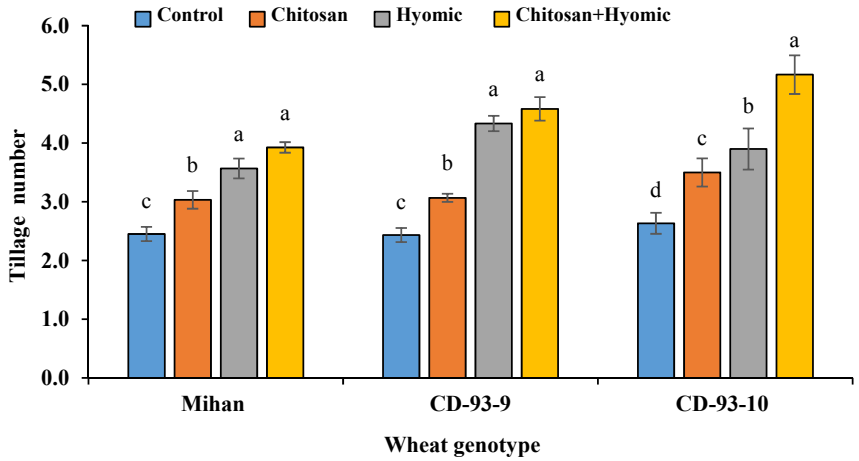
$^{ns}$، $^{*}$، $^{**}$ به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌دار نشدن، معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد

$^{ns}$, *, ** indicate non-significance, significance at 5% and 1% probability levels, respectively

***تعداد پنجه‌ها***

در این صفت اثر متقابل ژنوتیپ × محلول‌پاشی و اثرات اصلی ژنوتیپ و محلول‌پاشی معنی‌دار گردید (جدول ۲). بیش‌ترین تعداد پنجه‌ها در میانگین دو شرایط تنش و بدون تنش در لاین CD-93-10 به میزان ۵/۲ با اعمال هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید مشاهده شد. کم‌ترین تعداد پنجه نیز در هر سه ژنوتیپ گندم در تیمار بدون محلول‌پاشی به دست آمد. در رقم میهن و لاین CD-93-9 بیشترین تعداد پنجه در بوته در تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید و یا هیومیک اسید به‌تنهایی مشاهده شد. درحالی‌که در لاین CD-93-10 این مقدار در تیمار محلول‌پاشی توأم کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد (شکل ۱). محلول‌پاشی موجب افزایش تعداد پنجه‌ها در تمام ارقام موردمطالعه شد. تعداد پنجه‌ها به‌عنوان عامل باروری شناخته می‌شود و هرچقدر تعداد پنجه‌ها بیش‌تر باشد عملکرد بیش‌تر خواهد بود.

یوسف و علی‌حسین (Youssef and Ali Hozayen, 2019) در گیاه جو گزارش کردند که تعداد پنجه با محلول‌پاشی کیتوزان در آبیاری کامل و تنش ۵۰ درصدی افزایش یافت. در کل، می‌توان گفت در این آزمایش محلول‌پاشی کیتوزان و هیومیک اسید با بهبود رشد پنجه‌ها تأثیر بسزایی روی افزایش عملکرد گذاشت. سالک‌زمانی و توکلی (Salek Zamani and Tavakoli, 2005) در کشت دیم گندم گزارش کردند افزایش تنش رطوبتی موجب کاهش تعداد پنجه در بوته و وزن هزار دانه می‌گردد. یوسف و علی‌حسین (Youssef and Ali Hozayen, 2019) نیز برای گیاه جو گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش تعداد پنجه شد.




**شکل ۱. مقایسه میانگین چهار سطح محلول‌پاشی در هر یک از ژنوتیپ‌های گندم ازلحاظ تعداد پنجه در بوته در میانگین سطوح تنش. میانگین‌هایی با حروف یکسان نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین تیمارها در هر ژنوتیپ گندم است.**

**Fig. 1. Comparison of the average of four foliar application levels in each of the wheat genotypes in terms of number of tillers per plant in the average stress levels. Means with the same letters showed no significant difference ($p<0.05$) between the treatments in each wheat genotype.**

### *تعداد سنبله در بوته*

با توجه به معنی‌داری اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش، ژنوتیپ و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر تعداد سنبله در بوته (جدول ۲)، مشاهده شد که رفتار ژنوتیپ‌های مختلف گندم در تیمار با سطوح مختلف محلول‌پاشی در شرایط تنش و بدون تنش متفاوت بود. به‌طوری‌که بیشترین تعداد سنبله در بوته در رقم میهن در شرایط بدون تنش در محلول‌پاشی توأم کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد ولی در شرایط تنش کمترین تعداد سنبله به‌طور معنی‌دار در تیمار شاهد مشاهده شد و بین تیمارهای محلول‌پاشی با کیتوزان یا هیومیک اسید و یا تیمار هم‌زمان اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در لاین CD-93-9 در شرایط آبیاری کامل بالاترین تعداد سنبله در شرایط محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید تولید شد ولی در شرایط تنش، محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید و نیز هیومیک اسید به‌تنهایی بیشترین تعداد سنبله در بوته را نشان دادند. این در حالی است که در لاین CD-93-10 در هر دو شرایط تنش و بدون تنش بین تیمارهای محلول‌پاشی و شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). بدین ترتیب لاین CD-93-10 کم‌ترین تأثیر را از تنش خشکی گرفته و بیش‌ترین کاهش معنی‌دار بر اثر تنش در رقم میهن روی داد. در این راستا نتایج مسجدی و همکاران (Masjedi et al., 2017) نشان داد که محلول‌پاشی با کیتوزان باعث افزایش ۳۳ درصدی در تعداد سنبله‌ها می‌شود.

### *طول سنبله*

اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش، ژنوتیپ و محلول‌پاشی بر طول سنبله و طول پدانکل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی در هر یک از سطوح تنش خشکی (جدول ۳) مشاهده شد که در رقم میهن در شرایط بدون تنش بیشترین مقدار طول سنبله در محلول‌پاشی با کیتوزان و محلول‌پاشی

توأم کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد درحالی‌که در شرایط تنش خشکی بیشترین مقدار این صفت در محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید مشاهده شد. در مورد لاین CD-93-9 در شرایط بدون تنش بیش‌ترین مقدار طول سنبله در محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید به دست آمد. درحالی‌که در شرایط تنش، عدم محلول‌پاشی منجر به کمترین مقدار طول سنبله شد و تفاوت معنی‌داری بین سه تیمار محلول‌پاشی ازلحاظ مقدار طول سنبله مشاهده نشد. این در حالی است که در لاین CD-93-10 در هر دو شرایط بدون تنش و تنش تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی ازلحاظ طول سنبله وجود نداشت. اندازه‌گیری طول سنبله دارای اهمیت بالایی در انجام مطالعات مختلف روی گندم است. با افزایش طول سنبله، شاخص برداشت افزایش می‌یابد؛ بنابراین برای بهبود شاخص برداشت ضروری است که ارقام با طول سنبله بیش‌تر انتخاب گردند.

### ارتفاع بوته

اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش × ژنوتیپ × محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته معنی‌دار بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × محلول‌پاشی در هر یک از سطوح تنش خشکی (جدول ۳) مشاهده شد که بیشترین ارتفاع بوته رقم میهن و لاین CD-93-9 در هر دو شرایط بدون تنش و تنش در محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید و یا کیتوزان به‌تنهایی به دست آمد. ولی در مورد لاین CD-93-10 در هر دو شرایط بدون تنش و تنش تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف محلول‌پاشی ازلحاظ ارتفاع بوته مشاهده نشد. بر این اساس در رقم میهن خشکی غیر از محلول‌پاشی با هیومیک اسید باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته گردید. درحالی‌که در لاین CD-93-9 تنها در شرایط بدون محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری بین دو سطح تنش خشکی مشاهده شد و محلول‌پاشی با کیتوزان و یا هیومیک اسید مانع از تأثیر معنی‌دار خشکی بر ارتفاع بوته شد. این در حالی است که در مورد لاین CD-93-10 در هر چهار سطح محلول‌پاشی تفاوت معنی‌داری بین سطوح تنش وجود نداشت. این امر نشان می‌دهد که رفتار ژنوتیپ‌های گندم مورداستفاده در پاسخ به سطوح تنش و محلول‌پاشی یکسان نبود. کم‌ترین ارتفاع بوته (۵۹/۸ سانتی‌متر) در رقم میهن در شرایط تنش خشکی و بدون محلول‌پاشی و بیش‌ترین ارتفاع بوته (۸۱/۲ سانتی‌متر) در رقم CD-93-9 در شرایط آبیاری کامل و محلول‌پاشی کیتوزان مشاهده شد. همسو با نتایج ما مرادیان و همکاران (Moradian et al., 2015) با مقایسه‌ی چند رقم مختلف گندم گزارش کردند که کم‌ترین ارتفاع بوته در رقم میهن اتفاق افتاد. ریچاردز و همکاران (Richards et al., 2001) گزارش کردند که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع بوته می‌شود و دلیل این کاهش ارتفاع را در کاهش فاصله میانگره‌ها و کاهش اندازه کلی بوته دانستند. یوسف و علی‌حسین (Youssef and Ali Hozayen, 2019) نیز در جو گزارش کردند که کاهش ۵۰ درصدی آب آبیاری موجب کاهش معنی‌دار بوته شد. حافظ و همکاران (Hafez et al., 2020) گزارش کردند که کاهش یک یا دو دور آبیاری انتهایی موجب کاهش قابل‌توجهی در ارتفاع بوته، در مقایسه با گیاهان شاهد شد.

### وزن هزار دانه

اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش × ژنوتیپ × محلول‌پاشی بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود؛ اما با توجه به معنی‌دار شدن اثرات متقابل تنش × ژنوتیپ و تنش × محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد (جدول ۲)، برای صفت وزن هزار دانه مقایسه میانگین بین ژنوتیپ‌های موردمطالعه گندم و بین سطوح محلول‌پاشی در هر سطح تنش، انجام گرفت (شکل ۲-الف و ب). بر اساس نتایج حاصل مشخص شد که در هر دو شرایط نرمال و تنش خشکی آخر فصل تیمار محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید بیشترین وزن هزار دانه را به خود اختصاص داده است. در شرایط نرمال تأثیر محلول‌پاشی با هیومیک اسید به‌تنهایی تأثیر مثبت بیشتری در مقایسه با محلول‌پاشی با کیتوزان روی افزایش وزن هزار دانه داشت، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی تفاوت معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد. در هر دو سطح تنش کمترین مقدار وزن هزار دانه در شرایط عدم محلول‌پاشی مشاهده شد (شکل ۲-الف). تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در رقم میهن گردید ولی در مورد دو ژنوتیپ موردمطالعه دیگر تفاوت معنی‌داری ازلحاظ وزن هزار دانه بین دو سطح تنش مشاهده نشد. به‌طوری‌که کم‌ترین وزن هزار دانه در رقم میهن در شرایط اعمال تنش خشکی مشاهده شد (شکل ۲-ب). در شرایط تنش خشکی به علت تعرق زیاد گیاه و تبخیر از سطح خاک محتوای نسبی آب برگ

**جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل رقم و سطوح محلول‌پاشی کیتوزان و هیومیک اسید ازلحاظ عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم در شرایط آبیاری کامل**

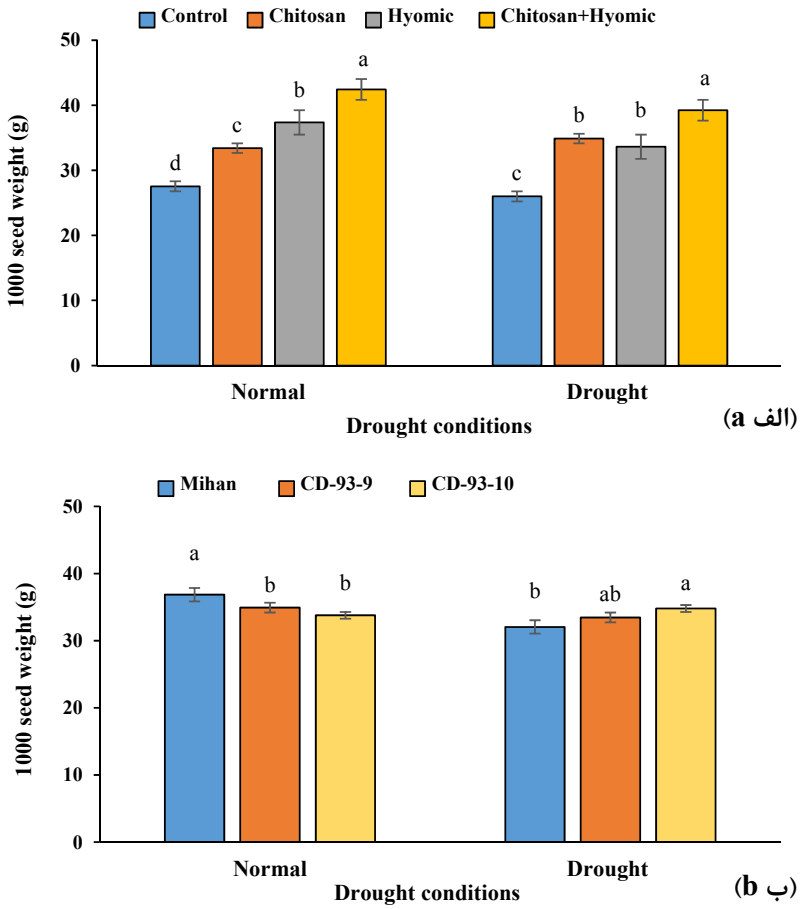
**Table 3. Means comparison of interactions of drought cultivar and foliar application of chitosan and humic acid in terms of yield and yield components of wheat genotypes**

| تنش Stress | ژنوتیپ Genotype | محلول‌پاشی Foliar | عملکرد Yield | وزن هزار دانه Weight of 1000 seeds | ارتفاع بوته Plant height | طول سنبله Spike length | تعداد سنبله Spikes No. | تعداد دانه در سنبله Seeds per spike No. | تعداد پنجه‌ها Tillage No. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | t ha$^{-1}$ | gr | cm | cm | | | |
| شرایط نرمال Normal conditions | میهن Mihan | شاهد Control | 5.67$^{c}$ | 31.3$^{b}$ | 70.6$^{b}$ | 4.9$^{b}$ | 2.6$^{b}$ | 20.0$^{c}$ | 2.3$^{c}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 6.98$^{ab}$ | 34.7$^{ab}$ | 80$^{a}$ | 7.7$^{a}$ | 3.0$^{b}$ | 31.6$^{a}$ | 3.0$^{b}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 6.91$^{b}$ | 36.9$^{ab}$ | 63.6$^{c}$ | 5.8$^{b}$ | 2.5$^{b}$ | 24.6$^{b}$ | 3.5$^{b}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 7.31$^{a}$ | 44.3$^{a}$ | 76.8$^{a}$ | 7.3$^{a}$ | 3.8$^{a}$ | 32.3$^{a}$ | 3.9$^{cd}$ |
| | CD-93-9 | شاهد Control | 5.75$^{b}$ | 27.2$^{b}$ | 70.5$^{b}$ | 5.3$^{c}$ | 2.4$^{bc}$ | 21.6$^{b}$ | 2.7$^{b}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 6.03$^{b}$ | 32.9$^{b}$ | 81.2$^{a}$ | 6.4$^{c}$ | 2.8$^{b}$ | 30.0$^{a}$ | 3.1$^{b}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 6.06$^{b}$ | 37.8$^{a}$ | 71.9$^{b}$ | 8.9$^{b}$ | 2.2$^{c}$ | 25.2$^{b}$ | 4.7$^{a}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 7.29$^{a}$ | 41.7$^{a}$ | 73.2a$^{b}$ | 13.0$^{a}$ | 3.9$^{a}$ | 34.3$^{a}$ | 4.6$^{a}$ |
| | CD-93-10 | شاهد Control | 5.75$^{b}$ | 24.0$^{c}$ | 70.3$^{a}$ | 8.0$^{a}$ | 2.9$^{a}$ | 23.3$^{c}$ | 2.7$^{b}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 5.79$^{b}$ | 32.5$^{b}$ | 70$^{a}$ | 8.4$^{a}$ | 3.2$^{a}$ | 31.1$^{b}$ | 3.8$^{ab}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 6.03$^{b}$ | 37.2$^{ab}$ | 68.5$^{a}$ | 8.9$^{a}$ | 3.2$^{a}$ | 32.6$^{b}$ | 4.1$^{a}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 8.19$^{a}$ | 41.2$^{a}$ | 72.2$^{a}$ | 9.1$^{a}$ | 3.2$^{a}$ | 41.1$^{a}$ | 5.1$^{a}$ |
| تنش خشکی Drought stress | میهن Mihan | شاهد Control | 5.52$^{c}$ | 23.1$^{b}$ | 59.8$^{b}$ | 3.8$^{d}$ | 2.4$^{b}$ | 24.1$^{b}$ | 2.5$^{b}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 5.96$^{b}$ | 33.9$^{ab}$ | 64.0$^{ab}$ | 5.8$^{c}$ | 2.9$^{ab}$ | 30.0$^{a}$ | 3.1$^{b}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 5.76$^{bc}$ | 33.5$^{ab}$ | 61.7$^{b}$ | 8.0$^{b}$ | 3.2$^{a}$ | 19.6$^{b}$ | 3.6$^{bc}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 6.83$^{a}$ | 37.5$^{a}$ | 67.9$^{a}$ | 9.9$^{a}$ | 2.7$^{ab}$ | 32.3$^{a}$ | 3.9$^{ab}$ |
| | CD-93-9 | شاهد Control | 5.51$^{c}$ | 27.6$^{bc}$ | 61.5$^{c}$ | 5.2$^{b}$ | 2.8$^{b}$ | 23.3$^{b}$ | 2.1$^{c}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 5.79$^{c}$ | 33.5$^{ab}$ | 75.4$^{a}$ | 8.2$^{a}$ | 2.6$^{b}$ | 25.0$^{ab}$ | 3.0$^{b}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 6.48$^{b}$ | 33.1$^{b}$ | 65.6$^{b}$ | 8.9$^{a}$ | 3.3$^{a}$ | 29.0$^{a}$ | 3.9$^{ab}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 7.62$^{a}$ | 39.5$^{a}$ | 74.2$^{ab}$ | 8.0$^{a}$ | 3.3$^{ab}$ | 29.3$^{a}$ | 4.5$^{a}$ |
| | CD-93-10 | شاهد Control | 5.70$^{c}$ | 27.2$^{c}$ | 67.4$^{a}$ | 8.1$^{a}$ | 2.8$^{a}$ | 24.6$^{c}$ | 2.5$^{c}$ |
| | | کیتوزان Chitosan | 5.85$^{c}$ | 37.1$^{ab}$ | 71.2$^{a}$ | 8.1$^{a}$ | 2.5$^{a}$ | 32.7$^{ab}$ | 3.3$^{b}$ |
| | | هیومیک اسید Humic acid | 6.58$^{b}$ | 34.1$^{ab}$ | 68$^{a}$ | 8.2$^{a}$ | 2.8$^{a}$ | 34.2$^{a}$ | 3.7$^{d}$ |
| | | کیتوزان + هیومیک اسید Chitosan + humic acid | 8.03$^{a}$ | 40.6$^{a}$ | 71.2$^{a}$ | 8.1$^{a}$ | 2.8$^{a}$ | 29.8$^{ab}$ | 5.7$^{a}$ |

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر سطح تنش و رقم فاقد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشند

The means with common letters in each level of stress and genotype do not have a significant difference 5% probability level

کاهش یافته درنتیجه انجام فتوسنتز با محدودیت روبرو می‌شود و طول دوره‌ی پر شدن دانه و به دنبال آن وزن هزار دانه کاهش می‌یابد (Shamsipoor, 2010). ساسارا (Samarah, 2005) در این مورد گزارش کرد که کاهش عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی درنتیجه کاهش وزن هزار دانه و همچنین به‌واسطه کاهش تعداد پنجه، سنبله و دانه در گیاه اتفاق می‌افتد. سالک‌زمانی و توکلی (Salek Zamani and Tavakoli, 2005) نیز دلیل کاهش وزن هزار دانه را به خاطر وجود تنش خشکی، رقابت بین بوته‌های مجاور در جذب رطوبت و مواد غذایی خاک و وجود اثر متقابل بین تعداد سنبله و وزن هزار دانه دانستند. شهریاری (Shahryari, 2016) نیز گزارش کرد که بعد از تعداد دانه‌ها، وزن هزار دانه بیش‌ترین اثر مستقیم بر عملکرد گندم را دارد و مهم‌ترین جزء مؤثر بر عملکرد دانه محسوب می‌شود. مهرپویان و همکاران (Mehrpuyan et al., 2010) نیز علت افزایش وزن هزار دانه را به جهت استفاده بیش‌تر از مواد فتوسنتزی دانسته‌اند.




**شکل ۲. مقایسه میانگین بین چهار سطح محلول‌پاشی (الف) و بین ژنوتیپ‌های گندم (ب) ازلحاظ وزن هزار دانه در هر یک سطوح تنش. میانگین‌هایی با حروف یکسان نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار ($p<0.05$) بین میانگین‌ها در هر سطح تنش است.**

**Fig. 2. Comparison of the means among the four levels of foliar application (a) and among wheat genotypes (b) in terms of 1000-grain weight in each of the stress levels. Means with the same letters showed no significant difference ($p <0.05$) between the means at each stress level.**

### *عملکرد دانه*

اثر متقابل سه‌گانه‌ی تنش، ژنوتیپ و محلول‌پاشی در سطح احتمال یک درصد بر عملکرد محصول معنی‌دار بود (جدول ۲). طبق جدول ۳ و بر اساس مقایسه میانگین اثر متقابل ژنوتیپ × محلول‌پاشی در هر یک از سطوح تنش خشکی مشاهده می‌شود که چه در شرایط بدون تنش و چه در شرایط تنش بیشترین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های موردمطالعه در محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید به دست

آمد. با این تفاوت که در مورد رقم میهن در شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری بین محلول‌پاشی هم‌زمان با کیتوزان و هیومیک اسید با محلول‌پاشی فقط با کیتوزان مشاهده نشد. به‌طورکلی می‌توان گفت بیش‌ترین میزان عملکرد در لاین CD-93-10 همراه با محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید، به ترتیب در شرایط آبیاری کامل و در شرایط اعمال تنش به میزان ۸/۱۹ و ۸/۰۳ تن در هکتار اندازه‌گیری شد. در رقم میهن کم‌ترین میزان عملکرد هم در شرایط بدون تنش و هم در شرایط تنش در تیمار بدون محلول‌پاشی مشاهده شد؛ اما در دو ژنوتیپ دیگر گندم بین تیمار شاهد و محلول‌پاشی تکی (با کیتوزان یا هیومیک اسید) در شرایط آبیاری کامل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بااین‌حال، در شرایط تنش خشکی این تفاوت در مورد محلول‌پاشی با هیومیک اسید با تیمار شاهد در هر دو ژنوتیپ CD-93-9 و CD-93-10 معنی‌دار بود. این امر نشان می‌دهد که محلول‌پاشی با هیومیک اسید به‌تنهایی در شرایط تنش خشکی باعث افزایش عملکرد دانه در این دو ژنوتیپ گندم می‌شود.

ازلحاظ اثر متقابل ژنوتیپ و محلول‌پاشی در هر یک از سطوح تنش خشکی می‌توان گفت که بیش‌ترین افزایش عملکرد در محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید مشاهده شد ولی بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم تفاوت معنی‌داری در این خصوص وجود داشت به‌طوری‌که در هر دو شرایط لاین CD-93-10 بیشترین عملکرد دانه را در محلول‌پاشی توأم کیتوزان و هیومیک اسید نشان داد. در این زمینه یون‌ها کیم و همکاران (Yoon-Ha Kim et al., 2012) گزارش کردند که مصرف مواد هیومیکی رشد گیاه و بهره‌وری را افزایش داده و به حفظ رطوبت و کاهش اثر تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی کمک می‌کند. عبدالرحمان و همکاران (Abdel-Rahman et al., 2021)، خان و همکاران (Khan et al., 2018)، موروومی‌کا و همکاران (Mauromicale et al., 2011) و گوان و همکاران (Guan et al., 2009) نیز افزایش عملکرد محصول توسط مواد هیومیکی را در اثرگذاری آن، بر کنترل بیماری‌ها و افزایش قابلیت دسترسی عناصر غذایی در خاک دانستند. موریفا (Muriefah, 2013) نیز در این راستا محلول‌پاشی کیتوزان را موجب کاهش اثرات منفی تنش خشکی و افزایش عملکرد و بهبود کیفیت دانه در لوبیا دانست. وی دلیل این بهبود را افزایش رسانایی روزنه‌ای و فعالیت خالص تثبیت دی‌اکسید کربن فتوسنتزی دانست. ژنگ و لو (Zeng and Luo, 2012) نیز تأثیر کیتوزان بر تعدیل تنش خشکی را در توسعه‌ی بیش‌تر سیستم ریشه دانستند که موجب جذب بیش‌تر آب توسط گیاه می‌شود. همچنین حافظ و همکاران (Hafez et al., 2020) نیز گزارش کردند که عملکرد گندم تحت تنش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد که تحت تیمار کیتوزان و بیوچار به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند به‌طوری‌که بین تیمارهای تحت تنش با محلول‌پاشی کیتوزان و تیمار شاهد با آبیاری کامل اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد.

افزایش عملکرد در شرایط نرمال و جلوگیری از افت بیشتر آن در شرایط تنش یکی از اهداف مهم در بهزراعی گیاهان زراعی است. کیتوزان و هیومیک اسید می‌توانند در دستیابی به این هدف مفید باشند. بر اساس نتایج حاصل از مطالعه حاضر مشخص شد که کاربرد کیتوزان و هیومیک اسید به‌تنهایی و به‌ویژه به‌صورت هم‌زمان باعث بهبود رشد و افزایش عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نه‌تنها در شرایط بدون تنش بلکه در شرایط تنش خشکی آخر فصل گردید. اثرات مفید هیومیک اسید و کیتوزان بر رشد گیاه را می‌توان به اثرات تقویتی آن‌ها بر جذب عناصر غذایی ضروری به‌ویژه نیتروژن، پتاسیم و فسفر و افزایش تحمل تنش (Malerba and Cerana, 2016) نسبت داد. نشان داده شده است که کیتوزان و هیومیک اسید باعث افزایش رشد، عملکرد و بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی در گیاه می‌شوند (Farouk et al., 2011). هیومیک اسید حاوی گروه‌های اسیدی مانند گروه‌های کربوکسیل و فنولیک OH است؛ بنابراین، منجر به تأمین بهتر ماکرومولکول‌های آلی با کارکردهای مهم در انتقال، حلالیت و فراهمی زیستی مواد معدنی می‌شود (Chen and Zhu, 2006). علاوه بر این، جذب نیتروژن خاک را بهبود می‌بخشد و جذب پتاسیم، کلسیم، منیزیم و فسفر را توسط سیستم ریشه‌ای گیاه از طریق انتقال بهتر آن‌ها تحریک می‌کند (Kaya et al., 2005). این اثرات محرک مواد هیومیک بر رشد در گیاهان مختلفی به‌عنوان‌مثال، افزایش وزن خشک اندام هوایی، رشد ریشه، ارتفاع گیاه و جذب عناصر پرمغذی در گیاه جو دوسر (Rosa et al., 2004)، افزایش جذب فسفر و تولید ماده خشک در ذرت (Andrade et al., 2004)، بهبود عملکرد و اجزای آن در سیب‌زمینی (Rizk et al., 2013؛ Abu Zinada and Sekh Eleid, 2015)، گوجه‌فرنگی (Farnia and Moradi, 2015)، بامیه (Kandil et al., 2015) گزارش شده است. همچنین

مطالعات متعددی توانایی کیتوزان را در افزایش رشد گیاه (ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک)، اجزای عملکرد (تعداد میوه در بوته، وزن میوه و عملکرد کل) و میزان نیتروژن، فسفر و پتاسیم گیاه در گیاهان مختلفی مانند توت‌فرنگی (Abdel-Mawgoud et al., 2010)، خیار (Shehata et al., 2012)، گوجه‌فرنگی (Abd El Gawad and Bondok, 2015)، بامیه (Mondal et al., 2012) و لوبیا (Muriefah, 2013) گزارش کرده‌اند.

## نتیجه‌گیری نهایی

اعمال تنش خشکی موجب کاهش معنی‌دار در تعداد پنجه، تعداد سنبله، ارتفاع بوته و عملکرد محصول در گندم شد. افزایش عملکرد در شرایط بدون تنش و جلوگیری از افت بیشتر آن در شرایط تنش یکی از اهداف مهم در بهزراعی گیاهان زراعی است. کیتوزان و هیومیک اسید می‌توانند در دستیابی به این هدف مفید باشند. لاین DC-9-10 با کاهش کمتر در بیشتر صفات موردمطالعه در شرایط تنش خشکی از حساسیت کمتری نسبت به تنش خشکی در مقایسه با دو ژنوتیپ دیگر بود. همچنین محلول‌پاشی هیومیک اسید و کیتوزان موجب افزایش و بهبود صفات موردبررسی، هم در شرایط اعمال تنش خشکی و هم در شرایط عدم تنش در ژنوتیپ‌های گندم نسبت به عدم محلول‌پاشی شد. به‌طوری‌که با محلول‌پاشی توأم کیتوزان و هیومیک اسید در هر دو شرایط آبیاری کامل و اعمال تنش بیشترین تعداد پنجه، تعداد دانه در سنبله، تعداد سنبله، طول سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه به دست آمد. بر این اساس، پیشنهاد می‌شود برای افزایش تحمل و حصول عملکرد بیش‌تر، از محلول‌پاشی هم‌زمان کیتوزان و هیومیک اسید استفاده شود. همچنین بررسی غلظت‌های مختلف این دو ماده در ترکیب با یکدیگر و در مراحل مختلف رشدی گندم می‌تواند بهترین دز و زمان مصرف آن‌ها را در این محصول راهبردی بهتر مشخص کند که انجام مطالعات در این خصوص پیشنهاد می‌شود.

## منابع


Andrade, F., Mendonca, E., Silva, I., Mateus, R., 2004. Low molecular weight and humic acids increase phosphorus uptake and corn growth in Oxisoils. Humic Substances and Soil and Water Environment. 211-214.

Behboodi, F., Tahmasbi Sarvestani, Z., Kasaei, M.Z., Modares Sanavi, A.M. Sorooshzadeh, S.A., 2019. Effect of foliar application and application of chitosan nanoparticles on chlorophyll, photosynthesis, yield and yield components of wheat (*Triticum aestivum* L.) under drought stress after pollination. Journal of Plant Process and Function, 8, 271-285. [In Persian].

Chen, B., Zhu, Y.G., 2006. Humic acids increase the phytoavailability of Cd and Pb to wheat plants cultivated in freshly spiked, contaminated soil. Journal of Soils and Sediments. 6, 236-242. https://dx.doi.org/10.1065/JSS2006. 08.178.

Doroodian, M., Sharghi, Y., Alipour, A., Zahedi, H., 2016. Yield and yield components of wheat as influenced by sowing date and humic acid. International Journal of Natural Sciences. 5, 8. https://dx.doi.org/10.3329/ijns.v5i1.28605.

Farnia, A., Moradi, E., 2015. Effect of soil and foliar application of humic acid on growth and

Abd El Gawad, H.G., Bondok, A.M., 2015. Response of tomato plants to salicylic acid and chitosan under infection with tomato mosaic virus. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 15, 1520-1529. https://dx.doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2015.15.8.12735

Abdel-Mawgoud, A.M.R, Tantawy, A.S., El-Nemr, M.A. Sassine, Y.N., 2010. Growth and yield responses of strawberry plants to chitosan application. European Journal of Scientific Research. 39, 170-177.

Abdel-Rahman, H.M., Zaghloul, R.A., Hassan, E.A., El-Zehery, H.R.A., Salem, A.A., 2021. New strains of plant growth-promoting rhizobacteria in combinations with Humic Acid to enhance Squash growth under saline stress. Egyptian Journal of Soil Science. 61, 129-146. https://dx.doi.org/10.21608/ejss.2021.58052.1425.

Abu Zinada, I.A., Sekh Eleid, K.S., 2015. Humic acid to decrease fertilization rate on potato (*Solanum tuberosum* L.). American Journal of Agriculture and Forestry. 3, 234- 238. https://dx.doi.org/10.11648/J.AJAF.20150305.20.

yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.). International Journal of Biology, Pharmacy and Allied Sciences (IJBPAS). 4, 706-716.

Farouk, S., Mosa, A., Taha, A., Ibrahim, H.M., El-Gahmery, A., 2011. Protective effect of humic acid and chitosan on radish (*Raphanus sativus* L. var. sativus) plants subjected to cadmium stress. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 7, 99-116. Corpus ID: 43954564.

Guan, Y.J., Hu, J., Wang, X.J., Shao, Ch.X., 2009. Seed priming with chitosan improves maize germination and seedling growth in relation to physiological changes under low temperature stress. Journal of Zhejiang University Science. 10, 427-433. https://dx.doi.org/10.1631/jzus.B0820373.

Gutteiri, M.J., Stak, J.C., Obbrain, K., Souza, E., 2001. Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. Crop Science. 41, 327-335. https://dx.doi.org//10.2135/cropsci2001.412327x

Hafez, Y., Attia, K., Alamery, S., Ghazy, A., Al-Doss, A. Ibrahim, E., Rashwan, E., El-Maghraby, L., Awad, A., Abdelaal, Kh., 2020. Beneficial effects of Biochar and Chitosan on antioxidative capacity, osmolytes accumulation, and anatomical characters of water-stressed Barley plants. Agronomy. 10, 3-18. https://dx.doi.org/10.3390/agronomy10050630

Hidangmayum, A., Dwivedi, P., Katiyar, D., Hemantaranjan, A., 2019. Application of chitosan on plant responses with special reference to abiotic stress. Physiology and Molecular Biology of Plants. 25, 313–326. https://dx.doi.org/10.1007/s12298-018-0633-1.

Kandil, H., Gad, N., Abed El Moez, M.R., 2015. Response of okra (*Hibiscus esculantus*) growth and productivity to cobalt and humic acid rates. International Journal of ChemTech Research. 8, 1782-1791.

Karimi, S., Abbaspour, H., Sinaki, J.M., Makarian, H., 2012. Effects of water deficit and chitosan spraying on osmotic adjustment and soluble protein of cultivars castor bean (*Ricinus communis* L.). Journal of Stress Physiology and Biochemistry. 8, 160-69.

Kaya, M., Atak, M., Khawar, K.M., Ciftci, C.Y., Ozcan, S., 2005. Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). International Journal of Agriculture and Biology. 7, 875- 878. https://dx.doi.org/1560–8530/2005/07–6–875–878.

Khan, R., Manzoor, N., Zia, A., Ahmad, I., Ullah, A., Shah, S.M., Naeem, M., Ali, Sh., Khan, I.H., Zia, D., Malik, M., 2018. Exogenous application of chitosan and humic acid effects on plant growth and yield of pea (*Pisum sativum*). International Journal of Biosciences. 12, 43-50. https://dx.doi.org/10.12692/ijb/12.5.43-50.

Kilic, H., Yagbasanlar, Y., 2010. The effect of drought stress on grain yield, yield components and some quality traits of durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum) cultivars. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 38, 164-170. https://dx.doi.org/10.15835/nbha_3814274.

Malerba, M., Cerana, R., 2015. Reactive oxygen and nitrogen species indefense/stress responses activated by chitosan in sycamore cultured cells. International Journal of Molecular Sciences. 16, 3019–3034. https://dx.doi.org/10.3390/ijms16023019

Malerba, M., Cerana R., 2016. Chitosan effects on plant systems. International Journal of Molecular Sciences. 17, 996. https://dx.doi.org/10.3390_ijms17070996.

Mansour, E.R., Mesairy, M.M.A.E., 2015. Effect of humic acid and chitosan on growth and yield of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.) under saline conditions. Egyptian Journal of Desert Research. 65, 47-60. https://dx.doi.org/10.21608/EJDR.2015.5798.

Masjedi, M.H., Roozbehani, A., Baghi, M., 2017. Assessment effect of chitosan foliar application on total chlorophyll and seed yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) under water stress conditions. Journal of Crop Nutrition Science. 3(4), 14-26.

Mauromicale, G., Angela, M.G.L., Monaco, A.L., 2011. The effect of organic supplementation of solarized soil on the quality of tomato. Scientia Horticulturae. 129, 189-196. https://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.024.

Mehrpuyan, M., Timas, Gh., Aminzadeh, Gh.R., 2010. Effect of sowing date and seed density on morphological characteristics and yield of two bread wheat cultivars in Moghan region.

Journal of Research in Crop Sciences. 9, 37- 49. [In Persian].

Mondal, M.M.A., Malek, M.A., Puteh, A.B., Ismail, M.R., Ashrafuzzaman, M., Naher, L., 2012. Effect of foliar application of chitosan on growth and yield in okra. Australian Journal of Crop Science. 6, 918-921.

Moradian, P., Kazemi Arbat, H.A., Rezaei Morad Alla, M., 2015. Evaluation of some morphological and physiological traits of bread wheat lines and cultivars. Journal of Crop Plant Ecophysiology. 1, 57- 70. [In Persian].

Muriefah, SH.A., 2013. Effect of chitosan on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under water stress conditions. Global Science Research Journals. 1, 001-008.

Rezaeizadeh, M., Sayfzadeh, S., Shirani Rad, A.H., Valadabadi, S.A., Hadidi Masouleh, E., 2019. Influence of drought stress and chitosan on fatty acid compounds of rapeseed varieties. Iranian Journal of Plant Physiology. 9, 2819-2825. http://dx.doi.org/10.22034/IJPP.2019.667143.

Richards, R.A., Condon, A.G., Robetzke, G.J., 2001. Traits to improve yield in dry environments. Pp: 88-100. In: Reynolds, M.P., J.I. Ortiz-Monasterio, A. McNab. (eds.). Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT. Mexico.

Rizk, F.A, Shaheen, A.M., Singer, S.M., Sawan, O.A., 2013. The productivity of potato plants affected by urea fertilizer as foliar spraying and humic acid added with irrigation water. Middle East Journal of Agriculture Research. 2, 76-83.

Rosa, C., Castilhos, R., Vahl, L., Costa, P., 2004. Effect of fulvic acids on plant growth, root morphology and macronutrient uptake by oats. Humic Substances and Soil and Water Environment. 207-210.

Salek Zamani, A., Tavakoli, A.R., 2005. The effect of seed rate on grain yield and its components of three new variety and line of rainfed wheat. Iranian journal of Crop sciences. 6, 214- 223 pp. [In Persian]. https://dx.doi.org/20.1001.1.15625540.1383.6.3.4.3.

Samarah, N.H., 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. Agronmy for Sustainabe Development. 25, 145- 149. https://dx.doi.org/10.1051/agro:2004064.

Shahryari, R., 2016. Evaluation of genetic variation of bread wheat genotypes for some morphological and physiological characteristics under drought stress condition. Journal of Crop Ecophysiology. 10, 413- 430. [In Persian].

Shahryari, R., Mollasadeghi, V., 2011(a). Harvest index and its associated characters in winter wheat genotypes against terminal drought at presence of a peat derived humic fertilizer. Advances in Environmental Biology. 5, 162-165.

Shahryari, R., Mollasadeghi, V., 2011(b). Increasing of wheat grain yield by use of a humic fertilizer. Advances in Environmental Biology. 5, 516-518.

Shamsipoor, M. Fotovat, R., Jabari, F., 2010. Correlation between chlorophyll content index and grain yield of wheat under drought stress conditions. Journal of Crop Ecophysiology. 2, 8- 16. [In Persian].

Shehata, S.A., Fawzy, Z.F., El-Ramady, H.R., 2012. Response of cucumber plants to foliar application of chitosan and yeast under greenhouse conditions. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 6, 63-71.

STAR, version 2.0.1., 2014. Biometrics and Breeding Informatics, PBGB Division, International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna.

Torfi, F. and Shokoofar, A., 2019. Effect of humic acid on yield and physiological properties of wheat in deficit-irrigation conditions, Journal of Crop Science, 9, 121-132. [In Persian].

Yoon-Ha Kim Y.H., Khan, A.L., Shinwari, Z.K., Kim, D.H., Waqas, M., Kamran, M., In-J L., 2012. Silicon treatment to rice (*Oryza sativa* L. cv 'Gopumbyeo') plants during different growth periods and its effects on growth and grain yield. Pakistan Journal of Botany. 44, 891-897.

Youssef, E.A., Ali Hozayen, A.M., 2019. Study the effect of chitosan on some growth and yield parameters in wheat grown under water stress condition. Plant Archives. 19, 684- 694.

Zeng, D., Luo, X., 2012. Physiological effects of chitosan coating on wheat growth and activities of protective enzyme with drought tolerance. Open Journal of Soil Science, 2, 282-288. https://dx.doi.org/10.4236/ojss.2012.23034.