# Crop Science Research in Arid Regions

**homepage: https://cropscience.uoz.ac.ir/**

**Research Article**
Volume 7, Issue 3, 2025, P. 479-492


# The effect of growth promoting materials on the yield and concentration of nutrient elements of wheat under drought stress


**Reza Soleimani [*a], Fereydoun Nourgholipour [b]**

[a] Soil and Water Research Department, Ilam Agricultural and Natural Resources Research and Education Research Center, AREEO, Ilam, Iran
[b] Soil and Water Research Institute, AREEO, Karaj, Iran

[*] Corresponding Author: xsoleimani@gmail.com



Received: 10 May 2024 Accepted: 18 July 2024 **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.455623.1416**

**How to cite this article:**
Soleimani, R. and Nourgholipour, F., 2025. The effect of growth promoting materials on the yield and concentration of nutrient elements of wheat under drought stress. *Crop Science Research in Arid Regions*, *7*(3), 479-492. https://doi.org/10.22034/csrar.2024.455623.1416



## Abstract

**Introduction:** Global climate change-induced abiotic stresses such as drought have profound impacts on crop yield and the subsistence farming economy in Iran. Biostimulants are an effective type of substances obtained from some organic and inorganic materials and from microorganisms. These materials, as a promising and eco-friendly approach, are widely used to decrease the destructive effects of drought stress and fulfill the need for developing sustainable/modern agriculture. Current knowledge revealed that biostimulants derived from plants and animals (e.g., seaweeds and phytoextracts, humic substances, amino acids and fulvic acid) as well as microbial stimulants such as plant growth promoting bacteria (PGPR) have high potential to elicit plant tolerance to drought stress. Fertilizer materials directly supply plants with essential nutrients, correcting nutrient deficiencies in plants and promoting plant growth. In contrast, growth biostimulants promote the plant's innate abilities to absorb nutrients from soil and alleviate stresses, without providing nutrients directly. The aim of this study was to investigate the effect of biostimulants on wheat tolerance under deficit water condition.

**Materials and Methods:** Experiments conducted in form of split plots as a complete randomized block design with three replications in Ilam for two years since 2021. The soil order The main plots include two levels as irrigation application after 70 and 140 mm cumulative evaporation and sub-plots including six levels of biostimulants as control, foliar application of amino acid, fulvic acid and seaweed, fertigation of humic acid, azotobacter inoculation and combined application of all biostimulants. At the end, after harvesting wheat, grain and biological yield and the concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, iron, zinc, copper and manganese elements in grain and straw were measured. Analysis of data and mean comparison was performed with SAS software and Tukey, s test, respectively.

**Results and Discussion:** The results showed that the application of biostimulants under deficit irrigation improved the yield, relatively. The combined biostimulants application with 12.9% increase in grain yield was the superior treatment. Under normal conditions, the use of amino acids and under conditions of deficit irrigation, the application of fulvic acid produced 10.3% and 12.8% increase in

©2024 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

grain yield, respectively. The increase in nutrient concentration with the application of biostimulants was between 11% and 18%. . The highest concentration of phosphorus in the grain was obtained with the combined application of growth stimulants, the sole application of fulvic acid and the sole application of amino acid with concentrations of 0.227, 0.225 and 0.223%, respectively. Also, the highest concentration of potassium in straw was obtained with the combined application of growth stimulants with a concentration of 0.136%. The highest concentration of potassium in the grain was obtained with the combined application of growth stimulants and the sole application of fulvic acid with concentrations of 0.633 and 0.593%, respectively. Among the biostimulants, the best results under deficit irrigation and normal conditions were obtained by fulvic acid and amino acid, respectively. In general, biostimulants, due to the presence of plant growth-promoting compounds such as nutrient elements, phytohormones and enzymes, can improve plant growth characteristics and nutrient absorption. Also, these materials improved growth parameters due to its role in increasing photosynthesis respiration, cell membrane permeability and root architecture.

**Conclusion:** In general, the application of growth stimulants compared to the control treatment improved the yield components and changed the concentration of nutrients in wheat grain and straw. In the condition of dehydration, the absorption of nutrients decreased and the consumption of growth stimulants could have a positive effect on the process of absorption of nutrients and reduce the negative effects of dehydration. Fulvic acid was more effective than other biostimulants in decreasing the negative effects of drought stress. Finally, the use of natural materials such as fulvic acid can be a safe approach and complementary additive to improve plant growth and to decrease the adverse effects of not only drought stress but also chemical fertilizers.

**Keywords:** Amino acid, Azotobacter, Fulvic acid, Humic acid, Seaweed extract

تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد هفتم، شماره سوم، پاییز ۱۴۰۴، ص ۴۹۲-۴۷۹

مقاله پژوهشی

# اثر مواد محرک رشد بر عملکرد و غلظت عناصر غذایی گندم در شرایط تنش خشکی

رضا سلیمانی*[1]، فریدون نورقلیپور[2]

۱- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی ایلام، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، ایلام، ایران
۲- موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
* مسئول مکاتبه: xsoleimani@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸ **DOI: 10.22034/CSRAR.2024.455623.1416**

## چکیده

مواد محرک رشد از نوع ترکیبات مؤثر حاصل از مواد آلی و معدنی و ریزجانداران هستند. این مواد، اثرات تنش‌های محیطی بر گیاهان را کاهش می‌دهند. تحقیق حاضر با هدف اثر کاربرد مواد محرک رشد بر تحمل گندم به تنش کم آبی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت کرت‌های خرد شده با سه تکرار از سال ۱۳۹۹ به مدت دو سال زراعی در ایلام اجرا شد. کرت‌های اصلی شامل دو سطح آبیاری بعد از ۷۰ و ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشت کلاس A و کرت‌های فرعی با شش سطح مواد محرک رشد شامل شاهد، محلول پاشی اسید آمینه، فولویک اسید و جلبک دریایی، کود آبیاری هیومیک اسید، مایه‌زنی ازتوباکتر و کاربرد توأم مواد محرک رشد بود. نتایج نشان داد که کاربرد مواد محرک رشد باعث بهبود نسبی عملکرد دانه و اجزای عملکرد در شرایط کم آبی گردید. کاربرد توأم مواد محرک رشد با ۱۲/۹ درصد افزایش عملکرد دانه نسبت به شاهد، تیمار برتر بود. در شرایط آبیاری کامل، کاربرد اسید آمینه و در شرایط تنش کم آبی، کاربرد فولویک اسید بهترین تیمارها بودند. افزایش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، روی و آهن با کاربرد توأم مواد محرک رشد، بین ۱۱ تا ۱۸ درصد بود. بطورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد سبب کاهش آثار نامطلوب کم آبیاری در گندم شده و در بین مواد محرک رشد، بهترین نتیجه با کاربرد فولیک و اسید آمینه به ترتیب در شرایط تنش کم آبی و آبیاری کامل بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** آمینو اسید، ازتوباکتر، فولویک اسید، عصاره جلبک، هیومیک اسید

## مقدمه

امروزه لزوم پرداختن به مدیریت تولید گیاهان زراعی در شرایط تنش خشکی برای دستیابی به عملکرد مناسب ضرورتی انکار ناپذیر است. در شرایط تنش خشکی، باروری زیستی حداقل[1] به عنوان یک مشکل اساسی محسوب می‌گردد. خشکی یک تنش چند بعدی بوده و در سطوح مختلف اثرگذار است (Mia *et al.*, 2020). در سطح گیاه، پاسخ به تنش خشکی پیچیدگی خاصی داشته و بازتابی از تلفیق اثرات تنش ناشی از کمبود آب در دسترس ریشه و پاسخ‌های مربوطه در تمام سطوح فیزیولوژیکی گیاه می‌باشد. تنش کم آبی یکی از مهمترین تنش‌های محیطی در گیاهان زراعی بوده که موجب محدود شدن رشد رویشی و زایشی می‌گردد (Anderson *et al.*, 2016). نتایج تحقیقات انجام شده نشان داده است که تنش کم آبی بر تغییرات هورمونی و فیزیولوژیکی اثر گذاشته و همچنین صدمات اکسیداتیو نیز از عوامل مهم محدود کننده رشد و تولیدات گیاهی بوده که در اثر شرایط کم آبی ایجاد می‌شود (Hussain *et al.*, 2019). صدمات اکسیداتیو، اختلال در تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن و مکانیسم دفاعی برطرف کننده این رادیکال‌ها بوده و منجر به تغییر و تخریب[2] پروتئین‌ها، لیپیدهای غشائی و سایر اجزای سلولی می‌گردد (Zhanassova *et al.*, 2021). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر (ROS[3]) که عامل مهمی در القای تنش خشکی هستند، شکل‌هایی از اکسیژن اتمسفری هستند که تا حدودی احیا شده‌اند. بر خلاف اکسیژن اتمسفری، گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر دارای توانایی نامحدود در اکسیداسیون اجزای سلولی مختلف بوده و می‌تواند منجر به تخریب اکسیداتیو سلول گردد (Puthur, 2016). گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر در نتیجه تنش خشکی، سبب بروز صدماتی همچون اکسید شدن لیپیدها شده و در نتیجه منجر به تغییر ساختار غشاء و در نتیجه از هم پاشیدگی یکپارچگی آن می‌شود. پیامد این

[1] Minimal Bioproduction
[2] Destruction
[3] Reactive Oxygen Species

تغییرات، تغییر ساختمان پروتئین‌ها و اکسید شدن گروه‌های سولفیدریل (SH-)، غیر فعال شدن آنزیم‌ها، بی‌رنگ شدن و یا از بین رفتن رنگدانه‌هایی مانند کلروفیل و سایر ترکیبات رنگیزه‌ای و گسیختگی مداوم مولکول‌های آلی مثل DNA و در نتیجه اختلال در رشته‌های DNA و در واقع مرگ برنامه‌ریزی شده سلول[1] ذکر گردیده است (Mohite, 2013). بنابراین در فرایند تحمل به تنش خشکی در گیاهان، بایستی این گونه‌های اکسیژن واکنش‌پذیر مهار گردند. امروزه مواد محرک رشد گیاه در حکم عوامل بیوشیمیایی مفیدی می‌باشند که بر فیزیولوژی رشد گیاهان اثرگذار بوده و گیاهان را در راستای مصرف کارآمدتر عناصر غذایی و رسیدن به پتانسیل‌های ژنتیکی یاری می‌دهند.

تیمار گیاهان با مواد محرک رشد یکی از روش‌هایی است که در جهت بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی استفاده می‌شود. کاربرد آمینو اسیدها باعث افزایش پرولین شده که این تجمع به استحکام ساختار پروتئین‌ها و تعادل اکسایش-کاهش در سلول می‌افزاید. کاربرد آمینواسیدها باعث افزایش غلظت نیتروژن در گیاه و در نتیجه بهبود متابولیسم در گیاه می‌گردد (Tadros *et al.*, 2019). برخی از مزایای استفاده از کودهای حاوی آمینواسیدها عبارتند از افزایش فعالیت ریز موجودات مفید خاک، افزایش جذب عناصر غذایی کم مصرف و پر مصرف برای گیاه در انواع خاک و شرایط محیطی، آزاد کردن ترکیبات معدنی تثبیت شده در خاک، افزایش ظرفیت تبادلات کاتیونی خاک، افزایش جمعیت توده کم مصرفی خاک، افزایش توسعه ریشه گیاه و رشد و تکامل، افزایش قابلیت سنتز (پروتئین وکربن هیدرات) گیاه و متابولیسم، افزایش قابلیت زراعی خاک و افزایش تحمل آن در برابر باکتری‌ها و قارچ های بیماریزا و کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی می‌باشد. فولویک اسید در کلزا مقدار کلروفیل و شدت فتوسنتز را افزایش و نفوذپذیری غشاء سلولی را کاهش داد (Elrys *et al.*, 2019). این تغییرات بیانگر افزایش تحمل گیاه به تنش خشکی با کاربرد فولویک اسید بود. در گیاه متأثر از تنش خشکی، با محلول پاشی فولویک اسید، کشش روزنه‌ها کاهش یافته و این خود باعث کاهش باز بودن روزنه برگ‌ها و کاهش تعرق می گردد. هیومیک اسید و فولویک اسید باعث افزایش جذب عناصر غذایی از غشاء می‌گردد. افزایش کیفیت و کمیت محصولات زراعی و باغی، افزایش جوانه، شکوفه و بزرگ شدن میوه، افزایش مقاومت گیاه به خشکی، افزایش فعالیت ریزجانداران مفید خاک، قابلیت کلات کنندگی عناصرریزمغذی مانند آهن و درنتیجه افزایش قابلیت جذب آنها توسط گیاه، افزایش جذب کودهای شیمیایی در صورت استفاده همزمان با آنها، افزایش مقاومت گیاه به شوری و کم‌آبی و تسهیل تعریق و تعرق گیاهی و تقویت سیستم ریشه از مزایای استفاده از کودهای حاوی آمینواسید می‌باشد. مواد هیومین طبیعی، بسیار کم در طبیعت از لحاظ زیستی و شیمیایی فعال هستند زیرا در ترکیب ساختار آنها عناصر موجود در خاک‌ها که مانع آزادی عمل آنها به صورت طبیعی می شوند و جذب آنها را به خودی خود برای گیاهان غیر ممکن می‌کنند، لذا برای جذب بیشتر آنها توسط گیاهان و درختان، این مواد را به روش‌های بیوشیمیایی فعال می‌کنند تا قابلیت انحلال آنها در آب بیشتر شود و در نهایت به راحتی جذب گیاه گردند (Grammenou *et al.*, 2023). مواد فعال کننده که برای شکستن ساختار مولکولی بزرگ این مواد و تبدیل آنها به مولکول های ریز قابل استفاده می‌شوند، بعد از اضافه کردن محلولی، از مولکول شکسته شده و جدا می‌گردند و بنابراین، این مواد کودی می‌توانند از طریق روزنه‌های گیاه و غشاء نازک آنها جذب و مورد استفاده گیاه واقع گردند. همچنین گزارش شده است که عصاره جلبک دارای هورمون‌های ایندول استیک اسید و سیتوکینین و برخی از عناصر غذایی می‌باشد. مصرف عصاره جلبک باعث تحریک رشد ریشه و بهبود تحمل گیاه به تنش خشکی می‌گردد (Hortin *et al.*, 2019). در شرایط کم آبی، جذب عناصر غذایی کاهش می‌یابد، لذا مصرف مواد محرک رشد در صورتی که بتولند بر روند جذب عناصر غذایی اثر مثبتی داشته باشد اثرات منفی کم آبی را کاهش می دهد.

در برخی از مناطق استان ایلام علاوه بر خشکسالی، عواملی نظیر عدم تخصیص مناسب آب آبیاری سبب بروز تنش خشکی می‌گردد. هدف از اجرای این پژوهش، تعیین اثرهای مصرف اسید آمینه، اسید های هیومیک، اسید های فولویک، عصاره جلبک دریایی، مایه زنی بذر با ازتوباکتر و اثر توأم مواد محرک رشد بر تحمل گندم در برابر تنش خشکی بود.

[1] Programmed Cell Death

## مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف اثر کاربرد مواد محرک رشد بر تحمل گندم در برابر تنش خشکی از سال ۱۳۹۹ به مدت دو سال زراعی در ایستگاه تحقیقات مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی سرابله در شمال استان ایلام با مختصات جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۵ دقیقه و ۵۹ ثانیه طول شرقی با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا اجرا گردید. این منطقه بر اساس طبقه‌بندی کوپن دارای اقلیم کوهستانی معتدل با کمینه و بیشینه دمای‌مطلق سالانه بین ۶/۵- تا۳۹ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالیانه ۴۶۰ میلی‌متر می‌باشد.

نام علمی خاک محل اجرای آزمایش بر اساس سیستم آمریکائی بصورت Fine mixed mesic, *Calcixerollic Xerochrepts* بود. در این پروژه اثرات مواد زیستی محرک رشد گیاهی (تهیه شده از موسسه تحقیقات خاک و آب به شرح جدول ۱) بر کاهش خسارت تنش خشکی در زراعت گندم مورد آزمون قرار گرفت. به این منظور ابتدا اقدام به تهیه زمین در هر سال زراعی گردید. عملیات تهیه زمین شامل شخم، دیسک، لولر، خط‌کشی و کودپاشی برای همه واحدهای آزمایشی به طور یکسان انجام شد. طرح به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. در هر آزمایش، کرت اصلی اعمال تیمار های آبیاری شامل دو سطح زیر بود:

الف- آبیاری بعداز ۷۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیرکلاس A

ب- آبیاری بعد از ۱۴۰ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر کلاس A (کم آبیاری)

توضیح: میزان آب آبیاری مورد نیاز در هر دو تیمار فوق بر اساس تامین رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه برای رسیدن به حد ظرفیت زراعی (FC) تعیین گردید. تنش آبیاری بعد از استقرار گیاه بعد از آبیاری دوم اعمال گردید.

کرت فرعی شامل منبع کود مصرفی به شرح زیر بود:

۱- شاهد (بدون کاربرد مواد محرک رشد)

۲- محلول پاشی کمپلکس اسیدهای آمینه (جدول ۱) با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۳- کود آبیاری هیومیک اسید به میزان ۵ کیلوگرم در هکتار در مراحل اولیه رشد با آبیاری دوم

۴- محلول پاشی فولویک اسید با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۵- محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی با غلظت ۵ در هزار در دو مرحله پنجه‌زنی (مقیاس زادوکس ۲۳ و ۲۴) و ظهور کامل خوشه (مقیاس زادوکس ۵۹)

۶- بذر مال با کود زیستی ازتو باکتر

۷- کاربرد توأم مواد محرک رشد (تیمار های۲+۳+۵+۶)

ابتدا در پاییز و قبل از هر گونه عملیات زراعی اقدام به نمونه‌برداری از خاک محل آزمایش برای اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نظیر بافت خاک، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کربن آلی، نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز گردید. نتایج مربوط به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول ۲ نشان داده شده است. شوری خاک محدود کننده نبود، کربن آلی و آهک خاک نیز به ترتیب در مقادیر کم و زیاد محسوب می‌گردند.

**جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی محرک های رشد* استفاده شده**

**Table 1- Results of chemical analysis of used biostimulants**

| ماده محرک رشد<br>Growth promoting material | هیومیک اسید<br>Humic acid | فولویک اسید<br>Fulvic acid | کمپلکس آمینواسیدهای آزاد<br>Free amino acids complex | آلجینیک اسید<br>Alginic acid | نیتروژن کل<br>Total nitrogen | پتاسیم محلول<br>Soluble potassium | فسفر محلول<br>Soluble phosphorus |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (%) | | | | | | |
| فولویک اسید<br>Fulvic acid | جزئی trace | 22.1 | - | - | 0.52 | 0.13 | - |
| هیومیک اسید<br>Humic acid | 52.9 | 1.88 | - | - | 1.06 | 4.90 | - |
| آمینو اسید<br>Amino acid | - | - | 36.8 | - | 16.7 | - | - |
| عصاره جلبک دریایی<br>Seaweed extract | | | | 10 | 2.04 | 19.9 | 0.6 |

محل تأمین ترکیبات محرک رشد مورد استفاده: موسسه تحقیقات خاک و آب

Origin of used biostimulants: Soil and Water Research Institute

جدول ۲- نتایج تجزیه‌های فیزیکی و شیمیایی عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک

Table 2- Results of physical and chemical analysis in depth of 0-30 cm of soil

| اسیدیته گل اشباع pH | قابلیت هدایت الکتریکی EC | فسفر P | پتاسیم K | روی Zn | آهن Fe | منگنز Mn | مس Cu | کربن آلی OC | نیتروژن کل TN | TNV | بافت Texture |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | (dS m$^{-1}$) | (mg kg$^{-1}$) | | | | | | ٪ | | | |
| 7.33 | 0.31 | 12.2 | 305 | 1.21 | 8.84 | 7.31 | 1.13 | 1.22 | 0.11 | 33.2 | SiCl |

در زمانی که رطوبت خاک در نزدیکی حد ظرفیت زراعی بود شخم زده و بلافاصله با دیسک بستر بذر نرم و آماده گردید. با توجه به طرح آماری فوق للذکر، تعداد ۳۶ کرت به ابعاد ۴×۶ متر با حاشیه ۱ متر توسط مرزبند تراکتور احداث شده و مرزها با توجه به نتایج آزمایشگاهی، اقلیم و پتانسیل تولیدی منطقه نسبت به مصرف کود اقدام گردید. کودهای توصیه شده با مصرف خاکی و همچنین تیمار مصرف خاکی، پس از تهیه زمین، محاسبه و با خاک مخلوط گردید. توصیه‌های مصرف تکمیلی شامل مصرف سرک نیتروژن در مراحل پنجه‌دهی، ساقه‌روی و گلدهی و محلول‌پاشی عنصر روی با غلظت سه در هزار در مراحل ساقه‌روی و قبل از گلدهی اعمال شد. بذر گندم از رقم چمران ۲ بوده و با تراکم ۳۰۰ بذر در متر مربع به صورت ردیفی کشت گردید. مقدار مصرف مایع تلقیح ازتوباکتر به مقدار یک در صد برابر با یک لیتر در ۱۰۰ کیلوگرم بذر به صورت بذرمال بود. محلول تلقیح در ظرفی با بذر مخلوط تا سطح بذر کاملا خیس و با مواد آغشته گردید. سپس برای چسبیدن کامل به بذر، بر روی پلاستیک تمیز خشک شد. آب آبیاری بر اساس تبخیر تجمعی از تشتک تبخیر اعمال گردید. مبارزه با علف‌های هرز با عملیات مکانیکی انجام شد. در پایان پس از برداشت گندم، عملکرد دانه و زیستی و غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن، روی، مس و منگنز دانه و کاه اندازه‌گیری شد. داده‌های به دست آمده توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۲ مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی انجام شد.

## نتایج و بحث

### تغییرات عملکرد دانه و زیستی در اثر مصرف مواد محرک رشد

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر اصلی کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر عملکرد دانه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در سنبله به ترتیب در سطح یک، پنج و پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳- خلاصه نتایج تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد گندم

Table 3- Results of variance analysis of yield and yield components of wheat

| منابع تغییرات S.V. | درجه آزادی df | عملکرد دانه Grain yield | عملکرد زیستی Biological yield | شاخص برداشت Harvest index | وزن هزار دانه Thousand grain weight | تعداد دانه در سنبله No. grain/spike | تعداد سنبله در متر مربع No spike/square meter |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال (Y) | 1 | 13719 $^{ns}$ | 91541 $^{ns}$ | 16614 $^{ns}$ | 15654 $^{ns}$ | 44545 $^{ns}$ | 52669 $^{ns}$ |
| تکرار (سال) R(Y) | 4 | 12833 $^{ns}$ | 71018 $^{ns}$ | 7081 $^{ns}$ | 5256 $^{ns}$ | 54405 $^{ns}$ | 5350 $^{ns}$ |
| آبیاری(Ir) | 1 | 451440476 $^{*}$ | 19792626356 $^{*}$ | 92967042 $^{*}$ | 5044782 $^{*}$ | 61475110 $^{*}$ | 54813361 $^{*}$ |
| سال×آبیاری Y×Ir | 1 | 921904 $^{ns}$ | 10901 $^{ns}$ | 9154 $^{ns}$ | 3641 $^{ns}$ | 4553 $^{ns}$ | 56541 $^{ns}$ |
| خطای ۱(E1) | 4 | 336190 | 237874933 | 10189 | 6401649 | 11052641 | 65654044 |
| کود(F) | 6 | 5592492 $^{**}$ | 94101565 $^{*}$ | 9876926 $^{*}$ | 7508415 $^{*}$ | 445726841 $^{*}$ | 51455017 $^{*}$ |
| سال×کود(Y×F) | 6 | 14229 $^{ns}$ | 56098 $^{ns}$ | 1684 $^{ns}$ | 5406 $^{ns}$ | 56058 $^{ns}$ | 4406 $^{ns}$ |
| آبیاری×کود(Ir×F) | 6 | 16521 $^{ns}$ | 24261 $^{ns}$ | 540 $^{ns}$ | 6015 $^{ns}$ | 15058 $^{ns}$ | 8432 $^{ns}$ |
| سال×آبیاری×کود Y×Ir×F | 6 | 20974 $^{ns}$ | 7143 ns | 123 $^{ns}$ | 6511 $^{ns}$ | 49438 ns | 8319 $^{ns}$ |
| خطا ۲(E2) | 48 | 182540 | 129157778 | 19373 | 2645453 | 64176480 | 454184820 |
| C.V٪ | | 16.7 | 17.5 | 14.8 | 18.5 | 14.5 | 16.2 |

**و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی‌داری ندارند.

** and *: Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant

مقایسه میانگین‌ها با آزمون توکی نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد با عملکرد دانه برابر با ۶۰۷۲ کیلوگرم در هکتار (۱۲/۹ درصد افزایش نسبت به شاهد) تیمار برتر بود (جدول ۴). همچنین تیمارهای کاربرد تنهای فولویک اسید، اسید آمینه، ازتوباکتر و هیومیک اسید نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند. به طوری که به ترتیب ۹/۰۴، ۸/۱۷، ۷/۲۹ و ۴/۵۵ درصد افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل گردید (جدول ۴). عملکرد زیستی گندم با کاربرد توأم مواد زیستی محرک رشد به ۱۵۰۶۷ کیلوگرم در هکتار رسید که نسبت به شاهد در گروه آماری برتر قرار گرفته و ۸/۲۶ درصد افزایش عملکرد زیستی نشان داد. همچنین تیمارهای کاربرد تنهای اسید آمینه و فولویک اسید نسبت به شاهد در گروه آماری بالاتری قرار گرفتند. به طوری که به ترتیب ۶/۹۹ و ۶/۹۵ درصد افزایش عملکرد دانه در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل گردید (جدول ۴). همچنین کاربرد اسید آمینه و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با شاخص برداشت ۰/۴۰۶ و ۰/۴۰۳ (۷/۸۸ و ۷/۲۰ درصد افزایش نسبت به شاهد) تیمارهای برتر بودند (جدول ۴). در مورد وزن هزار دانه گندم، تیمار کاربرد توأم مواد محرک رشد با وزن هزار دانه ۴۲/۱ گرم (۱۰/۸ درصد افزایش نسبت به شاهد) در گروه آماری برتر قرار گرفت. تیمارهای مصرف فولویک اسید، اسید آمینه و تلقیح ازتوباکتر به ترتیب با وزن هزار دلنه ۴۱/۱، ۴۰/۹ و ۴۰/۵ گرم نیز بالاتر از شاهد قرار گرفتند (جدول ۴). همچنین تعداد دانه در سنبله با کاربرد توأم مواد محرک رشد به ۴۰/۷ رسید که نسبت به عدم کاربرد مواد زیستی (با ۱۵ درصد افزایش) در گروه آماری برتر قرار گرفت (جدول ۴).

**جدول ۴- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر عملکرد دانه، عملکرد زیستی و اجزای عملکرد گندم**

**Table 4- The effect of biostimulants application on grain yield, biological yield and yield components of wheat**

| مواد محرک رشد<br>Biostimulants | عملکرد دانه<br>Grain yield | عملکرد زیستی<br>Biological yield (kg ha$^{-1}$) | شاخص برداشت<br>Harvest index | وزن هزار دانه<br>Thousand grain weight (g) | تعداد دانه در سنبله<br>No. grain/spike | تعداد سنبله در متر مربع<br>No. spike/m$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| شاهد<br>Control | 5378c | 13823c | 0.374b | 38.0c | 35.4b | 382b |
| اسید آمینه<br>Amino acid | 5639ab | 14863ab | 0.406a | 40.9 ab | 39.2ab | 414ab |
| هیومیک اسید<br>Humic acid | 5435bc | 14107bc | 0.385ab | 39.4bc | 37.5ab | 418ab |
| فولویک اسید<br>Fulvic acid | 5693ab | 14856ab | 0.383ab | 41.1ab | 38.7ab | 415ab |
| جلبک دریایی<br>Seaweed | 5425bc | 13720c | 0.395ab | 39.1bc | 38.3ab | 409ab |
| ازتوباکتر<br>Azotobacter | 5585b | 14341abc | 0.389ab | 40.5ab | 38.9ab | 416ab |
| مصرف توأم مواد محرک رشد<br>Combined application of biostimulants | 5872a | 15067a | 0.403a | 40.1a | 40.7a | 423a |

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵٪ می‌باشد

The same letter/letters in each column are not significantly different at $p<0.05$

تیمارهای کاربرد اسید آمینه، ازتوباکتر، فولویک اسید، جلبک دریایی و هیومیک اسید به ترتیب با تعداد دانه در سنبله ۳۹/۲، ۳۸/۹، ۳۸/۷ ، ۳۸/۳ و ۳۷/۵ نیز بالاتر از شاهد قرار گرفتند به طوری که به ترتیب ۱۰/۷، ۹/۸۹، ۹/۳۲ ، ۸/۱۹ و ۵/۶۰ درصد افزایش تعداد دانه در سنبله در این تیمارها نسبت به شاهد حاصل شد (جدول ۴). در برهمکنش تنش خشکی و کاربرد مواد محرک رشد، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار آبیاری بعداز ۷۰ میلی‌متر تبخیر از تشتک کلاس A همراه با

کاربرد توأم مواد محرک رشد (با ۷۲۸۷ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۵). به نظر می‌رسد که به دلیل کاهش تنش و افزایش آب در دسترس، طول دوره زایشی و مقدار فتوسنتز افزایش می‌یابد که منجر به تشکیل گل‌های بیشتر در هر گل آذین شده، همچنین طولانی تر شدن دوره پر شدن دانه در اثر کاهش تنش، باعث اثر بر اندازه و وزن دانه و در نهایت بر عملکرد دانه می‌گردد. فولویک اسید باعث بهبود اجزای عملکرد و در نتیجه افزایش عملکرد گندم در مصر گردید (Kandi and Gharib, 2019). یکی از مزیت‌های جلبک به عنوان محرک رشد گیاهی، کاهش اختلالات فیزیولوژیکی ناشی از کمبود عناصر غذایی است که برای نمونه می‌توان به افزایش دانه در گیاه اشاره کرد (Naderi *et al.*, 2002). برخی از تنظیم کننده های رشد، تحمل به تنش‌های محیطی را افزایش می‌دهد. این تنظیم کننده های رشد در عصاره جلبک و هیومیک اسید وجود داشته و باعث افزایش عملکرد گیاه می‌شوند (Mona *et al.*, 2017). کاربرد اسیدهای آمینه، محتوای کربوهیدرات‌های کل و قندهای محلول را کاهش می دهد (Talaat *et al.*, 2025). فولویک اسید نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و میزان نسبی آب[1] در برگ را افزایش داده و نفوذپذیری غشاء سلولی، میزان تعرق و کمبود اشباع آب[2] در کلزا را کاهش عملکرد دانه و زیستی را افزایش داد که نشان دهنده افزایش تحمل به خشکی گیاه با کاربرد فولویک اسید بود (El-Boray *et al.*, 2015). تحمل به خشکی در گندم با کاربرد عصاره جلبک دریایی و فولویک اسید افزایش یافت به گونه ای که کشش روزنه ها را تحت شرایط خشکی کاهش و در شرایط نرمال نسبت به شاهد افزایش داد هم چنین موجب کاهش باز بودن روزنه های گیاه و کاهش تبخیر و تعرق آب و افزایش مقاومت به خشکی گیاه شد (Kandi and Gharib, 2019).

**جدول ۵- تأثیر برهمکنش تنش خشکی و کاربرد مواد محرک رشد بر عملکرد دانه و زیستی گندم (کیلوگرم بر هکتار)**

**Table 5- The effect of drought stress and biostimulants interaction on grain and biological yield of wheat (kg ha$^{-1}$)**

| آبیاری<br>Irrigation | شاهد<br>Control | اسید آمینه<br>Amino acid | هیومیک اسید<br>Humic acid | فولویک اسید<br>Fulvic acid | جلبک دریایی<br>Seaweed | ازتوباکتر<br>Azotobacter | کاربرد توأم مواد محرک رشد<br>Combined biostimulants |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | عملکرد دانه<br>Grain yield | | | | | | |
| آبیاری بعداز ۷۰ میلیمتر تبخیر<br>Irrigation after 70mm evaporation | 6442ab | 6870ab | 6555ab | 6826ab | 6548ab | 6733ab | 7287a |
| آبیاری بعداز ۱۴۰ میلیمتر تبخیر<br>Irrigation after 140mm evaporation | 3915c | 4408bc | 4315bc | 4460bc | 4301bc | 4338bc | 4557b |
| | عملکرد زیستی<br>Biological yield | | | | | | |
| آبیاری بعداز ۷۰ میلیمتر تبخیر<br>Irrigation after 70mm evaporation | 15911ab | 15946ab | 15837ab | 16584ab | 15175ab | 16146ab | 17047a |
| آبیاری بعداز ۱۴۰ میلیمتر تبخیر<br>Irrigation after 140mm evaporation | 11735c | 12780bc | 12376bc | 13129bc | 12265bc | 12537bc | 13088b |

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها در سطح ۵٪ می‌باشد

The same letter/letters in each column are not significantly different at $p<0.05$

## غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه و کاه

اثر اصلی کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن و پتاسیم در دانه و کاه در سطح پنج درصد معنی‌دار و بر غلظت فسفر دانه و کاه معنی‌دار نبود (جدول ۶). آزمون توکی نشان داد که مایه زنی باکتری ازتوباکتر و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با غلظت ۲/۳۸ و ۲/۳۲ درصد، بیشترین غلظت نیتروژن را حاصل کردند (شکل ۱). در تیمارهای دیگر

[1] Relative water content

[2] Water saturation deficit

تفاوت‌های معنی‌داری با شاهد بدست نیامد. غلظت نیتروژن در کاه، با کاربرد توأم مواد محرک رشد و همچنین در تیمار مایه زنی باکتری ازتوباکتر توانست افزایش معنی‌داری نسبت به شاهد (به ترتیب ۲/۳۹ و ۲/۳۱ درصد) نشان دهد (شکل ۱). بیشترین غلظت فسفر در دانه با کاربرد توأم مواد محرک رشد، کاربرد تنهای فولویک اسید و کاربرد تنهای اسید آمینه به ترتیب با غلظت‌های ۰/۲۲۷، ۰/۲۲۵ و ۰/۲۲۳ درصد بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت پتاسیم در کاه با کاربرد توأم مواد محرک رشد با غلظت ۰/۱۳۶ درصد بدست آمد (شکل ۲). بیشترین غلظت پتاسیم در دانه با کاربرد توأم مواد محرک رشد و کاربرد تنهای فولویک اسید به ترتیب با غلظت‌های ۰/۶۳۳ و ۰/۵۹۳ درصد بدست آمد. همچنین بیشترین غلظت پتاسیم در کاه با کاربرد تنهای فولویک اسید و کاربرد توأم مواد محرک رشد به ترتیب با غلظت‌های ۲/۴۱ و ۲/۳۹ درصد حاصل شد. در تیمارهای دیگر تفاوت‌های معنی‌داری با شاهد بدست نیامد (شکل ۳). همسو با پژوهش حاضر، محققان نشان دادند که کاربرد اسید هیومیک باعث افزایش جذب نیتروژن و سایر مواد غذایی تا ۳۰ درصد در گندم می شود (El-Hashash *et al.*, 2022). مواد محرک رشد باعث افزایش غلظت فسفر و پتاسیم در گیاه می گردد (Shukla and Prithiviraj, 2021). همچنین تغییرات دینامیک نیتروژن در اثر کاربرد عصاره جلبک دریایی گزارش شده است (Li *et al.*, 2023).

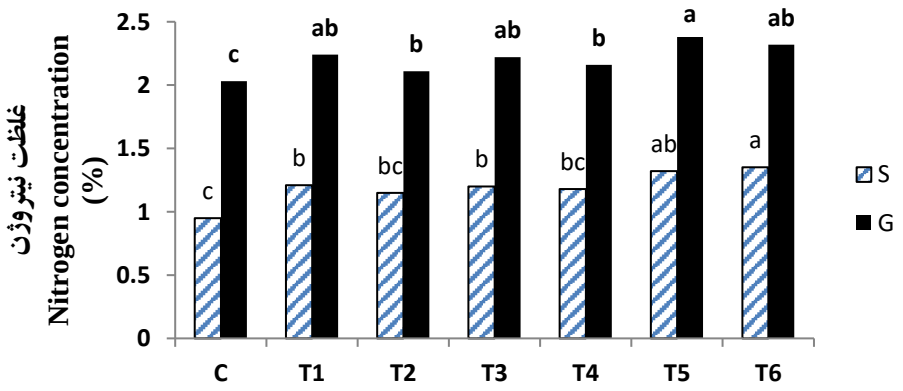
**جدول ۶- خلاصه نتایج تجزیه واریانس غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم در دانه و کاه گندم**

**Table 6- Results of variance analysis of nitrogen, phosphorus and potassium in grain and straw of wheat**

| منابع تغییرات S.V. | درجه آزادی df | نیتروژن دانه Grain N | نیتروژن کاه Straw N | فسفر دانه Grain P | فسفر کاه Straw P | پتاسیم دانه Grain K | پتاسیم کاه Straw K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سال (Y) | 1 | 0.05 ns | 0.004 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.005 ns |
| تکرار (سال)R(Y) | 4 | 0.05 ns | 0.006 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.003 ns |
| آبیاری(Ir) | 1 | 0.026 * | 0.001 * | 0.008 * | 0.01 * | 0.009 * | 0.005 ns |
| سال×آبیاری(Y×Ir) | 1 | 0.05 ns | 0.004 ns | 0.01 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.004 ns |
| خطای ۱(E1) | 4 | 0.054 | 0.017 | 0.001 | 0.001 | 0.001 ns | 0.006 ns |
| کود(F) | 6 | 0.018 * | 0.01 * | 0.02 * | 0.06 * | 0.008 * | 0.005 ns |
| سال×کود(Y×F) | 6 | 0.05 ns | 0.004 ns | 0.001 ns | 0.005 ns | 0.007 ns | 0.007 ns |
| آبیاری×کود(Ir×F) | 6 | 0.02 ns | 0.007 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.005 ns |
| سال×آبیاری×کود Y×Ir×F | 6 | 0.05 ns | 0.004 ns | 0.001 ns | 0.001 ns | 0.004 ns | 0.005 ns |
| خطا ۲(E2) | 48 | 0.029 | 0.009 | 0.001 | 0.0001 | 0.002 | 0.004 |
| C.V٪ | | 14.3 | 17.5 | 14.8 | 18.5 | 14.5 | 16.2 |

**و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی‌داری ندارند.

** and *: Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant

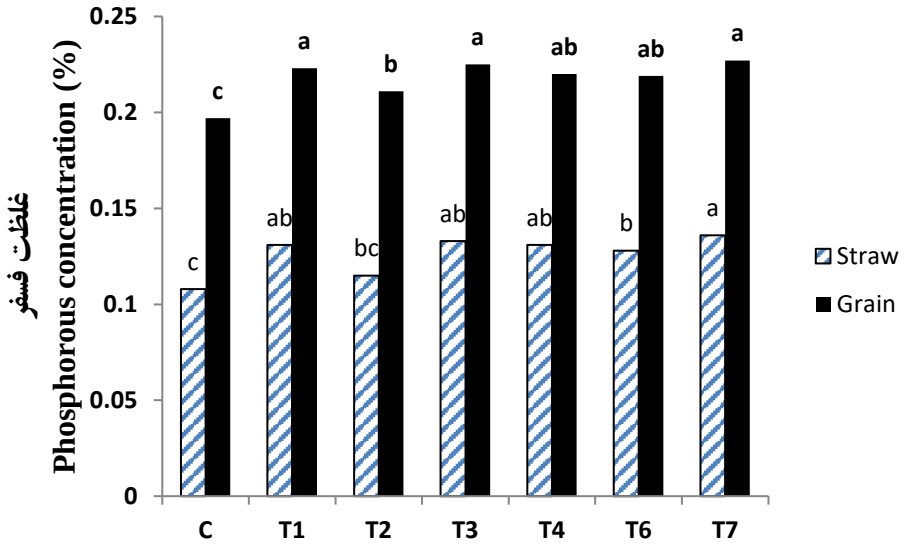



**شکل ۱- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن دانه و کاه گندم (درصد)**

**Figure 1- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen in grain and straw of wheat (%)**

S: کاه، G: دانه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد

S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants

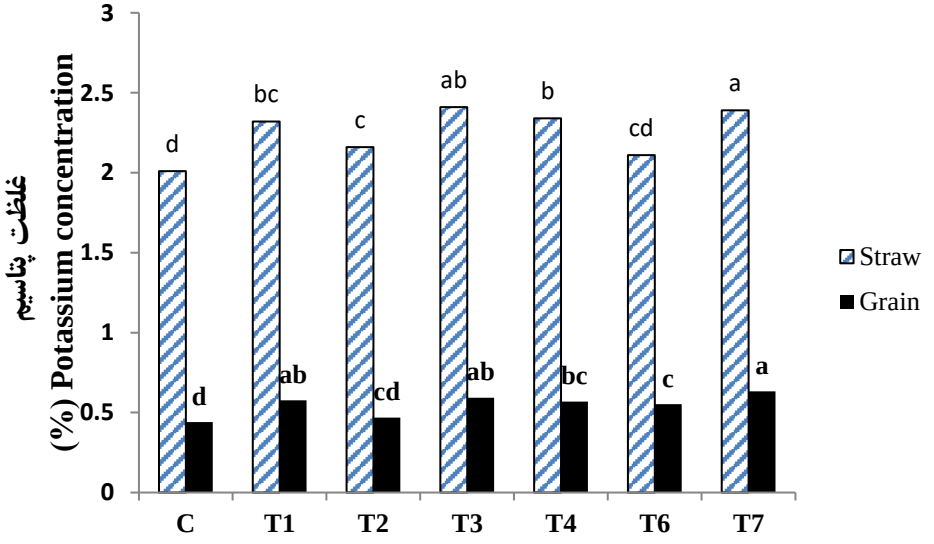



**شکل ۲- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم دانه گندم (درصد)**

**Figure 2- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in grain of wheat (%)**

کاه، G: دانه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد

S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants




**شکل ۳- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت نیتروژن، فسفر و پتاسیم گندم (درصد)**

**Figure 3- The effect of biostimulants on concentration of nitrogen, phosphorus and potassium in wheat (%)**

کاه، G: دانه، C: شاهد، T1: اسید آمینه، T2: هیومیک اسید، T3: فولویک اسید، T4: جلبک دریایی، T5: ازتوباکتر، T6: کاربرد توأم مواد محرک رشد

S: Straw, G: Grain, C: Control, T1: Amino acid, T2: Humic acid, T3: Fulvic acid, T4: Seaweed, T5: Azotobacter, T6: Combined application of biostimulants

## غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه و کاه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشـان داد که اثر اصـلی تنش خشـکی بر غلظت روی و مس دانه و کاه در سـطح پنج درصـد معنی‌دار و بر غلظت آهن و منگنز دانه و کاه بدون اثر معنی‌دار بود (جدول ۷). غلظت روی دانه در شـرایط تنش خشـکی (۲۳/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کاهش ۱۹/۸ درصـدی نسـبت به شـاهد (۲۹/۰ میلی‌گرم در کیلوگرم) نشـان داد و این کاهش در غلظت مس دانه معادل ۱۹/۱ درصد بود (جدول ۶).

غلظت روی کاه در شرایط تنش خشکی (۱۶/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)، کاهش ۱۸/۹ درصـدی نسـبت به شـاهد (۲۰/۱

میلی‌گرم در کیلوگرم) نشـــان داد و در غلظت مس کاه معادل ۱۲/۸ درصـد کاهش بود و مشـخص شـد که تنش خشـکی اثر کاهشـی بیشـتری بر غلظت روی و مس در کاه نسـبت به دانه گندم داشت (جدول ۸).

**جدول ۷- خلاصه نتایج تجزیه واریانس غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه و کاه گندم**

**Table 7- Results of variance analysis of zinc, iron, manganese and cooper concentration in grain and straw of wheat**

| منابع تغییرات | درجه آزادی | روی دانه | روی کاه | آهن دانه | آهن کاه | منگنز دانه | منگنز کاه | مس دانه | مس کاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S.V | Df | Grain Zn | Straw Zn | Grain Fe | Straw Fe | Grain Mn | Straw Mn | Grain Cu | Straw Cu |
| سال (Y) | 1 | 2.60 ns | 0.40 ns | 2.05 ns | 1.55 ns | 2.18 ns | 1.55 ns | 0.04 ns | 0.008 ns |
| تکرار (سال) R(Y) | 4 | 2.59 ns | 0.62 ns | 2.67 ns | 8.37 ns | 2.38 ns | 7.52 ns | 0.06 ns | 0.005 ns |
| آبیاری(Ir) | 1 | 87.6 * | 45.5 * | 660 * | 117.5 * | 660 * | 731 * | 19.5 * | 126.5 * |
| سال×آبیاری Y×Ir | 1 | 2.56 ns | 0.46 ns | 2.55 ns | 2.26 ns | 2.65 ns | 8.55 ns | 0.046 ns | 0.085 ns |
| خطای ۱(E1) | 4 | 6.81 | 2.91 | 32.9 | 48.4 | 12.9 | 7.82 ns | 2.01 | 0.01 |
| کود(F) | 6 | 18.0 * | 65.4 * | 246 * | 27.2 * | 246 * | 341 * | 5.34 * | 3.38 * |
| سال×کود(Y×F) | 6 | 1.52 ns | 0.72 ns | 1.35 ns | 2.40 ns | 5.65 ns | 1.58 ns | 0.092 ns | 0.0074 ns |
| آبیاری×کود(Ir×F) | 6 | 1.27 ns | 0.42 ns | 2.75 ns | 2.62 ns | 9.75 ns | 2.59 ns | 0.012 ns | 0.002 ns |
| سال×آبیاری×کود Y×Ir×F | 6 | 1.42 ns | 0.74 ns | 1.82 ns | 5.60 ns | 2.42 ns | 7.41 * | 0.091 ns | 0.001 ns |
| خطا ۲(E2) | 48 | 3.69 | 1.28 | 17.9 | 28.2 | 7.96 | 6.58 | 1.01 | 0.132 |
| C.V٪ | | 18.1 | 13.8 | 14.8 | 18.4 | 14.3 | 16.8 | 16.7 | 15.9 |

**و * : به ترتیب اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و ۵٪ دارند ns: اختلاف معنی‌داری ندارند.

** and *: Significant differences at 1% and 5%, respectively, ns: Not significant

**جدول ۸- تأثیر تنش خشکی بر غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه گندم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)**

**Table 9- The effect of drought stress on concentration of Zn, Fe, Mn and Cu in grain of wheat (mg kg$^{-1}$)**

| آبیاری | روی Zn | | آهن Fe | | منگنز Mn | | مس Cu | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Irrigation | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw |
| آبیاری بعداز ۷۰ میلیمتر تبخیر (Irrigation after 70mm evaporation) | 28.8a | 20.1a | 61.8a | 63.3a | 36.1a | 33.1a | 3.72a | 4.07a |
| آبیاری بعداز ۱۴۰ میلیمتر تبخیر (Irrigation after 140mm evaporation) | 23.1b | 16.3b | 58.4a | 59.6a | 35.7a | 34.4a | 3.01b | 3.55b |

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

The same letter/letters in each column are not significantly different

اثر اصـلی کاربرد مواد زیسـتی محرک رشـد بر غلظت آهن و مس در دانه و کاه در سطح پنج درصد معنی‌دار و بر غلظت روی و منگنز دانه و کاه بدون تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۷). آزمون توکی نشان داد که کاربرد توأم مواد محرک رشد و فولویک اسید بـه ترتیـب بـا غلظـت ۶۳/۵ و ۶۲/۹ میلی گرم در کیلوگرم، بیشـــترین غلظت آهن را در دانه بدســـت دادند (جدول ۹). در تیمارهای کاربرد اسید آمینه، مایه زنی ازتوباکتر و جلبک دریایی تفاوت‌های معنی‌داری با شـاهد نشـان دادند (جدول ۹). غلظت آهن در کاه، با مصرف توأم مواد محرک رشد بیشترین مقدار بود و نسـبت به شـاهد افزایش معنی‌داری نشـان داد (جدول ۹). بیشـترین غلظت مس در دانه با مصرف توأم مواد محرک رشـد و کاربرد فولویک اسـید به ترتیب در غلظت‌های ۴/۰۴ و ۴/۰۲ میلی گرم در کیلوگرم و در کاه با کاربرد فولویک اسید در غلظت ۴/۲۹ میلی گرم در کیلوگرم بدسـت آمد (جدول ۹). عصـاره

حاصـــل از جلبک‌ها به عنوان محرک رشـــد در گیاهان باعث افزایش کلروفیل و فتوســـنتز در برگ ها و گســـترش ریشـــه می‌گردند که افزایش جذب عناصـــر غذایی را به همراه دارد (Gharib *et al.*, 2024). فولویک اســـید باعث کاهش اثرات خشـکی بر گیاه شـده و در ترکیب با عناصـر کم مصـرف قابلیت قابلیت انتقال و جذب این عناصـر را افزایش می‌دهد ( Yang *et al.*, 2019).

مواد هیومیکی موجود در خـاک رشـــد گیـاهـان را بطور مستقیم و غیر مستقیم تحت تأثیر قرار می‌دهد. هیومیک اسید به روش‌های مختلفی می تواند تأثیر مثبتی روی رشـــد گیاه داشـته باشـد. هیومیک اسـید باعث افزایش جذب عناصـری مانند نیتروژن و فسفر می‌شوند.

**جدول ۹- تأثیر کاربرد مواد زیستی محرک رشد بر غلظت روی، آهن، منگنز و مس در دانه گندم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)**

**Table 9- The effect of biostimulants application on concentration of Zn, Fe, Mn and Cu in grain of wheat (mg kg$^{-1}$)**

| مواد محرک رشد Biostimulants | روی Zn | | آهن Fe | | منگنز Mn | | مس Cu | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw | دانه Grain | کاه Straw |
| شاهد Control | 23.5a | 15.2a | 54.9c | 55.9c | 35.1a | 32.0a | 3.27b | 3.61c |
| اسید آمینه Amino acid | 26.5a | 17.9a | 62.0ab | 63.8a | 36.2a | 32.8a | 3.63ab | 4.09ab |
| هیومیک اسید Humic acid | 23.3a | 16.0a | 59.8bc | 61.0bc | 35.2a | 32.4a | 3.24b | 3.71bc |
| فولویک اسید Fulvic acid | 24.3a | 16.6a | 62.9a | 63.1ab | 36.7a | 33.8a | 4.04a | 4.29a |
| جلبک دریایی Seaweed | 25.1a | 17.3a | 61.7ab | 61.9b | 34.2a | 33.6a | 3.59b | 3.96b |
| ازتوباکتر Azotobacter | 24.4a | 18.1a | 60.4b | 62.8ab | 35.1a | 34.2 | 3.80ab | 4.09ab |
| مصرف توأم مواد محرک رشد Combined application of stimulants | 27.5a | 18.7a | 63.5a | 64.9a | 37.7a | 34.4a | 4.02a | 4.22ab |

حرف یا حروف مشابه در هر ستون نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین میانگین‌ها می‌باشد.

The same letter/letters in each column are not significantly different

## نتیجه‌گیری کلی

بر اسـاس نتایج این تحقیق، کاربرد توأم مواد محرک رشـد، برخی از ویژگی‌هـای کمی و کیفی گنـدم را در شـــرایط تنش خشـــکی تحت تأثیر خود قرار داد. بطوری‌که کاربرد جداگانه هر یک از مواد مذکور نیز باعث افزایش تعداد دانه در خوشـــه، وزن هزار دانه و تعداد دانه در واحد ســطح گردید. در شـــرایط بدون تنش خشـــکی، کاربرد اســـید آمینه و در شـــرایط دارای تنش خشـکی، کاربرد فولویک اسـید اثر بیشـتری بر عملکرد، اجزای عملکرد و غلظت عناصر غذایی داشت. در شرایط تنش خشکی، در بین اجزای عملکرد، تعداد دانه در سـنبله بیشـترین اثر را از کاربرد فولویک اســید پذیرفت. باکتری محرک رشـــد نیز باعث افزایش تحمل گیاه گندم نسـبت به تنش خشـکی گردید اما با انتخاب باکتری با تحمل بیشـتر نسـبت به تنش خشـکی می‌توان انتظار عملکرد بهتری داشت.

با مروری بر منابع مشـاهده گردید که اثر مفید مواد محرک رشـد به عنوان یک عامل القاء کننده تحمل به تنش خشـکی در گیاه در شـــرایط تنش بیشـــتر خود را نشـــان می‌دهد. در این پژوهش، مشـخص شـد که در شـرایط عدم تنش خشـکی، در ویژگی‌های عملکرد و اجزای عملکرد، بین کاربرد و عدم کاربرد مواد محرک رشـــد، تفاوت‌ها کمتر بوده و اغلب غیر معنی‌دار بودند. بنابراین، به طور کلی کاربرد مواد محرک رشـد نسـبت به تیمار شـاهد باعث بهبود اجزای عملکرد و تغییر غلظت عناصـر

غذایی در بذر و کاه گندم شد. در شرایط کم آبی، جذب عناصر غذایی کاهش یافت و مصرف مواد محرک رشد توانست بر روند جذب عناصر غذایی اثر مثبتی داشته و اثرات منفی کم آبی را کاهش داد. در شرایط بدون تنش خشکی، مصرف اسید آمینه و در شرایط تنش خشکی، کاربرد فولیک اسید بهترین عملکرد را داشتند.

## References


Anderson, M.C., Zolin, C.A., Sentelhas, P.C., Hain, C.R., Semens, K., Yilmaz, M.T., Gao, F., Otkin, J.A. and Tetrault, R., 2016. The Evaporative stress index as an indicator of agricultural drought in Brazil: An assessment based on crop yield impacts. *Remote Sensing of Environment*, *174*(2), pp.82-99. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.034

El-Boray, M.S., Mostafa, M.F., Shaltout, A.D. and Hassan, K.H., 2015. Influence of fulvic acid plus some microelements and microorganisms on yield quality characteristics of superior seedless grapevines. *Journal of Plant Production*, *6*(1), pp.287-305. https://doi.org/10.21608/jpp.2015.49320

El-Hashash, E.F., Abou El-Enin, M.M., Abd El-Mageed, T.A., Attia, M.A.E.H., El-Saadony, M.T., El-Tarabily, K.A. and Shaaban, A., 2022. Bread wheat productivity in response to humic acid supply and supplementary irrigation mode in three Northwestern coastal sites of Egypt. *Agronomy*, *12*(1), 1499. https://doi.org/10.3390/agronomy12071499

Elrys, A.S., Abdo, A.I., Abdel-Hamed, E.M. and Desoky, E.S.M. 2020. Integrative application of licorice root extract or lipoic acid with fulvic acid improves wheat production and defenses under salt stress conditions. *Ecotoxicity and Environmental Safety*, *190*(2), pp.110-119. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.110144

Gharib, F.A.E.L., Osama, K., Sattar, A.M.A.E. and Ahmed, E.Z. 2024. Impact of *Chlorella vulgaris*, *Nannochloropsis salina*, and *Arthrospira platensis* as bio-stimulants on common bean plant growth, yield and antioxidant capacity. *Scientific Reports*, 14(3), 1398. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843

Grammenou, A., Petropoulos, S.A., Thalassinos, G., Rinklebe, J., Shaheen, S.M. and Antoniadis, V., 2023. Biostimulants in the Soil–Plant Interface: Agro-environmental Implications -A Review. *Earth Systems and Environment*, *7*(1), pp.583-600. https://doi.org/10.1007/s41748-023-00349-x

Hortin, J.M., Anderson, A.J., Britt, D.W., Jacobson, A.R. and McLean, J.E., 2019. Soil-derived fulvic acid and root exudates, modified by soil bacteria, alter CuO nanoparticle-induced root stunting of wheat via Cu complexation. *Environmental Science: Nano*, *6*(1), pp.3638-3652. https://doi.org/10.1039/c9en00728h

Hussain, H.A., Men, S., Hussain, S., Chen, Y., Ali, S., Zhang, S., Zhang, K., Li, Y., Xu, Q., Liao, C. and Wang, L., 2019. Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. *Scientific Reports*, *9*(1), pp.1-12. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40362-7

Kandi, E.E. and Gharib, A.F., 2019. Response of wheat plants to seaweed extracts and fluvic acid under irrigation with drainage water. *Egyptian Academic Journal of Biological Science*, *10*(1), pp.35-44. http://doi.org/10.21608/eajbsh.2019.44518

Li, J., Ma, H., Ma, H., Lei, F., He, D., Huang, X., Yang, H. and Fan, G. 2023. Comprehensive effects of N reduction combined with biostimulants on N use efficiency and yield of the winter wheat–summer maize rotation system. *Agronomy*, *13*(4), 2319. https://doi.org/10.3390/agronomy13092319

Mia, M.S., Liu, H., Wang, X., Zhang, C. and Yan, G., 2020. Root transcriptome profiling of contrasting wheat genotypes provides an insight to their adaptive strategies to water deficit. *Scientific Report, 10*(1), pp.1-11. https://doi.org/10.1038/s41598-020-61680-1

Mohite, B., 2013. Isolation and characterization of indole acetic acid IAA producing bacteria from rhizospheric soil and its effect on plant growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 13*(3), pp.638-649. https://doi.org/10.4067/s0718-95162013005000051

Mona, I.N., Gawish, S.M., Taha, T.A. and Mubara, M., 2017. Response of wheat plants to application of selenium and humic acid under salt stress conditions. *Egyptian Journal of Soil Science, 57*(1), pp.175-187. https://doi.org/10.21608/ejss.2017.3715

Naderi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A. and Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biological and Biochemistry, 34*(3), pp.1527-1536. https://doi.org/10.1016/s0038-0717(02)00174-8

Puthur, J.T., 2016. Antioxidants and cellular antioxidation mechanism in plants. *South Indian Journal of Biological Science*, *21*(1), pp.9–13. https://doi.org/10.22205/sijbs/2016/v2/i1/100335

Shukla, P.S. and Prithiviraj, B., 2021. Ascophyllum nodosum biostimulant improves the growth of *Zea mays* grown under phosphorus impoverished conditions. *Frontiers in Plant Science, 11*(2), 601843. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.601843

Tadros, M.J., Omari, H.J. and Turk, M.A., 2019. The morphological, physiological and biochemical responses of sweet corn to foliar application of amino acids and biostimulants sprayed at three growth stages. *Australian Journal of Crop Science*, *13*(1), pp.412-417. https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.03.p1335

Talaat, N.B., Nesiem, M.R., Gadalla, E.G. and Ali, S.F., 2025. Putrescine, in combination with gibberellic acid and salicylic acid, improves date palm fruit quality via triggering protein and carbohydrate accumulation and enhancing mineral, amino acid, sugar, and phytohormone acquisition. *Journal of Plant Growth Regulation*, *44*(3), pp.1249-1265. http://doi.org/1007/s00344-023-11134-5

Yang, W., Li, P., Guo, S., Song, R. and Yu, J., 2019. Co-application of soil superabsorbent polymer and foliar fulvic acid to increase tolerance to water deficit maize: photosynthesis, water parameters, and proline. *Chilean Journal of Agricultural Research. 79*(3), pp.435-446. https://doi.org/10.4067/s0718-58392019000300435

Zhanassova, K., Kurmanbayeva, A., Gadilgereyeva, B., Yermukhambetova, R., Iksat, N., Amanbayeva, U., Bekturova, A., Tleukulova, Z., Omarov, R. and Masalimov, Z., 2021. ROS status and antioxidant enzyme activities in response to combined temperature and drought stresses in barley. *Acta Physiologiae Plantarum*, *43*(1), pp.1-12. https://doi.org/10.1007/s11738-021-03281-7