J. Crop Prod. Process. 2025, 15(3), 1-20; DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

Original Article

Studying the Effect of Humic Acid on Germination Indices and Photosynthetic Pigments in Rainfed Wheat Genotypes at the Seedling Stage in Relation to Grain Yield

Nasrin Ghamari Rahim[1], Adel Siosemardeh*[2], Ghader Mirzaghaderi[2] and Farzad Hosseinpanahi[3]

1, 2 and 3. Ph.D. Student, Professor and Associate Professor, respectively, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

Extended Abstract:

Introduction: Seed germination is a fundamental physiological process influencing crop establishment and yield potential. Environmental stresses such as drought, nutrient deficiency, and biotic factors often inhibit this critical stage. Humic substances, particularly humic acid (HA), have garnered significant attention due to their biostimulant properties, including enhancing nutrient uptake, photosynthetic capacity, and root architecture. While their effects have been demonstrated in various crops, there remains a knowledge gap regarding the response of rainfed wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes at the seedling stage to HA treatment. This study aims to explore the physiological and biochemical responses of twelve diverse wheat genotypes to HA application during germination and their potential relationship with field performance.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted using a completely randomized design with two factors: genotype (12 wheat genotypes) and germination environment (distilled water as control and humic acid solution). Seeds were surface sterilized and placed in petri dishes under controlled conditions. The HA solution concentration was standardized to ensure uniform exposure. After 8 days, various parameters were measured including germination percentage, root length, shoot length, fresh and dry weight of root and shoot, root-to-shoot ratio, allometric coefficient, seed vigor index, and photosynthetic pigment content (chlorophyll a, b, and total chlorophyll). Pigments were extracted in 80% acetone and quantified spectrophotometrically. To correlate laboratory indices with field performance, grain yield data from a four-year field trial under both rainfed and supplementary irrigation conditions were used. This allowed for evaluation of genotype × environment interactions and assessment of genotype stability under variable moisture availability.

Results and Discussion: Significant differences were observed among genotypes for all measured parameters, indicating substantial genetic variability. Humic acid application significantly increased germination percentage, shoot length, shoot fresh and dry weight, and chlorophyll content, suggesting improved seed vigor and early photosynthetic potential. Conversely, HA treatment reduced root length and root biomass in most genotypes, possibly due to altered hormonal balance or osmotic effects at high concentrations. These contrasting effects underscore the importance of genotype-specific responses to biostimulant treatments. Among the genotypes tested, 'Hashtrood' and 'Gavdareh' consistently exhibited superior performance under HA treatment, demonstrating high shoot vigor and pigment accumulation, and were identified as optimal candidates for humic acid utilization. In contrast, genotypes such as 'Ohadi' with a high root-to-shoot ratio performed better under stress, suggesting that this trait may contribute to enhanced water acquisition and survival under adverse conditions. Analysis of photosynthetic pigments revealed a significant increase in chlorophyll a and b levels following HA treatment, indicating improved light absorption efficiency and potential photosynthetic

Received: Feb. 18, 2025; Revised: Apr. 30, 2025; Accepted: May. 03, 2025; Published Online: Sep 03, 2025.
* Corresponding Author: a33@uok.ac.ir

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

Journal of Crop Production and Processing

Journal homepage: https://jcpp.iut.ac.ir/

capacity at the seedling stage. These physiological enhancements are critical for early seedling establishment, particularly in dryland systems where initial vigor determines competitive success. Despite observable changes in seedling morphology and physiology, correlation analysis between germination traits and final grain yield revealed no significant relationship. This suggests that while HA improves early-stage indicators, these improvements do not necessarily translate to higher yield under field conditions, likely due to complex genotype × environment interactions and subsequent growth-stage limitations.

Conclusion: The present study demonstrates that humic acid can positively influence early growth traits and photosynthetic pigment accumulation in rainfed wheat genotypes, though effects are genotype-dependent. The findings underscore the necessity of selecting suitable genotypes when employing HA in seed priming or early-stage treatments. While improvements in seedling vigor were evident, these did not directly correlate with grain yield, indicating that HA's impact is more pronounced in early physiological processes rather than final yield determination. This research highlights the potential of humic acid as a biostimulant to enhance specific physiological parameters during germination but also emphasizes the need for long-term field studies to validate its efficacy in improving agronomic performance. Understanding the genotype-specific responses to HA can inform breeding programs and agronomic practices aimed at improving wheat resilience and productivity under stress-prone environments.

Keywords: Allometric coefficient, Germination percentage, Seedling vigor index.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

How to Cite: Qamari Rahim N., Siosemardeh A., Mirzaghaderi Gh., Hosseinpanahi F. Studying the effect of humic acid on germination indices and photosynthetic pigments in rainfed wheat genotypes at the seedling stage in relation to grain yield. *J. Crop Prod. Process*. 2025, 15(3), 1-20. (*In Persian*). DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345.

Copyright © 2025 Isfahan University of Technology, Published by Isfahan University of Technology press. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی، ۱۴۰۴، دوره ۱۵، شماره ۳، صص. ۲۰-۱، DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345

نشریه تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی
صفحه خانگی نشریه: https://jcpp.iut.ac.ir/

مقاله پژوهشی

بررسی تأثیر اسید هیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های گندم دیم در مرحله گیاهچه‌ای در ارتباط با عملکرد دانه

نسرین قمری رحیم[۱]، عادل سی و سه‌مرده[۲*]، قادر میرزاقادری[۲] و فرزاد حسین پناهی[۳]

چکیده– جوانه‌زنی یکی از مراحل حساس در رشد گیاه است و تنوع ژنتیکی قابل‌ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌های گندم از لحاظ شاخص‌های مختلف جوانه‌زنی وجود دارد. این شاخص‌ها ممکن است تحت تأثیر اسید هیومیک خاک قرار گرفته و با عملکرد دانه مرتبط باشند. در این رابطه، مطالعه حاضر با هدف بررسی تأثیر اسید هیومیک بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و رنگدانه‌های فتوسنتزی ۱۲ ژنوتیپ گندم دیم انجام شد. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی شامل دو عامل ژنوتیپ و محیط جوانه‌زنی (آب مقطر به‌عنوان شاهد و محلول اسید هیومیک) طراحی شد. پس از گذشت ۸ روز، درصد جوانه‌زنی، طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه، ضریب آلومتریک، شاخص بنیه گیاهچه و محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی اندازه‌گیری شد. به منظور ارزیابی رابطه بین شاخص‌های جوانه‌زنی با عملکرد دانه، میزان عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها در یک آزمایش چهار ساله تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی بررسی شد. نتایج نشان داد که اسید هیومیک تأثیر مثبتی بر درصد جوانه‌زنی، میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی، طول و وزن تر و خشک ساقه‌چه داشت. با این حال، این تیمار اثر منفی بر طول و وزن تر و خشک ریشه‌چه نشان داد. واکنش ژنوتیپ‌ها به تیمار اسید هیومیک متفاوت بود. ژنوتیپ‌های هشترود و گاودره بهترین گزینه‌ها برای استفاده از اسید هیومیک شناسایی شدند. ژنوتیپ‌هایی با نسبت بالای ریشه‌چه به ساقه‌چه مانند اوحدی در شرایط تنش عملکرد بهتری داشتند. این پژوهش اهمیت انتخاب ژنوتیپ مناسب و شرایط تیماری را برای بهینه‌سازی شاخص‌های حیاتی بذر برجسته کرد و بر تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ به تیمارهای زیستی تأکید نمود، اما رابطه‌ای بین عملکرد ژنوتیپ‌های گندم با شاخص‌های جوانه‌زنی را نشان نداد.

واژه‌های کلیدی: درصد جوانه‌زنی، شاخص بنیه گیاهچه، ضریب آلومتریک، گیاهچه گندم.

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰، بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳، اولین انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲

۱، ۲ و ۳. به‌ترتیب دانشجوی دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی، استاد و دانشیار، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

*: نویسنده مسئول، رایانامه: a33@uok.ac.ir

حق انتشار این مستند، متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است. ۱۴۰۳ ©.

این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است:

Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

مقدمه

مواد هیومیک (Humic Substances, HSs) که به‌طور کلی به‌عنوان اسید هیومیک شناخته می‌شوند، شامل سه بخش اصلی هستند: اسید هیومیک (Humic Acid, HA)، اسید فولویک (Fulvic Acid, FA)و اسید اولمیک (Ulmic Acid, UA). این ترکیبات به‌عنوان یکی از دسته‌های مهم محرک‌های زیستی گیاهی محسوب می‌شوند و حاوی مواد معدنی متنوعی هستند که نقش کلیدی در تحریک رشد و افزایش بهره‌وری گیاه دارند. این ترکیبات مخزن کربن آلی هستند که از طریق تبدیل گسترده بیولوژیکی و شیمیایی بقایای موجودات زنده تولید می‌شوند (۹). در میان اجزای مختلف مواد هیومیک (HA)، اسید هیومیک (Humic Acid)به‌عنوان بخش اصلی با ساختار پیچیده‌تری شناخته می‌شود. این ساختار پیچیده باعث می‌شود اسید هیومیک به ترکیبی با وزن مولکولی بالا تبدیل شود که در برابر تخریب میکروبی در خاک مقاومت بیشتری نشان می‌دهد (۲ و ۱۵). اسید هیومیک به‌طور گسترده‌ای برای افزایش رشد و بهره‌وری گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. اثرات سودمند اسید هیومیک به گروه‌های عملکردی مختلف و ترکیبات شبه هورمون گیاهی محصور در ساختار درشت آن نسبت داده شده است. چندین مطالعه اثرات محرک زیستی اسید هیومیک را در بهبود رشد و نمو گیاهان گزارش کرده‌اند (۲٤، ٤۰، ٤۲ و ٤٦). فواید مستقیم کاربرد اسید هیومیک شامل تغییراتی در رشد و توسعه ریشه (۲۳)، بهبود کارایی مصرف مواد مغذی (٤۷)، تغییرات در متابولیسم گیاه (۸ و ۲۹)، افزایش عملکرد (۱۷ و ۳٦) و تحمل به تنش‌های زنده و غیر زنده (۵، ۱۰، ۱۱ و۱۳) است. سازوکارهای دقیق زیربنای این اثرات محرک رشد گیاه تا حد زیادی ناشناخته است و محدودیت‌ها از این واقعیت ناشی می‌شود که اسید هیومیک مخلوطی از ترکیبات ناهمگن است و ترکیبات شیمیایی آنها (گروه‌های عاملی آلیفاتیک و معطر) بسته به منبع، منشأ، شرایط محیطی و روش استخراج، استونسون (٤۱)؛ ریچای و پردو (۲۷) متفاوت است. با این حال، تا حدی، اثرات اسید هیومیک به اسیدهای آمینه و انواع گروه‌های عاملی مانند گروه‌های کربوکسی، هیدروکسی، کربونیل و فنلی نسبت داده شده است که از طریق پیوندهای هیدروژنی و برهمکنش‌های آبگریز ضعیف در ساختار اسید هیومیک تثبیت می‌شوند (۳، ۲۵ و ٤۵). این پیوندها به راحتی از طریق عمل اسیدهای آلی تراوش شده توسط ریشه‌ها مختل شده و چندین مولکول فعال زیستی کوچک آزاد می‌شوند که می‌تواند پاسخ‌های فیزیولوژیکی و مولکولی را تحریک کند و درنتیجه رشد گیاه بهبود پیدا می‌کند (۹، ۱۹، ٤۹ و ٤٦). لازم به ذکر است که بعضی محققین معتقدند که اثرات مثبت اسید هیومیک بر سلامت گیاه به‌دلیل وجود فیتوهورمون‌ها یا آنالوگ‌های آنها در ساختار اسید هیومیک یا به‌دلیل برنامه‌ریزی مجدد ژن‌های درگیر در مسیرهای مختلف رشد گیاه است (۲٤ و ٤۰). فیتوهورمون‌ها مولکول‌های آلی کوچکی هستند که در گیاهان تولید می‌شوند. این مولکول‌ها بسیاری از فرآیندهای گیاهان را از جوانه‌زنی تا پیری در غلظت‌های بسیار پایین تنظیم می‌کنند (۳۳). اکسین، اولین فیتوهورمون کشف شده، نقش مهمی در فرآیندهای مختلف رشد گیاه دارد (۳٦ و ٤۱). نشان داده شده است که اسیدهای هیومیک به‌عنوان فیتوهورمون و معمولاً به‌عنوان اکسین عمل می‌کنند (۱۹). با این حال، خواص شبه اکسین اسیدهای هیومیک برای مدت طولانی مورد بحث بوده است. شواهد موجود از چند مطالعه نشان می‌دهد که اسید هیومیک و ایندول استیک اسید که به‌طور برون‌زا به کار رفته پاسخ مشابهی را در گیاهان ایجاد کردند که از این ایده حمایت می‌کنند که اسید هیومیک به‌عنوان ترکیبات شبه اکسین عمل می‌کند. به‌عنوان مثال، ناردی و همکاران (۲۰) نشان دادند که وقتی ریزنمونه‌های برگ توتون با ایندول استیک اسید و هیومیک اسید تیمار شدند، رشد ریشه را تحریک کردند درحالی‌که تیمار استفاده از مهارکننده‌های ایندول استیک اسید (TIBA-2،3،5-تری یدوبنزوئیک اسید و PCIB-4-کلروفنوکسی-ایزوبوتیریک اسید) باعث تولید ریشه نشد. به‌طور مشابه، هنگامی که ریزنمونه‌های برگ توتون در معرض ایندول استیک اسید و هیومیک اسید قرار گرفتند، تولید آنزیم‌های نشانگر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

رشد گیاه، پراکسیداز و استراز در هر دو تیمار ایندول استیک اسید و هیومیک اسید مشابه بود (۱۸). این مطالعه نشان می‌دهد که اسید هیومیک رشد اندام هوایی و ریشه را با تحریک فعالیت‌های اکسین و سیتوکینین در گیاهچه‌های گندم تیمار شده بهبود می‌بخشد. تجزیه و تحلیل بیان ژن با مقایسه گیاهچه‌های شاهد و تیمار شده با هیومیک اسید، افزایش قابل‌توجهی در ژن‌های دخیل در مسیرهای ذاتی بیوسنتز اکسین و سیتوکینین را نشان داد. نتایج مطالعه راتور و همکاران (۲۶)، نشان دهنده سهم عمده‌ای در درک سازوکار مولکولی است که از طریق آن هیومیک اسید رشد گیاه را بهبود می‌بخشد. تحقیقات علمی متعددی تأثیرات مثبت اسید هیومیک را بر بهبود جوانه‌زنی بذر و قدرت حیاتی آن نشان داده‌اند که این موضوع نقش کلیدی در ارتقای کیفیت بذر و استقرار بهتر گیاهچه در مزرعه دارد (۹ و ۱۶). لذا این مطالعه با هدف بررسی تأثیر کاربرد اسید هیومیک بر شاخص‌های جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی بود. همچنین این مطالعه به‌دنبال ارزیابی ارتباط بین شاخص‌های اولیه رشد گیاهچه و عملکرد نهایی دانه در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در مزرعه بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در دو بخش آزمایشگاهی و مزرعه‌ای انجام شد. بخش آزمایشگاهی به‌منظور بررسی تأثیر اسید هیومیک بر برخی شاخص‌های جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی ژنوتیپ‌های گندم دیم در آزمایشگاه فیزیولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان انجام گرفت. تیمارهای آزمایش شامل الف: ۱۲ ژنوتیپ گندم دیم (زرگانا ۲۱، زرگانا ۲۲، واران، دانشگاه کردستان، اوحدی، هشترود، باران، M17، M18، آذر ۲، سرداری و گاورده) که از بانک بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان تهیه شده بود و ب: تیمار محیط رشد در دو سطح شامل شاهد (آب مقطر) و اسید هیومیک با غلظت ۵ گرم در لیتر بود. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و با ۳ تکرار انجام گرفت. به هر واحد آزمایشی دو پتری اختصاص یافت. در ابتدای آزمایش همه پتری‌ها با الکل ۷۰ درصد ضدعفونی شدند و داخل اتوکلاو قرار گرفتند. بذرها با استفاده از هیپوکلریت سدیم ۳ درصد به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی شدند و سپس ۶ مرتبه با آب مقطر سترون شسته شدند. در هر پتری ۲۰ عدد بذر روی کاغذ صافی قرار داده شد. جهت اعمال تیمارها به هر پتری به مقدار ۱۰ میلی‌لیتر از محلول مورد نظر (آب مقطر یا محلول حاوی اسید هیومیک) اضافه شد. پس از اعمال تیمارها، پتری‌ها در داخل ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرار گرفتند. پس از ۸ روز طول ریشه‌چه و ساقه‌چه اندازه‌گیری شد. وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه ثبت شد و در نهایت گیاهچه‌ها داخل آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و وزن خشک تعیین شد. برای اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، نمونه‌های مربوط به هر محیط کشت و ژنوتیپ به‌صورت جداگانه در پتری‌های اختصاصی با شرایط بالا کشت شدند و نمونه‌برداری جهت اندازه‌گیری محتوای کلروفیل، ۱۲ روز پس از کشت در پتری به روش آرنون و همکاران (۴) انجام شد. ضریب آلومتریک با استفاده از روش گزارش‌شده توسط کوچکی و سرمدنیا (۱۴) و شاخص بنیه گیاهچه با استفاده از روش گزارش‌شده توسط عبدل-باکی و اندرسون (۱) محاسبه شدند. شاخص‌های مورد بررسی به روش زیر محاسبه شد.

$$\text{درصد جوانه زنی} = \frac{\text{تعداد بذر جوانه زده}}{\text{تعداد کل بذر کشت شده}} \times 100$$

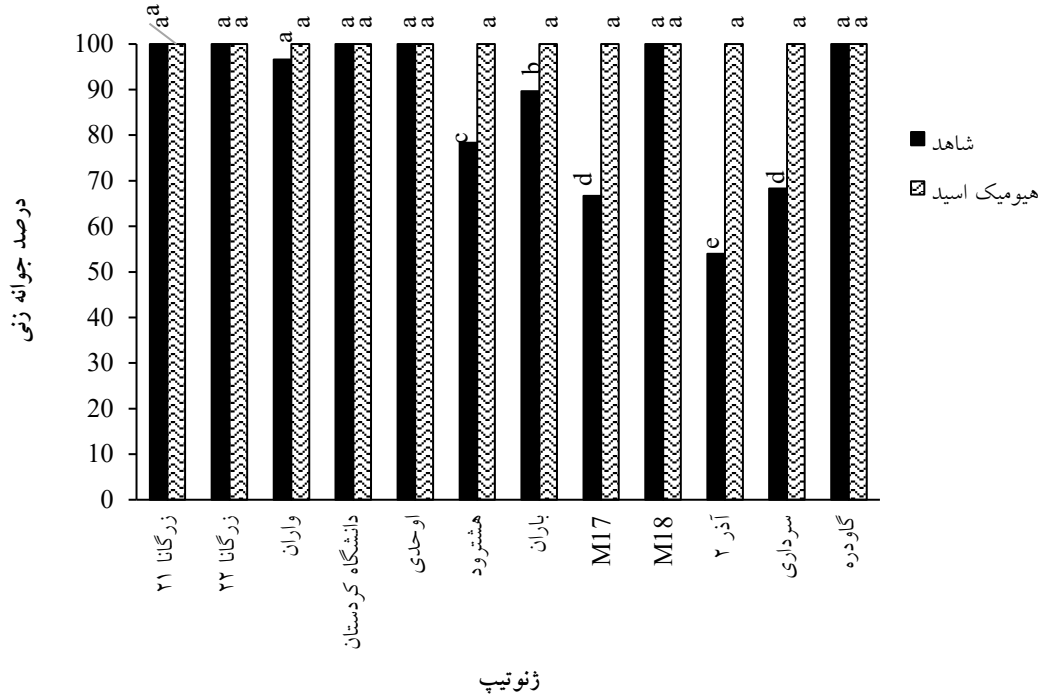
$$\text{ضریب آلومتریک} = \frac{\text{وزن خشک ساقه‌چه}}{\text{وزن خشک ریشه‌چه}}$$

$$\text{شاخص بنیه گیاهچه} = \frac{\text{درصد جوانه زنی} \times \text{میانگین طول گیاهچه}}{100}$$

برای بررسی تأثیر زمان بر جذب آب، ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمارهای شاهد (آب مقطر) و محلول اسید هیومیک،

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل ۱. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ بر درصد جوانه زنی

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

در فواصل زمانی ٦، ٨ و ٢٤ ساعت مورد سنجش میزان جذب آب قرار گرفتند. در بخش مزرعه‌ای به‌منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های جوانه‌زنی و عملکرد نهایی، عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم طی چهار سال زراعی (١٤٠٣–١٣٩٩) در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه کردستان (دهگلان) ارزیابی شد. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمار آبیاری شامل دو سطح (١- آبیاری تکمیلی در مراحل حساس رشد، ٢- شرایط دیم) به‌عنوان عامل اصلی و ١٢ ژنوتیپ گندم به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. عملکرد دانه برای هر ژنوتیپ در پایان هر سال برداشت شد و به منظور تحلیل، میانگین چهار ساله عملکرد دانه تحت هر دو شرایط دیم و آبیاری تکمیلی محاسبه و گزارش شد.

تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد و رسم نمودار در محیط Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

درصد جوانه‌زنی

براساس نتایج این آزمایش اثر محیط جوانه‌زنی، ژنوتیپ و برهم‌کنش آنها بر درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ١ درصد معنی‌دار بود (جدول ١). در ٦ ژنوتیپ از ١٢ ژنوتیپ مورد بررسی درصد جوانه‌زنی در هر دو تیمار شاهد و اسید هیومیک ١٠٠ درصد بود، در ٦ ژنوتیپ دیگر (هشترود،M17، واران، باران، آذر٢ و سرداری) درصد جوانه‌زنی در تیمار شاهد کمتر از ١٠٠ درصد بود، اما تحت تیمار اسید هیومیک میزان جوانه‌زنی در این ژنوتیپ‌ها نیز به ١٠٠ درصد رسید (شکل ١)، که نشان می‌دهد که اسید هیومیک تأثیر مثبتی در بهبود جوانه‌زنی داشته است. اسید هیومیک به‌دلیل وزن مولکولی کم، به سرعت توسط ریشه‌چه جذب می‌شود و باعث افزایش جذب مواد مغذی مانند نیتروژن و فسفر می‌شود، درنتیجه جوانه‌زنی گیاهان را تحریک می‌کند (٤٣). ژنوتیپ‌هایی مانند اوحدی، واران، زرگانا ٢١، زرگانا ٢٢ و دانشگاه کردستان درصد

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

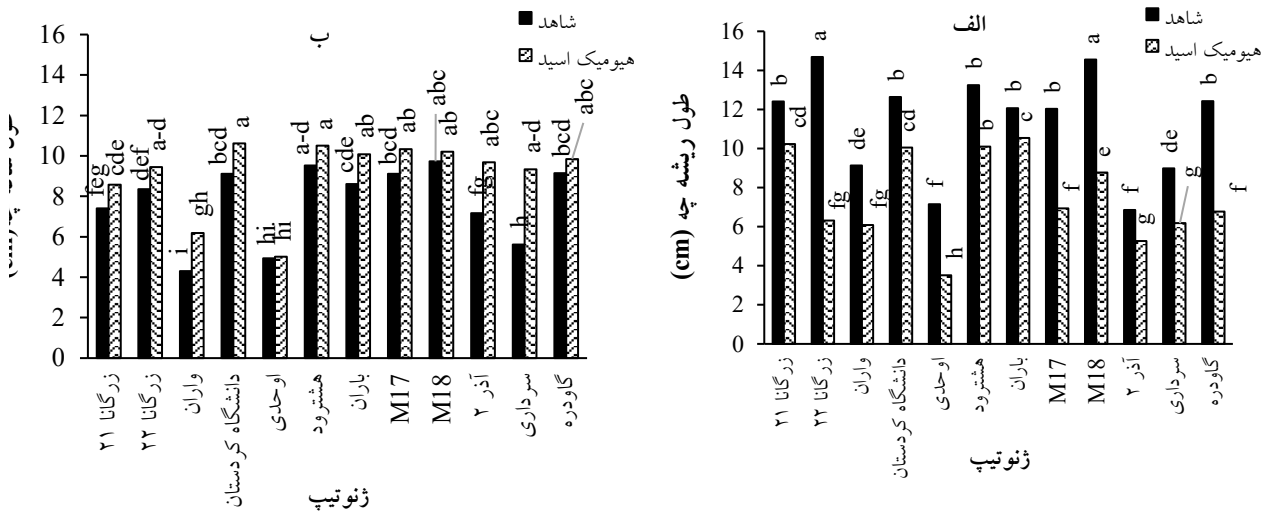
[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر محیط جوانه‌زنی، ژنوتیپ و برهمکنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ بر برخی صفات جوانه‌زنی و رنگیزه‌های فتوسنتزی در مرحله گیاهچه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات								
		درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن خشک گیاهچه	ضریب آلومتری	شاخص بنیه گیاهچه	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به وزن خشک ساقه‌چه
محیط جوانه‌زنی	۱	۲۶۷۷**	۲۲۴**	۴۳/۹*	۰/۰۰۰۰۷**	۰/۰۰۰۰۹**	۰/۰۰۰۰۵*	۴/۰۴**	۳/۶**	۰/۵۲**
ژنوتیپ	۱۱	۴۱۳/۵**	۳۱**	۱۸/۵**	۰/۰۰۰۰۲**	۰/۰۰۰۰۶**	۰/۰۰۰۱**	۰/۲**	۲۵/۹**	۰/۰۷**
محیط جوانه‌زنی×ژنوتیپ	۱۱	۴۱۳/۸**	۹/۳**	۱/۰۷*	۰/۰۰۰۰۰۸**	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۰۰۰۰۱ns	۰/۱۵**	۹/۰۰۸**	۰/۰۳
خطا	۴۸	۱۹/۵	۰/۵۸	۰/۵۱	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۲۷	۰/۵۵۳	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۷۰	۸/۱۲	۸/۴۲	۸	۱۳	۸/۵۱	۱۴	۸/۸۰	۱۴

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد



شکل ۲. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ روی الف: طول ریشه‌چه، ب: طول ساقه‌چه.

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

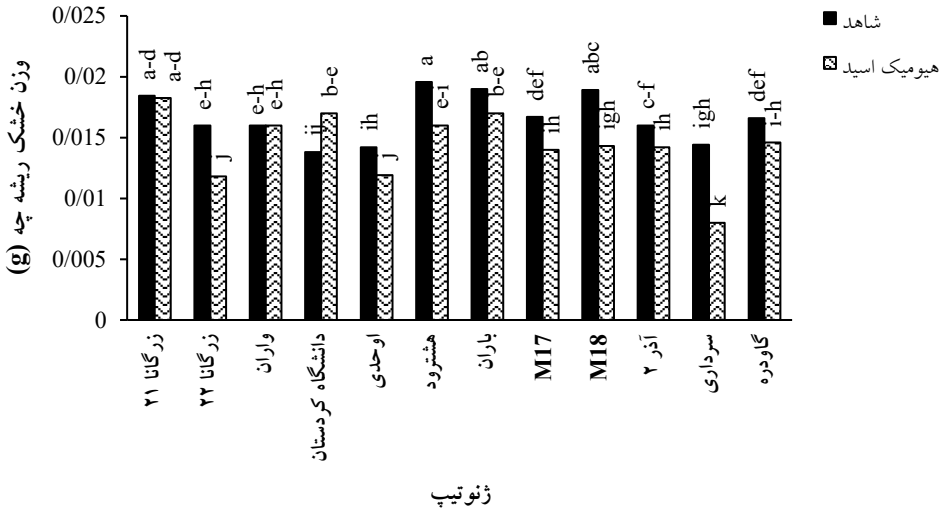
جوانه زنی بسیار بالایی (۱۰۰ درصد) را در هر دو شرایط نشان دادند (شکل ۱).

طول ریشه‌چه و ساقه‌چه:

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر محیط جوانه‌زنی، ژنوتیپ و همچنین برهم‌کنش آنها بر صفات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در سطح احتمال ۱درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). در تمامی ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر اسید هیومیک طول ریشه‌چه کاهش یافت. در تیمار شاهد متوسط طول ریشه‌چه ۱۱/۲ میلی‌متر و در تیمار اسید هیومیک ۷/۷ میلی‌متر بود و ۳۱ درصد تحت تأثیر اسید هیومیک طول ریشه‌چه کاهش یافت. در بین ژنوتیپ‌ها، زرگانا ۲۲ و M18 در تیمار شاهد بالاترین طول ریشه‌چه را به خود اختصاص دادند و کمترین میانگین طول ریشه‌چه در ژنوتیپ اوحدی با تیمار اسید هیومیک بدست آمد (شکل ۲ الف). کاهش طول ریشه‌چه در تیمار اسید هیومیک نسبت به شاهد ممکن است به‌دلیل ترکیب غنی عناصر موجود در اسید هیومیک باشد. اسید هیومیک با ظرفیت بالای تبادل کاتیونی و دارا بودن مواد معدنی و ترکیبات نیتروژنه مورد نیاز گیاه، دسترسی بهتر ریشه به این مواد مغذی را فراهم می‌کند. درنتیجه، نیاز گیاه به توسعه گسترده سامانه ریشه‌ای برای جذب مواد غذایی کاهش یافته و منابع انرژی گیاه به رشد و توسعه بیشتر ساقه‌چه هدایت می‌شود. این تغییر در تخصیص منابع ممکن است عاملی کلیدی در کاهش طول ریشه‌چه باشد. نیتروژن زیاد در خاک باعث کاهش رشد و کاهش توسعه ریشه‌ها می‌شود، زیرا گیاه نیازی به توسعه سامانه ریشه برای جذب نیتروژن ندارد. این پدیده به‌ویژه در ریشه‌های فرعی و جانبی مشاهده می‌شود (۴۸). همچنین غلظت بالای نیتروژن می‌تواند تعادل هورمون‌های گیاهی (مانند کاهش نسبت اکسین به سیتوکینین) را تغییر دهد که به نوبه خود رشد ریشه را محدود می‌کند (۲۲). به‌همین‌دلیل گیاهچه‌های جوانه زده در محیط حاوی اسید هیومیک نسبت به شاهد، طول ریشه‌چه کمتری دارند. در گزارش، رودریگس و همکاران (۲۸)، روسا و همکاران (۳۰) نیز هیچ اثر مثبت معنی‌داری در اثر مصرف اسید هیومیک روی ریشه لوبیا پیدا نشد. با این حال طبق نتایج، سیوردت و همکاران (۳۵) رشد ریشه ذرت در حضور اسید هیومیک واکنش مثبت نشان داد. همچنین طبق گزارش، روبیو و همکاران (۳۲) رشد ریشه‌چه در غلظت کم اسید هیومیک تحریک شده و در غلظت بالا مهار می‌شود در این آزمایش ما از غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده کردیم و شاید یکی دیگر از دلایل کاهش طول ریشه‌چه در تیمار اسید هیومیک نسبت به شاهد به همان دلیل ذکر شده باشد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل۳. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ بر وزن خشک ریشه‌چه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

محیط کشت حاوی اسید هیومیک برخلاف ریشه‌چه باعث بهبود طول ساقه‌چه شد. تحت تیمار اسید هیومیک در بین ژنوتیپ‌های مورد بررسی، ژنوتیپ دانشگاه کردستان و ژنوتیپ هشترود بیشترین طول ساقه‌چه را داشتند. کمترین طول ساقه‌چه مربوط به ژنوتیپ واران با تیمار آب مقطر بود (شکل ۲ ب). مزیت اسید هیومیک برای رشد اندام هوایی را می‌توان با اثر مفید آن بر تنفس گیاه، یعنی افزایش تولید ATP با تحریک فسفوریلاسیون اکسیداتیو، با افزایش جذب و انتقال مواد مغذی و همچنین در بیوسنتز ترکیبات در رشد بیشتر ساقه‌چه توضیح داد (۳۵). همچنین این اثر افزایشی اسید هیومیک ممکن است به‌دلیل وجود ترکیبات شبه اکسین در اسید هیومیک باشد که باعث بهبود رشد طولی ساقه‌چه و کاهش رشد طولی ریشه‌چه می‌شود (۳۵) در حبوبات، روسا و همکاران (۳۰) اثر مثبت قابل‌توجه افزایش سطوح اسید هیومیک را بر رشد اندام هوایی یافتند که موافق نتایج این تحقیق است.

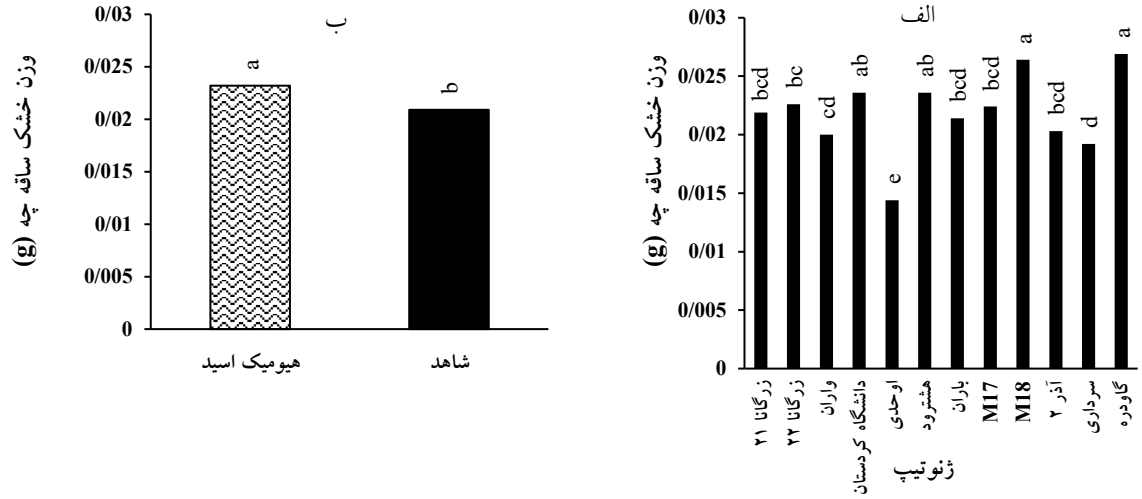
همچنین اثرات افزایشی مواد هیومیک بر رشد گیاه، در درجه اول رشد ساقه، ممکن است به‌علت فعالیت آنزیم H^+-ATPase و توزیع نیترات ریشه و ساقه که در نهایت منجر به تغییر در توزیع سیتوکینین و پلی آمین‌ها می‌شود (۳۲).

وزن خشک ریشه‌چه و ساقه چه:

تیمار اسید هیومیک در مقایسه با شاهد سبب کاهش وزن خشک ریشه‌چه شد. این کاهش بالغ بر ۱۳ درصد در مقایسه با شاهد بود، البته این کاهش در طول ریشه‌چه حدود ۳۲ درصد بود. بنابراین اثر منفی اسید هیومیک بر اجزاء رشد ریشه چه متفاوت است. براساس گزارش محققان اسید هیومیک حاوی ترکیبات معدنی و مواد آلی شبه اکسین است، یکی از اثرات اکسین کاهش رشد طولی ریشه و افزایش رشد ریشه‌های جانبی است (۴۵). کاهش کمتر وزن خشک ریشه‌چه در مقایسه با طول آن تحت تأثیر اسید هیومیک ممکن است ناشی از اثر شبه اکسینی این ترکیب در افزایش ریشه‌های جانبی باشد. ژنوتیپ هشترود در تیمار شاهد بیشترین وزن خشک ریشه‌چه را نشان داد (شکل ۳). این موضوع نشان‌دهنده توان ژنتیکی بالای این ژنوتیپ برای تولید ماده خشک در ریشه‌چه است. ژنوتیپ سرداری، زرگانا ۲۲ و اوحدی در تیمار اسید هیومیک کمترین مقادیر را ثبت کرده‌اند. این مقادیر پایین ممکن است به حساسیت ژنتیکی این ژنوتیپ‌ها به شرایط محیطی یا تیمارها اشاره داشته باشد. در آزمایش، رودریگس و همکاران (۲۸) افزایش غلظت مصرفی اسید هیومیک

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل ٤. اثر محیط کشت و ژنوتیپ بر وزن خشک ساقه‌چه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

اثر منفی روی وزن خشک ریشه ذرت داشت، که مطابق نتایج تحقیق حاضر است.

در بین محیط‌های کاشت، محیط حاوی اسید هیومیک نسبت به شاهد ۱۰ درصد افزایش وزن خشک ساقه‌چه را نشان داد (شکل ٤ ب). البته این افزایش در طول ساقه‌چه حدود ۱۷ درصد بود. بنابراین اثر مثبت اسید هیومیک بر اجزاء ساقه‌چه متفاوت و تأثیر آن روی طول ساقه‌چه بیشتر بود. سیوردت و همکاران (۳۵) نشان دادند که بدون در نظر گرفتن منبع اسید هیومیک با افزایش غلظت مصرفی اسید هیومیک وزن خشک اندام هوایی در ذرت افزایش یافت. افزایش ١٤/٣ درصدی وزن خشک اندام هوایی در غلظت ۵۰۰ میلی‌لیتر نسبت به شاهد مشاهده شد. طبق نتایج صوفی و همکاران (۳۹) مقدار وزن تر و خشک ساقه در شاهد کمتر از تیمار اسید هیومیک بود هر چند از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

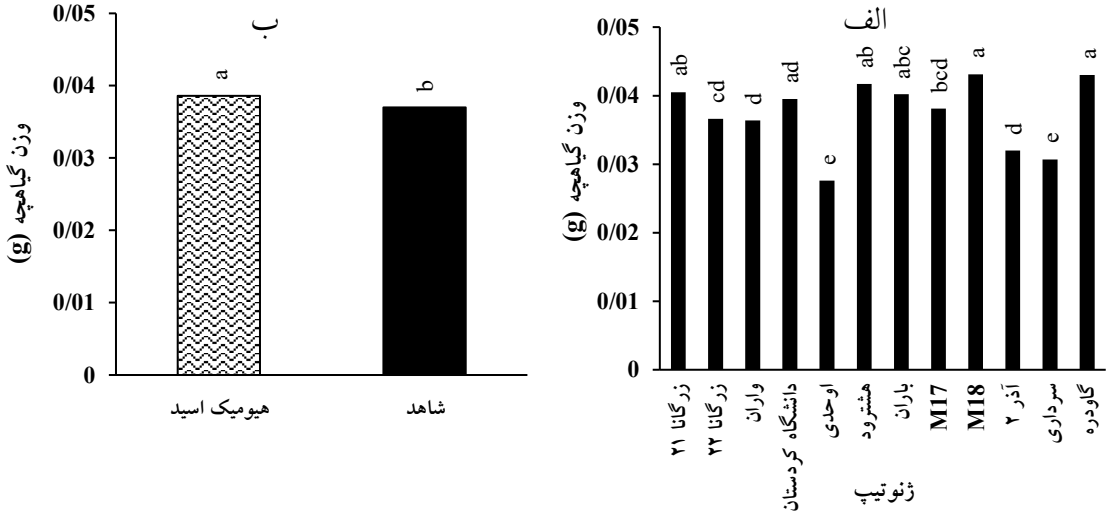
باتوجه به شکل ٤ الف ژنوتیپ‌های مختلف نیز تفاوت معنی–داری از نظر وزن خشک ساقه‌چه نشان دادند. بالاترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه در ژنوتیپ گاودره و M18 مشاهده شد. این گونه ژنوتیپ‌ها (گاودره و M18) با وزن خشک ساقه‌چه بالاتر، ممکن است پتانسیل بیشتری برای رشد و توسعه اولیه داشته باشند. این مسئله به‌دلیل توانایی بیشتر در ایجاد بنیه قوی گیاهچه در مراحل اولیه رشد است، که این تفاوت‌ها نشان‌دهنده تأثیر ویژگی‌های ژنتیکی ژنوتیپ‌ها بر رشد اولیه گیاه است. چنین تفاوت‌هایی می–توانند برای انتخاب ژنوتیپ‌های برتر در شرایط زراعی مختلف مفید باشند. کمترین مقدار وزن خشک ساقه‌چه نیز در ژنوتیپ اوحدی مشاهده شد.

وزن خشک گیاهچه (مجموع وزن ریشه چه و ساقه چه):

نتایج این تحقیق نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها از نظر وزن خشک گیاهچه مشاهده شد که نشان‌دهنده تفاوت‌های ژنتیکی در رشد و تولید زیست توده است. در بین ژنوتیپ‌ها، ژنوتیپ M18 و گاودره بالاترین وزن خشک گیاهچه را دارا بودند که با ژنوتیپ زرگانا ۲۱، دانشگاه کردستان، هشترود و باران از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۵ الف). کمترین وزن خشک گیاهچه به ژنوتیپ‌های اوحدی و سرداری تعلق گرفت. ژنوتیپ‌های باران و هشترود وضعیت متوسطی را نشان دادند. اثر محیط جوانه زنی نیز بر وزن خشک گیاهچه معنی‌دار شد به‌گونه‌ای که تیمار اسید هیومیک وزن کل گیاهچه را نسبت به تیمار آب مقطر ٤ درصد افزایش داد (شکل ۵ ب). وزن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل ۵. اثر محیط کشت و ژنوتیپ بر وزن گیاهچه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

تر و خشک گیاهچه‌های کاهو و گوجه فرنگی در حضور اسید هیومیک با غلظت ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر داخل پتری افزایش نشان داد که مطابق نتایج این تحقیق است.

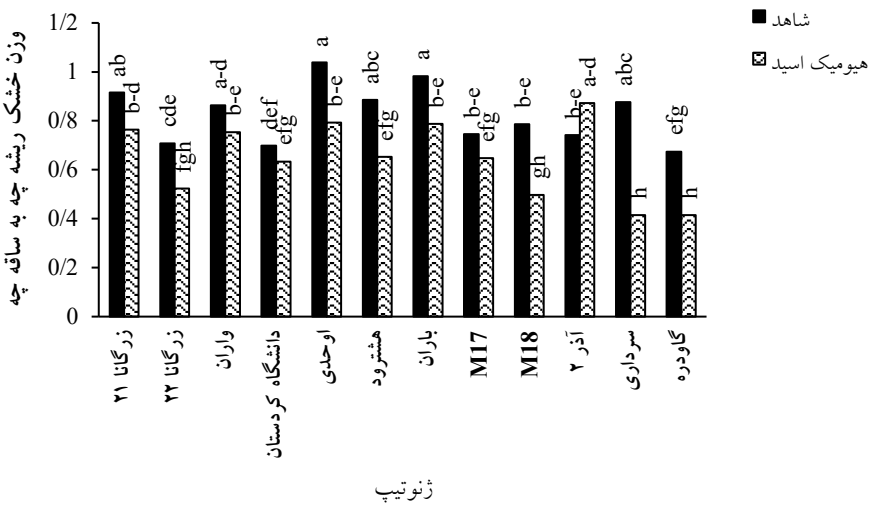
نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه:

اثر محیط جوانه زنی و ژنوتیپ و برهم‌کنش آنها بر نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. در اغلب ژنوتیپ‌ها، نسبت وزن ریشه‌چه به وزن ساقه‌چه در تیمار اسید هیومیک نسبت به شاهد کاهش یافته است. این کاهش به‌دلیل اثر منفی اسید هیومیک بر وزن ریشه‌چه و اثر مثبت آن بر وزن ساقه‌چه است. ژنوتیپ‌هایی مانند اوحدی و باران در هر دو شرایط نمود قوی‌تری نشان داده و به‌عنوان ژنوتیپ‌های برتر در این شاخص ظاهر شده‌اند. ژنوتیپ‌های گاودره، سرداری و M18 در تیمار اسید هیومیک کمترین نسبت وزن ریشه‌چه به وزن ساقه‌چه را داشتند (شکل ٦) که به‌دلیل واکنش قوی ساقه‌چه آنها به اسید هیومیک است ژنوتیپ‌هایی مانند سرداری و آذر ۲ واکنش نسبتاً متعادلی به تیمار نشان داده و کاهش نسبت وزن ریشه‌چه به وزن ساقه‌چه کمتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. ژنوتیپ‌هایی با نسبت بالای وزن ریشه‌چه به وزن ساقه‌چه مانند اوحدی و هشترود دارای رشد متوازن‌تر و بهتر ریشه‌چه در مقایسه با ساقه‌چه هستند که نشان‌دهنده مزیت آنها در شرایط محیطی محدودکننده (مانند کمبود آب یا مواد مغذی) است. ژنوتیپ‌هایی با نسبت پایین وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه مانند گاودره ممکن است نیاز به مدیریت ویژه یا شرایط اصلاحی برای بهبود رشد در شرایط محدود کننده (کمبود آب یا مواد غذایی) داشته باشند.

در نتایج این تحقیق ژنوتیپ آذر ۲ از نظر نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه با همه ژنوتیپ‌ها متفاوت بود و تیمار اسید هیومیک این نسبت را در مقایسه با تیمار شاهد افزایش داد. مطالعه زندونادی و همکاران (٤٥) نشان داد که اسید هیومیک رشد اولیه ریشه را تحریک می‌کند، اما در غلظت بالا، بخش هوایی گیاه بیشتر سود می‌برد. در گزارش، کالو و همکاران (٦) به اثرات اسید هیومیک، بر افزایش رشد گیاه و ترجیح تخصیص منابع به اندام هوایی تأکید شده است. مطالعه، روز و همکاران (۳۱) نشان داد که در غلظت بالای اسید هیومیک، گیاه به جای توسعه‌ی سامانه ریشه‌ای، رشد سریعتر بخش هوایی را ترجیح می‌دهد. طبق نتایج، کانلاس و همکاران (۹) اسید هیومیک اثراتی مشابه هورمون‌های گیاهی (اکسین و جیبرلین) دارد و بخش‌های هوایی را به‌طور خاص تحریک می‌کند.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل٦. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ بر نسبت وزن ریشه‌چه به وزن ساقه‌چه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

اسید هیومیک جذب عناصر مغذی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم را افزایش می‌دهد. این عناصر برای رشد بخش‌های هوایی (مانند ساقه و برگ) ضروری‌تر هستند. درنتیجه، وزن ساقه‌چه بیشتر از ریشه‌چه افزایش می‌یابد. غلظت بالای اسید هیومیک ممکن است باعث کاهش توسعه ریشه شود، زیرا گیاه نیازی به گسترش ریشه برای جذب مواد مغذی بیشتر نمی‌بیند؛ مواد مغذی به راحتی در دسترس هستند. در شرایط عادی، گیاه به‌طور طبیعی بخش هوایی خود را به‌عنوان بخش اصلی تولید غذا (فتوسنتز) ترجیح می‌دهد. در غلظت بالای اسید هیومیک، این اولویت بیشتر تقویت می‌شود. البته نتایج حاضر در شرایط کنترل شده داخل پتری به‌دست آمده است، نمود این ژنوتیپ‌ها در محیط مزرعه ممکن است متفاوت باشد.

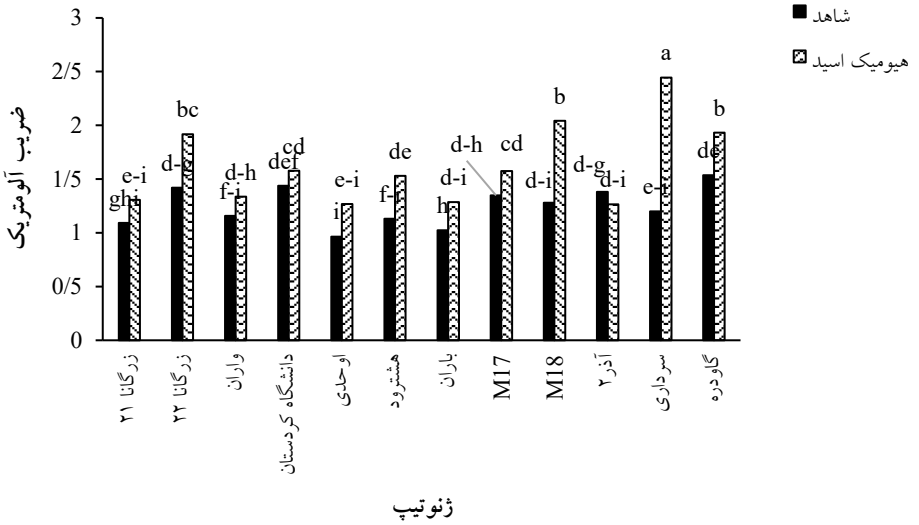
ضریب آلومتریک

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ژنوتیپ، محیط جوانه‌زنی و برهم‌کنش آنها در سطح احتمال ۱ درصد تأثیر معنی‌داری روی ضریب آلومتریک گذاشت (جدول ۱). در تمامی ژنوتیپ‌ها (به جز ژنوتیپ آذر ۲)، مقدار ضریب آلومتری در تیمار اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت. به‌طور کلی، تیمار اسید هیومیک با کاهش ۱۳ درصدی در وزن خشک ریشه‌چه و افزایش ۱۰ درصدی در وزن خشک ساقه‌چه توانست ضریب آلومتری را ۲۳ درصد افزایش دهد. بالاترین مقدار ضریب آلومتری (۲/۵)، در تیمار اسید هیومیک، مربوط به ژنوتیپ سرداری با میانگین وزن خشک ساقه‌چه ۰/۰۲ گرم و وزن خشک ریشه‌چه ۰/۰۰۸ گرم بود. کمترین مقدار ضریب آلومتریک نیز در ژنوتیپ اوحدی و در تیمار شاهد به‌دست آمد. در ژنوتیپ آذر ۲ هر چند تیمار اسید هیومیک سبب کاهش ۹ درصدی در ضریب آلومتری نسبت به شاهد شد، اما این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود (شکل ۷). در نتایج، صوفی و همکاران (۳۸) ضریب آلومتری در تیمار اسید هیومیک (٤/٨٠) نسبت به تیمار شاهد (٤/٦٦) بیشتر بود هر چند تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

شاخص بنیه گیاهچه:

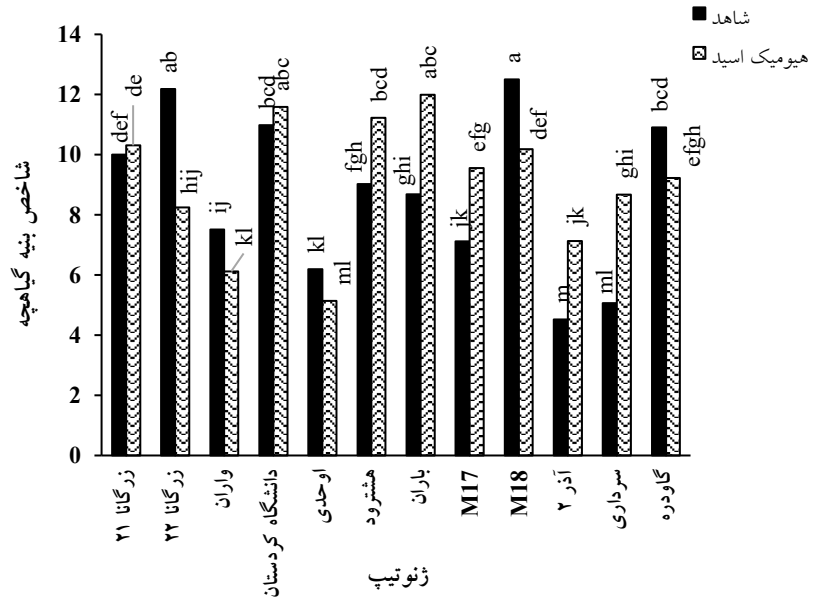
تیمار اسید هیومیک، ژنوتیپ و برهم‌کنش این دو، اثر معنی‌داری روی بنیه بذر داشت (جدول ۱). شکل ۸ مربوط به شاخص بنیه گیاهچه برای ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت دو تیمار متفاوت، اسید هیومیک و شاهد است. به‌طور کلی، در برخی ژنوتیپ‌ها، اسید هیومیک باعث افزایش شاخص بنیه گیاهچه شده است، در حالی‌که در برخی دیگر تأثیر منفی داشته است. این موضوع نشان می‌دهد که اثر اسید هیومیک بر شاخص بنیه گیاهچه به ژنوتیپ

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]
[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل۷. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ روی ضریب آلومتریک

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.



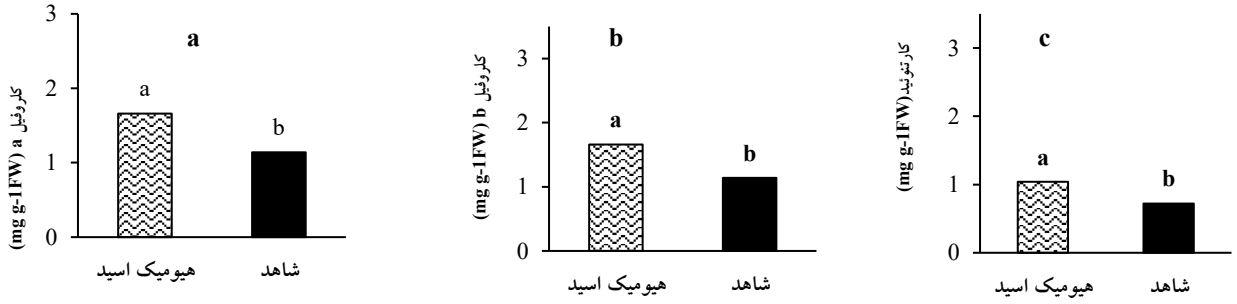
شکل۸. برهم‌کنش محیط جوانه‌زنی و ژنوتیپ روی شاخص بنیه گیاهچه

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

گیاه بستگی دارد. ژنوتیپ M18 در تیمار شاهد بیشترین مقدار شاخص بنیه گیاهچه (حدود ۱۳) را در بین تمام ژنوتیپ‌ها داشت، که نشان‌دهنده بنیه بالای این ژنوتیپ در شرایط شاهد است. ژنوتیپ آذر ۲ در تیمار شاهد کمترین مقدار شاخص بنیه گیاهچه (حدود ٤/۵) را نشان داد. زرگانا ۲۲، واران، اوحدی و گاودره در تیمار اسید هیومیک شاخص بنیه گیاهچه پایین‌تری نسبت به تیمار شاهد داشتند و نمود ضعیف‌تری در تیمار اسید هیومیک نشان دادند. این موضوع نشان‌دهنده حساسیت این ژنوتیپ‌ها به اسید هیومیک و کاهش بنیه گیاهچه درنتیجه این تیمار است و برای شرایطی که این ترکیب استفاده می‌شود، مناسب نیستند و باید از

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل ۹. اثر محیط جوانه‌زنی روی کلروفیل a، کلروفیل b و کارتنوئید

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و یک درصد

استفاده اسید هیومیک اجتناب کرد یا مقدار مطلوب آن را تعیین نمود. ژنوتیپ‌های باران و هشترود در تیمار اسید هیومیک شاخص بنیه گیاهچه قابل قبولی داشتند و نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تأثیر مثبت بیشتری از اسید هیومیک دریافت کرده‌اند که نشان‌دهنده پتانسیل خوب برای استفاده از اسید هیومیک در این ژنوتیپ‌ها است. این نتایج نشان می دهد که ارقام مختلف احتمالاً واکنش‌های متفاوتی نسبت به مصرف اسید هیومیک به‌صورت بذرمال و یا استفاده از این ترکیب در قالب مصرف کودی در خاک دارند.

رنگیزه‌های فتوسنتزی:

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر اصلی اسید هیومیک روی محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). تیمار اسید هیومیک مقدار کلروفیل a را٤٥/٧ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (شکل 9a). به‌طور مشابه مقدار کلروفیل b و کاروتنوئید در تیمار اسید هیومیک نسبت به تیمار شاهد بیشتر بود. این افزایش در مقدار کلروفیل b تحت تأثیر تیمار اسید هیومیک نسبت به تیمار شاهد ۳۱/۳ درصد بود (شکل 9b). همچنین تیمار اسید هیومیک توانست کاروتنوئید را به میزان ۳۰/٦ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش دهد (شکل 9c). مقدار کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی فاکتورهای ضروری برای ظرفیت فتوسنتزی در گیاهان هستند زیرا این رنگیزه‌ها اثر مستقیم بر سرعت و مقدار فتوسنتز، تولید و بیوماس گیاهان دارند، کانلاس و همکاران (۸)، وحید (٤٤). جینگ- مین و همکاران (۱۲) نشان دادند که استفاده از اسید هیومیک مقدار فعالیت ریشه و محتوای کلروفیل را در گیاهان افزایش می‌دهد. اسید هیومیک جذب مواد مغذی را توسط کلاته کردن عناصر ضروری افزایش می‌دهد و باعث افزایش باروری و تولید در گیاهان می‌شود (١٦). ممکن است افزایش در محتوای کلروفیل گیاهان به‌دلیل خواص شبه سیتوکینین اسید هیومیک باشد که آسیب به کلروپلاست را کاهش می‌دهد و تعداد رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ را افزایش می‌دهد (۷). گرچه اسید هیومیک رشد ریشه را کاهش داد، اما باتوجه به اثر بسیار شدید افزایشی این ترکیب بر غلظت کلروفیل در اوایل رشد می‌تواند باعث بهبود رشد رویشی در مراحل پس از جوانه‌زنی شود و ممکن است استفاده از آن حتی در مرحله جوانه‌زنی اثرات مثبتی بر روند رشد بعدی گیاهچه داشته باشد (۲۱).

میانگین عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی:

برای بررسی ارتباط ویژگی‌های جوانه‌زنی با عملکرد نهایی، میانگین چهارساله عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مورد ارزیابی قرار گرفت (جداول ۲ و ۳). نتایج نشان داد که در شرایط دیم، ژنوتیپ‌های اوحدی (۲۹۹۰ کیلوگرم در هکتار)، زرگانا ۲۲ (۳۵۸٦ کیلوگرم در هکتار) و واران (۳۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) بالاترین عملکرد را داشتند. در شرایط آبی نیز ژنوتیپ‌های اوحدی (٤٥٦٦ کیلوگرم در

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات
		عملکرد دانه
بلوک	۲	۷٦٥۹۹ns
تنش	۱	۳۷٥۷۱٤٤٦**
ژنوتیپ	۱۱	٤۹۲۸۲۰**
تنش*ژنوتیپ	۱۱	۲۱۲٦۷۸*
خطا		۱۰٥٦۲۳
ضریب تغییرات (٪)		۸/۹۳

جدول ۳. میانگین عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار) ٤ سال زراعی ژنوتیپ‌های گندم تحت شرایط دیم و آبیاری تکمیلی

ژنوتیپ	دیم	آبیاری تکمیلی
زرگانا ۲۱	۲۷۷۹^{j}	۳٤٥۷$^{d-i}$
زرگانا ۲۲	۳۳۳۰$^{c-i}$	٤۹٦٦^{b}
واران	۳۲۰٤$^{e-j}$	۳۷۲٦$^{b-e}$
دانشگاه کردستان	۳۱۰۸$^{g-j}$	۳۸۸۰^{bcd}
اوحدی	۳٥۹۸$^{b-f}$	٤٥٦٦^{a}
هشترود	۲۹۱٦^{ij}	۳٦۰٦$^{b-h}$
باران	۲۹۷٦^{ij}	۳۷۱۱$^{b-g}$
M17	۳۱٦۲$^{e-j}$	۳۹۳۸^{bc}
M18	۲۷۸۱^{j}	۳۲٥۲$^{f-j}$
آذر ۲	۲۸۷۲^{ij}	۳٦۱٦$^{b-h}$
سرداری	۳۰٥۱^{hij}	۳۸٤٤^{bcd}
گاودره	۲۹۱٦^{ij}	۳٥۹٦$^{b-h}$

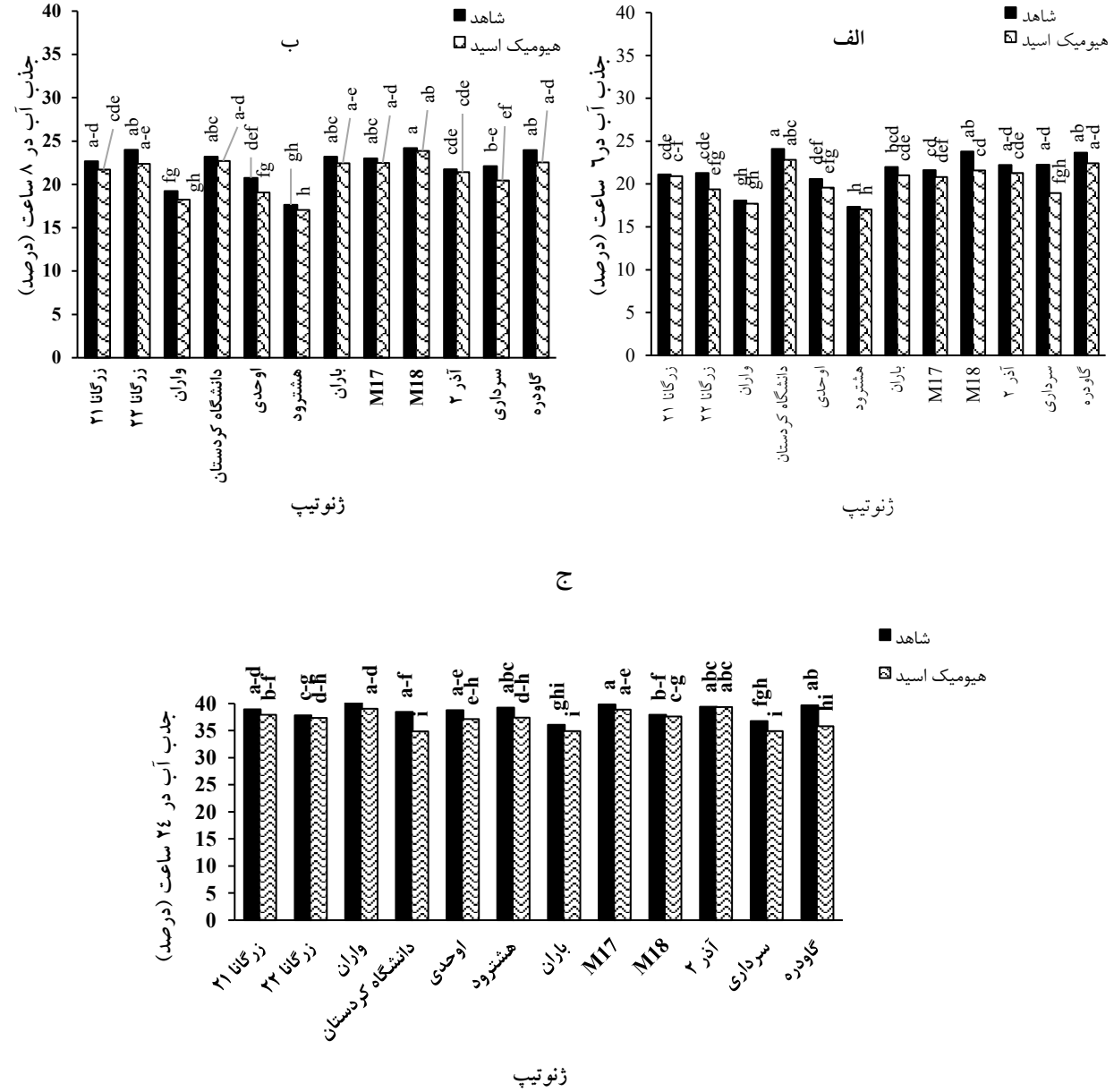
میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند

هکتار)، زرگانا ۲۲ (٤۹٦٦ کیلوگرم در هکتار) و دانشگاه کردستان (۳۸۸۰ کیلوگرم در هکتار) بهترین عملکرد را نشان دادند. ژنوتیپ گاودره در هر دو شرایط دیم و آبی عملکرد نسبتاً پایدار و مطلوبی داشت. در مقابل، ژنوتیپ‌های M18 و زرگانا ۲۱ کمترین عملکرد را ثبت کردند. به‌طور کلی، عملکرد دانه در شرایط آبی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از شرایط دیم بود. همچنین بین شاخص‌های جوانه‌زنی و عملکرد دانه همبستگی معنی‌داری مشاهده نشد.

با توجه به جدول همبستگی (جدول ٤)، صفات وزن خشک و وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه و همچنین طول ریشه‌چه وساقه‌چه با عملکرد و در هر دو شرایط دیم و آبی رابطه منفی دارند، لذا این صفات، صفات مناسبی برای گزینش مقاوت به خشکی نیستند و نمی‌توان باتوجه به شاخص‌های جوانه‌زنی در مورد انتخاب

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]



شکل ۱۰. تأثیر زمان بر جذب آب در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمار شاهد و اسید هیومیک، الف (٦ ساعت)، ب (۸ ساعت) و ج (۲٤ ساعت)

میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ژنوتیپ مناسب برای شرایط مزرعه، گزینش انجام داد. بدیهی است که در چنین حالتی ارقام پرعملکرد در شرایط دیم و حتی آبی که دارای صفات جوانه زنی ضعیف‌تری هستند در همان مرحله اولیه گزینش ارقام حذف خواهند شد.

تأثیر زمان بر جذب آب در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمار شاهد و اسید هیومیک:

تأثیر زمان بر درصد جذب آب ژنوتیپ‌های مورد مطالعه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ٤). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که درصد جذب آب در هر دو تیمار شاهد و اسید

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345] [Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

جدول ٤. همبستگی بین عملکرد دانه گندم در شرایط دیم و آبی با صفات مرتبط با جوانه‌زنی تحت دو تیمار آب مقطر و اسید هیومیک

	درصد جوانه‌زنی	طول ریشه‌چه	طول ساقه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن کل گیاهچه	نسبت وزن خشک ریشه‌چه به ساقه‌چه	ضریب آلومتریک	شاخص بنیه گیاهچه	کلروفیل a	کلروفیل b	کاروتنوئید
آب مقطر												
عملکرد دیم	۰/۱٤ns	-۰/۳۰ns	-۰/۵۰ns	-۰/۷۲**	-۰/٤۹ns	-۰/۵۹ ns	۰/۰۸ns	-۰/۱۲ns	-۰/۲۳ns	-۰/٤۹ns	۰/۰۱ns	۰/۵۲ns
عملکرد آبی	-۰/۰۸ns	-۰/٤۳ns	-۰/۵۷*	-۰/۷٦**	-۰/٦٤**	-۰/٦۷**	۰/۳۳ns	-۰/۲۸ns	-۰/۳٦ns	-۰/۵٦*	۰/۱۵ ns	۰/٤۲ ns
اسید هیومیک												
عملکرد دیم	۰/۰۰۱ns	-۰/٦۱*	-۰/۵۱ns	-۰/۵۹*	-۰/٦۹*	-۰/۸۲**	۰/۱۱ns	-۰/۰٤ns	-۰/٦۱*	-۰/۰۲ns	-۰/۳٤ns	-۰/۲۲ns
عملکرد آبی	۰/۰۰۱ns	-۰/۵۲ns	-۰/٤۲ns	-۰/۳۷ns	-۰/۷۷**	-۰/۸۲**	۰/۳۲ns	-۰/۲۳ns	-۰/۵۰ns	-۰/۲۵ns	-۰/۱۳ns	۰/۰۲ns

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک بر اساس آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵ و یک درصد

جدول ۵. تأثیر زمان بر جذب آب در ژنوتیپ‌های مختلف گندم تحت تیمار شاهد و اسید هیومیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		جذب آب در ٦ ساعت	جذب آب در ٨ ساعت	جذب آب در ٢٤ ساعت
محیط جوانه زنی	**١**	**١/٧٨^{ns}**	**٣/٧١^{ns}**	**٣٠/٣****
ژنوتیپ	**١١**	**٤١/٢****	**٢٤/٨****	**١٠/٥****
محیط جوانه زنی× ژنوتیپ	**١١**	**٢/٣٥***	**١/٥٤^{ns}**	**٢/٩٦***
خطا	**٤٨**	**١/٥**	**١/٤٥**	**١/٢٢**
ضریب تغییرات (%)		**٨**	**٥/٥٦**	**٢/٩١**

ns، * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار، معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

هیومیک با گذشت زمان افزایش یافت، به‌طوری‌که پس از ٢٤ ساعت، بیشترین میزان جذب آب مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد که تیمار اسید هیومیک در هر سه بازه زمانی (٦، ٨ و ٢٤ ساعت) منجر به کاهش جذب آب در تمامی ژنوتیپ‌ها شد. این کاهش در مقایسه با تیمار شاهد، در ٦ ساعت ١/٥ درصد، در ٨ ساعت ٢/١ درصد و در ٢٤ ساعت ٣/٤ درصد بود (شکل ١٠ الف، ب و ج).

با توجه به این کاهش تدریجی در طول زمان، به‌نظر می‌رسد که اثر اسید هیومیک بر کاهش جذب آب به‌دلیل تنش شوری (اثر اسمزی) نبوده، بلکه احتمالاً ناشی از سمیت برخی ترکیبات آن یا اثرات هورمونی باشد. این سمیت ممکن است ناشی از تجمع برخی ترکیبات آلی و معدنی در غلظت‌های بالا باشد که منجر به مهار رشد ریشه‌چه شده و درنتیجه سطح جذب آب کاهش یافته است. همچنین، اثرات هورمونی احتمالی اسید هیومیک مانند افزایش سطح اتیلن یا مهار فعالیت آکواپورین‌ها در سلول‌های ریشه می‌تواند بر کاهش جذب آب نقش داشته باشد. بررسی سازوکار دقیق این اثرات نیاز به مطالعات بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که اسید هیومیک اثرات قابل‌توجهی بر ویژگی‌های جوانه‌زنی و شاخص‌های رنگیزه‌ای فتوسنتز ژنوتیپ‌های مختلف گندم دیم دارد. از جمله نتایج مهم این تحقیق، افزایش درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه، وزن خشک گیاهچه و افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه محتوای کلروفیل در تیمار اسید هیومیک است. با این حال، اسید هیومیک تأثیر منفی بر طول ریشه‌چه و وزن تر و خشک آن داشت. این کاهش احتمالاً به‌دلیل دسترسی بهتر به مواد مغذی و کاهش نیاز گیاه به توسعه گسترده سامانه ریشه‌ای است. نتایج نشان داد که واکنش ژنوتیپ‌ها به اسید هیومیک وابسته به ویژگی‌های ژنتیکی آن‌ها است. ژنوتیپ‌هایی مانند هشترود و گاودره بهترین عملکرد را در تیمار اسید هیومیک داشتند، درحالی‌که ژنوتیپ اوحدی با نسبت بالای وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه برای شرایط تنش‌زا مناسب‌تر بود. به‌طور کلی، این تحقیق نشان داد که استفاده از اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان یک استراتژی مؤثر در بهبود رشد و عملکرد اولیه گیاهان، به‌ویژه در شرایط خاص محیطی و برای ژنوتیپ‌های مناسب، مورد استفاده قرار گیرد. انتخاب دقیق ژنوتیپ و بهینه‌سازی شرایط تیماری برای دستیابی به حداکثر بهره‌وری از این ماده بسیار حیاتی است.

تشکر و قدردانی

از استاد راهنمای گرامی و مشاورین بزرگوارم که با ارائه راهنمایی‌های علمی بینظیر، در پیشبرد این پژوهش مرا یاری کرد، صمیمانه قدردانی می‌کنم.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

منابع

1. Abdul-Baki, A. A. and J. D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science* 13(6): 630-633.
2. Ahmad, T., R. Khan and T. Nawaz Khattak. 2018. Effect of humic acid and fulvic acid based liquid and foliar fertilizers on the yield of wheat crop. *Journal of Plant Nutrition* 41(19): 2438-2445.
3. Ampong, K., M. S. Thilakaranthna and L. Y. Gorim. 2022. Understanding the role of humic acids on crop performance and soil health. *Frontiers in Agronomy* 4: 848621.
4. Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts, Polyphenol oxidase in *Beta volgaris*. *Plant Physiology* 24(1): 1-5.
5. Arslan, E., G. Agar and M. Aydin. 2021. Humic acid as a biostimulant in improving drought tolerance in wheat: The expression patterns of drought-related genes. *Plant Molecular Biology Reporter* 39(3): 508-519.
6. Calvo, P., L. Nelson and J. W. Kloepper. 2014. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil* 383(1): 3-41.
7. Canellas, L. P., N. O. Canellas, L. E. S. da S. Irineu, F. L. Olivares and A. Piccolo. 2020. Plant chemical priming by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 7: 1-17.
8. Canellas, L. P., F. L. Olivares, N. O. Canellas, P. Mazzei and A. Piccolo. 2019. Humic acids increase the maize seedlings exudation yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 6: 1-14.
9. Canellas, L. P., F. L. Olivares, N. O. Aguiar, D. L. Jones, A. Nebbioso, P. Mazzei and A. Piccolo. 2015. Humic and fulvic acids as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae* 196: 15-27.
10. Faccin, D. and R. M. Di Piero. 2022. Extracts and fractions of humic substances reduce bacterial spot severity in tomato plants, improve primary metabolism and activate the plant defense system. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 121: 101877.
11. Jiang, N., M. Wu, G. Li, E. Petropoulos, F. Sun, X. Wang and Z. Li. 2022. Humic substances suppress *Fusarium oxysporum* by regulating soil microbial community in the rhizosphere of cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Applied Soil Ecology* 174: 104389.
12. Jing-Min, Z., X. Shang-jun, S. Mao- Peng, M. Bing-Yao, C. Xiu-mei and L. Chunsheng. 2010. Effect of humic acid on poplar physiology and biochemistry properties and growth under different water levels. *Jornal of Soil Water Conservation* 6(2): 1-42.
13. Khaleda, L., H. J. Park, D. J. Yun, J. R. Jeon, M. G. Kim, J. Y. Cha and W. Y. Kim. 2017. Humic acid confers high-affinity K+ transporter 1-mediated salinity stress tolerance in Arabidopsis. *Molecules and cells* 40(12): 966-975.
14. Kocheki, A. and Gh. Sarmadnia. 2002. Crop Physiology. Jihad Daneshgahi Mashhsd Press, Mashhsd. (In Farsi).
15. Lumactud, R. A., L. Y. Gorim and M. S. Thilakarathna. 2022. Impacts of humic-based products on the microbial community structure and functions toward sustainable agriculture. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 6: 977121.
16. Mackowiak, C. L., P. R. Grossl and B. G. Bugbee. 2001. Beneficial effects of humic acid on micronutrient availability to wheat. *Soil Science* 65: 1744
17. Man-Hong, Y., Z. Lei, X. Sheng-Tao, N. B. McLaughlin and L. Jing-Hui. 2020. Effect of water soluble humic acid applied to potato foliage on plant growth, photosynthesis characteristics and fresh tuber yield under different water deficits. *Scientific Reports* 10(1): 7854.
18. Muscolo, A., M. Felici, G. Concheri and S. Nardi. 1993. Effect of earthworm humic substances on esterase and peroxidase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Biology and Fertility of Soils* 15: 127-131.
19. Nardi, S., D. Pizzeghello and A. Ertani. 2018. Hormone-like activity of the soil organic matter. *Applied Soil Ecology* 123: 517-520.
20. Nardi, S., M. R. Panuccio, M. R. Abenavoli and A. Muscolo. 1994. Auxin-like effect of humic substances extracted from faeces of *Allolobophora caliginosa* and *A. rosea*. *Soil Biology and Biochemistry* 26(10): 1341-1346.
21. Nardi, S., D. Pizzeghello, A. Muscolo and A. Vianello. 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry* 34(11): 1527-1536.
22. Nibau, C., D. J. Gibbs and J. C. Coates. 2008. Branching out in new directions: the control of root architecture by lateral root formation. *New Phytologist* 179(3): 595-614.
23. Nunes, R. O., G. A. Domiciano, W. S. Alves, A. C. A. Melo, F. C. S. Nogueira, S. Roomi, A. Masi, G. B. Conselvan, S. Trevisan, S. Quaggiotti, M. Pivato and P. Carletti. 2018. Protein profiling of arabidopsis roots treated with humic substances: insights into the metabolic and interactome networks. *Frontiers in Plant Science* 9: 1812.
24. Olaetxea, M., V. Mora, E. Bacaicoa, R. Baigorri, M. Garnica, M. Fuentes and J. M. García-Mina. 2019. Root ABA and H+-ATPase are key players in the root and shoot growth-promoting action of humic acids. *Plant Direct* 3(10): e00175.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]

25. Piccolo, A., G. Celano and G. Pietramellara. 1993. Effects of fractions of coal-derived humic substances on seed germination and growth of seedlings (*Lactuga sativa* and *Lycopersicum esculentum*). *Biology and fertility of soils* 16(1): 11-15.
26. Rathor, P., V. Rouleau, L. Y. Gorim, G. Chen and M. S. Thilakarathna. 2024. Humalite enhances the growth, grain yield, and protein content of wheat by improving soil nitrogen availability and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 187(2): 247-259.
27. Ritchie, J. D. and E. M. Perdue. 2008. Analytical constraints on acidic functional groups in humic substances. *Organic Geochemistry* 39(6): 783-799.
28. Rodrigues, L. A., C. Z. Alves, C. H. Q. Rego, T. R. B. D. Silva and J. B. D. Silva. 2017. Humic acid on germination and vigor of corn seeds. *Revista Caatinga* 30: 149-154.
29. Roomi, S., A. Masi, G. B. Conselvan, S. Trevisan, S. Quaggiotti, M. Pivato and P. Carletti. 2018. Protein profiling of arabidopsis roots treated with humic substances: insights into the metabolic and interactome networks. *Frontiers in Plant Science* 9: 1812.
30. Rosa, C. M. D., R. M. V. Castilhos, L. C. Vahl, D. D. Castilhos, L. F. S. Pinto, E. S. Oliveira and O. D. A. Leal. 2009. Effect of humic substances on potassium absorption kinetics, plant growth, and nutrient concentration in *Phaseolus vulgaris* L.. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 33: 959-967.
31. Rose, M. T., A. F. Patti, K. R Little, A. L. Brown, W. R. Jackson and T. R. Cavagnaro. 2014. A meta-analysis and review of plant-growth response to humic substances: practical implications for agriculture. *Advances in Agronomy* 124: 37-89.
32. Rubio, V., R. Bustos, M. L. Irigoyen, X. Cardona-López, M. Rojas-Triana and J. Paz-Ares. 2009. Plant hormones and nutrient signaling. *Plant Molecular Biology* 69: 361-373.
33. Santner, A., L. I. A. Calderon-Villalobos and M. Estelle. 2009. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature Chemical Biology* 5(5): 301-307.
34. Sauer, M., S. Robert and J. Kleine-Vehn. 2013. Auxin: simply complicated. *Journal of Experimental Botany* 64(9): 2565-2577.
35. Siewerdt, L., R. Silva, A. Jablonski and P. S. Junior. 1999. Growth of shoot and root system of maize cultivated in nutrient solution supplemented with humic substances. *Current Agricultural Science and Technology* 5(2): 101-110.
36. Shen, Y., S. Jiao, Z. Ma, H. Lin, W. Gao and J. Chen. 2020. Humic acid-modified bentonite composite material enhances urea-nitrogen use efficiency. *Chemosphere* 255: 126976.
37. Shimizu-Sato, S., M. Tanaka and H. Mori. 2009. Auxin–cytokinin interactions in the control of shoot branching. *Plant Molecular Biology* 69: 429-435.
38. Sofi, A., M. Ebrahimi and E. Shirmohammadi. 2021. Influence of humic acid on germination, morphological characteristics and photosynthesis pigments of *Trifolium alexandrium* L. under salinity stress. *Ecopersia* 9(4): 287-297.
39. Sofi, A., M. Ebrahimi and E. Shirmohammadi. 2018. Effect of humic acid on germination, growth, and photosynthetic pigments of *Medicago sativa* L. under salt stress. *Ecopersia* 6(1): 21-30.
40. Souza, A. C., F. L. Olivares, L. E. P. Peres, A. Piccolo and L. P. Canellas. 2022. Plant hormone crosstalk mediated by humic acids. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 9(1): 29.
41. Stevenson, F. G. 1994. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. John Wiley and Sons, New York.
42. Trevisan, S., O. Francioso, S. Quaggiotti and S. Nardi. 2010. Humic substances biological activity at the plant-soil interface: from environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling & Behavior* 5(6): 635-643.
43. Unlu, H. O., H. Unlu, Y. Karakurt and H. Padem. 2011. Changes in fruit yield and quality in response to foliar and soil humic acid application in cucumber. *Scientific Research and Essays* 6(13): 2800-2803.
44. Wahid, A. 2004. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. *Botanical Bulletin of Academia Sinica* 45: 133-141.
45. Zandonadi, D. B., L. P. Canellas and A. R. Façanha. 2007. Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasma lemma and tonoplast H+ pumps activation. *Planta* 225: 1583-1595.
46. Zanin, L., N. Tomasi, S. Cesco, Z. Varanini and R. Pinton. 2019. Humic substances contribute to plant iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science* 10: 675.
47. Zanin, L., N. Tomasi, A. Zamboni, D. Sega, Z. Varanini and R. Pinton. 2018. Water-extractable humic substances speed up transcriptional response of maize roots to nitrate. *Environmental and Experimental Botany* 147: 167-178.
48. Zhang, J., X. Huang, C. Liu, H. Shi and H. Hu. 2005. Nitrogen removal enhanced by intermittent operation in a subsurface wastewater infiltration system. *Ecological Engineering* 25(4): 419-428.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-06-14]

[DOI: 10.47176/jcpp.15.3.36345]