Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Crop Production

Print ISSN: 2008- 739x
Online ISSN: 2008- 7403

Iranian Society of Agronomy and Plant Breeding Sciences

Effect of growth regulators on some of growth parameters and secondary metabolites in two wheat cultivars under different moisture regimes

F. Sadeghi[1], Y. Sohrabi[2*], A. Sio-Se Mardeh[3]

[1] PhD Student, Agronomy Department, College of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran, Email: faridesadeghi21@gmail.com
[2] Associate Professor, Agronomy Department, College of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran, Email: y.sohrabi@uok.ac.ir
[3] Associate Professor, Agronomy Department, College of Agriculture, University of Kurdistan, Kurdistan, Iran, Email: a33@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2021/06/14
Revised: 2021/09/19
Accepted: 2021/10/27

Keywords:
Cycocel
Cytokinin
Flavonoids
Gibberellin
Phenol

ABSTRACT

Background and objectives: Wheat is one of the most important plant sources for humans and drought is one of the most important abiotic limiting factors that affects the growth and development of wheat. Exogenous applications of plant growth regulators (PGRs) may be useful for decreasing the harmful effects of drought stress on wheat, therefore, this research was laid out to investigate the effect of foliar sprays of gibberellin, cytokinin and cycocel on root and shoot characteristics, secondry metabolites and yield of two wheat cultivars under different moisture regimes.

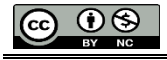
Materials and methods: The present study was conducted as two separate designs with three replications in hydroponic and field conditions in the University of Kurdistan, in 2015-2016. Hydroponics experiment was conducted as factorial based on randomized complete block design. The factors were the moisture levels (control, -4, -8 bar), two wheat cultivar (Sirvan and Homa) and four levels PGR foliar application including water as control, gibberellin (100 µm), cytokinin (100 µm) and cycocel (3 $grlit^{-1}$). Field experiment was carried out as split-split based on randomized complete block design. The irrigation treatment at four levels (dryland, one time irrigation, two times irrigation and three times irrigation) as the main plots, two wheat cultivars (Sirvan and Homa) as sub-plots and the plant growth regulators foliar application listed above as the sub-sub plots were considered. Root and shoot dry weight and root to shoot dry weight ratio, root volume, root length, Plant height, total phenol, flavonoids, anthocyanins content and yield were determined.

Results: In the hydroponics experiment, root traits increased in the -4 bar as compared with the control while plant weight and height were decreased in the -4 and -8 bar. In most treatments, the highest ratio of root to shoot weight was obtained in drought stress. Homa cultivar was superior to Sirvan cultivar in terms of all traits. Foliar application treatments hadn't a significant influence on root length and plant height, but the application of PGRs especially cycocel, increased the root and seedling weight and root volume. In field experiments, the results showed that the amount of phenol, flavonoids, and anthocyanins in dryland conditions was higher than other irrigation treatments. Among growth regulators, gibberellin increased flavonoids (13.2%), and cycocel increased anthocyanins content (17.3%)

Compared to the control. The results also showed that, the highest grain yield in both cultivar was obtained under three times irrigation condition and cytokinin and cycocel consumption.

Conclusion: It seems that cycocel can increase the resistance of wheat to drought stress by improving the root characteristics and increasing anthocyanin content. Based on the result, in both cultivars irrigation increased grain yield compared to rainfed conditions and the use of growth regulators, especially cytokinin and cycocel, increased yield compared to the control. Therefore, based on the results of this experiment, applying even one stage of irrigation in water limitation conditions and the use of cytokinin and cycocel in water availability conditions could be recommended to enhance grain yield under the region climatic condition

Cite this article: Sadeghi, F., Sohrabi, Y., Sio-Se Mardeh, A. 2022. Effect of growth regulators on some of growth parameters and secondary metabolites in two wheat cultivars under different moisture regimes. *Crop Production*, 15 (1), 101-120.



© The Author(s).
DOI: 10.22069/EJCP.2022.19132.2428
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

تولید گیاهان زراعی
شاپا چاپی: ۷۳۹x-۲۰۰۸
شاپا الکترونیکی: ۷٤۰۳-۲۰۰۸
انجمن علوم زراعت و اصلاح نباتات ایران

بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر تعدادی از پارامترهای رشد و متابولیت‌های ثانویه دو رقم گندم تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی

فریده صادقی[۱]، یوسف سهرابی[۲*]، عادل سی و سه مرده[۳]

۱.دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران، رایانامه: faridesadeghi21@gmail.com
۲.دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران، رایانامه: y.sohrabi@uok.ac.ir
۳.دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، کردستان، ایران، رایانامه: a33@uok.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۳/۲٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۰٦/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۸/۰۵

واژه‌های کلیدی:
جیبرلین
سایکوسل
سیتوکینین
فلاونوئید
فنل

چکیده

سابقه و هدف: گندم یکی از مهم‌ترین منابع غذایی گیاهی برای انسان است و خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده بوده که رشد، نمو و عملکرد این گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. کاربرد خارجی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی ممکن است سبب کاهش اثرات تنش خشکی گردد. هدف از این پژوهش بررسی اثر محلول‌پاشی جیبرلین، سیتوکینین و سایکوسل بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی، مقادیر متابولیت‌های ثانویه **و عملکرد** دو رقم گندم در شرایط متفاوت رطوبتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: تحقیق حاضر به‌صورت دو طرح مجزا هر یک در سه تکرار در شرایط هیدروپونیک و مزرعه در سال زراعی ۱۳۹٦-۱۳۹۵ در دانشگاه کردستان انجام گرفت. آزمایش هیدروپونیک به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید و فاکتورها شامل سطوح رطوبتی (۰، ٤- و ۸- بار)، رقم (سیروان و هما) و تنظیم‌کننده‌های رشد شامل (شاهد)، جیبرلین (۱۰۰ میکرومولار)، سیتوکینین (۱۰۰ میکرومولار) و سایکوسل (۳ گرم در لیتر) بود. آزمایش مزرعه‌ای به‌صورت کرت‌های دوبار خرد شده بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی به اجرا در آمد. تیمار آبیاری در چهار سطح (دیم، یک آبیاری، دو آبیاری و سه آبیاری) به عنوان عامل اصلی، دو رقم گندم به عنوان عامل فرعی و محلول‌پاشی تنظیم‌کننده‌های رشد به عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش هیدروپونیک شامل وزن خشک ریشه و اندام هوایی، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی، حجم ریشه، طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی و در آزمایش مزرعه‌ای شامل میزان فنل کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و عملکرد دانه بود.

یافته‌ها: در آزمایش هیدروپونیک، تنش خشکی ٤- بار سبب افزایش صفات مربوط به ریشه گردید و هر دو سطح ٤- و ۸- بار سبب کاهش وزن و ارتفاع اندام هوایی گردید. در اکثر تیمارها بالاترین نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در تنش خشکی به دست آمد. رقم هما از لحاظ کلیه صفات از رقم سیروان برتر بود. تیمار محلول‌پاشی اثر معنی‌داری بر طول ریشه و ارتفاع گیاه نداشت، اما کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به‌ویژه سایکوسل سبب افزایش وزن خشک و حجم ریشه و وزن اندام هوایی گردید. نتایج آزمایش مزرعه‌ای نشان داد که میزان فنل کل، فلاونوئید و آنتوسیانین در شرایط دیم از دیگر تیمارهای آبیاری بیش‌تر بود. در بین تنظیم‌کننده‌های رشد، جیبرلین سبب افزایش ۱۳/۲ درصدی فلاونوئید و سایکوسل باعث افزایش ۱۷/۳ درصدی میزان آنتوسیانین نسبت به شاهد گردید. همچنین نتایج نشان داد که دو رقم

مورد مطالعه تحت تیمار سه آبیاری و کاربرد سیتوکینین و سایکوسل عملکرد بالاتری را نسبت به دیگر تیمارها داشتند.

نتیجه گیری: به‌نظر می‌رسد که سایکوسل بتواند از طریق بهبود خصوصیات ریشه و افزایش محتوای آنتوسیانین سبب افزایش مقاومت گندم به تنش خشکی شود. براساس نتایج، در هر دو رقم اعمال آبیاری سبب افزایش عملکرد دانه نسبت به شرایط دیم گردید و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد به‌ویژه سیتوکینین و سایکوسل میزان عملکرد را نسبت به شاهد افزایش داد. لذا براساس نتایج این آزمایش، اعمال حتی یک مرحله آبیاری در شرایط محدودیت آب و کاربرد سیتوکینین و سایکوسل در شرایط فراهمی آب می‌تواند در راستای افزایش عملکرد دانه در شرایط اقلیمی منطقه قابل توصیه باشد.

استناد: صادقی، ف.، سهرابی، ی.، سی و سه مرده، ع. (۱٤۰۱). بررسی اثر تنظیم‌کننده‌های رشد بر تعدادی از پارامترهای رشد و متابولیت‌های ثانویه دو رقم گندم تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. *تولید گیاهان زراعی*، ۱۵ (۱)، ۱۲۰-۱۰۱.

DOI: 10.22069/EJCP.2022.19132.2428

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

غلات یکی از با ارزش‌ترین تولیدات غذایی برای انسان می‌باشند و تقریباً ۵۵ درصد از پروتئین‌ها، ۱۵ درصد چربی‌ها، ۷۰ درصد گلوسیدها و به‌طورکلی ۵۰ تا ۵۵ درصد کالری مصرف شده توسط انسان در دنیا به وسیله غلات تأمین می‌گردد (۳۵). در میان غلات، گندم یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی از لحاظ سطح زیرکشت و میزان تولید در جهان است و نقش مهمی را در تأمین نیاز غذایی جوامع بشری دارد (۳۹).

گیاهان در مراحل مختلف رشد و نموی خود ممکن است تحت تأثیر انواع تنش‌ها قرار گیرند. خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزنده بوده که سبب کاهش رشد، نمو و عملکرد گیاهان می‌شود (۵۸). در گندم، خشکی در مقایسه با شرایط بدون تنش، می‌تواند کاهش ۵۰ تا ۹۰ درصدی عملکرد را منجر گردد (٦). کاهش عملکرد دانه گندم تحت شرایط تنش خشکی توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (۳۱، ٤۲). ریشه‌ها با داشتن طیف وسیعی از خصوصیات فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی نقش اساسی در جذب آب و مواد غذایی، کارایی مصرف آب و در نهایت عملکرد محصول دارند (٤۰). به‌همین دلیل بهبود صفات ریشه‌ای که منجر به افزایش کارایی گسترش بافت‌ها در جستجوی آب خاک و حفظ عملکرد تحت شرایط کمبود آب می‌شود، مورد علاقه پژوهش‌گران قرار گرفته است (٤۱). ژانک و همکاران (۲۰۱۳) به نقش محوری سیستم ریشه در تحمل تنش خشکی در مرحله گیاهچه‌ای گندم اشاره کرده‌اند (۵۵). بنابراین، بررسی ویژگی‌های ریشه در مرحله گیاهچه‌ای برای توسعه واریته‌های از گندم با میزان تحمل به تنش خشکی بالاتر ضروری است. از طرفی، تنش خشکی با برهم‌زدن شرایط مطلوب رشد سبب بروز اختلالات متابولیسمی در سلول‌های گیاهی شده که این امر منجر به تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌گردد (۳٤). در چنین شرایطی برای مقابله با این ترکیبات، فرایندهای دفاعی آنتی‌اکسیدانی در گیاهان فعال می‌شود، به‌طوری که نتایج تحقیقات نشان داده است که تغییر در تولید متابولیت‌های ثانویه یکی از مهم‌ترین سازوکارهای دفاعی گیاه در برابر افزایش تولید اکسیژن فعال تولید شده درشرایط تنش می‌باشد (۲۹). ترکیبات فنلی، فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها از جمله متابولیت‌های ثانویه می‌باشند و گزارش شده است که فنل‌ها و فلاونوئیدها از طریق سرکوب تولید گونه‌های فعال اکسیژن نقش آنتی‌اکسیدانی مهمی را در گیاه ایفا می‌کنند (۳۰) و محتوای این ترکیبات یکی از شاخص‌های بیوشیمیایی مهم در تحمل به تنش خشکی است (٤). آنتوسیانین‌ها نیز به عنوان گروهی از خانواده فلاونوئیدها دارای ظرفیت آنتی‌اکسیدانی قابل توجهی هستند (۵۷).

امروزه روش‌های مختلفی برای مقابله با اثرات ناشی از تنش در نظر گرفته شده است. در میان روش‌های مدیریتی، برخی تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی، تحمل گیاه را در برابر شرایط تنش‌زای محیطی افزایش می‌دهند. این تنظیم‌کننده‌ها علاوه بر نقشی که در رشد و نمو گیاه دارند، تحمل به تنش را از طریق فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و ملکولی افزایش می‌دهند (۱۱) و همه فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر آن‌ها قرار می‌گیرد (٤٤). گزارش گردیده است که جیبرلین‌ها به عنوان یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی تحمل گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی را افزایش می‌دهند (۵۲). این تنظیم‌کننده‌های رشد، تحت شرایط تنش، سبب کاهش رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌شوند (۵٤). سیتوکینین‌ها نیز به عنوان تنظیم‌کننده‌های دخیل در پاسخ‌های گیاهی به اثرات نامطلوب در شرایط محیطی شناخته شده هستند (۲۵) و گزارش شده است که افزایش

میزان این تنظیم‌کننده‌ها، ممکن است از طریق افزایش فعالیت سیستم آنتی‌اکسیدانتی سبب تحمل به تنش خشکی در گیاهان شود (۱۸). علاوه بر این تنظیم‌کننده‌ها، سایکوسل نیز یکی از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی می‌باشد که می‌تواند نقش مهمی را در بهبود رشد گیاه از طریق به حداکثر رسیدن پتانسیل آبی ایفا کند (۲۷).

با توجه به تغییرات اقلیمی، کاهش نزولات آسمانی و محدودیت منابع آبی در بسیاری از نقاط جهان و همچنین با توجه به اهمیت گندم به عنوان یک گیاه استراتژیک در تأمین نیاز غذایی مردم جهان، دست‌یابی به راه‌کارهایی که بتواند اثرات کمبود آب بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش دهد بسیار حائز اهمیت است. لذا این پژوهش با هدف ارزیابی اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری بر عملکرد و میزان تأثیر تنظیم‌کننده‌های رشد بر مکانیسم‌های مقاومت گیاه در راستای تعدیل اثرات کم‌آبی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهان زراعی و مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه کردستان به صورت کشت هیدروپونیک و آزمایش مزرعه‌ای اجرا گردید. در کشت هیدروپونیک، به‌منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش خشکی (صفر، ٤- و٨ - بار) و اثر تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل جیبرلین، سیتوکینین و سایکوسل بر خصوصیات ریشه و اندام هوایی دو رقم گندم سیروان و هما، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا گردید. بدین منظور، بذور به مدت ۳ دقیقه در هیپوکلرید سدیم ۱ درصد قرار داده شدند و در پایان، سه بار با آب مقطر شستشو داده شدند، سپس در سینی نشا در بستر پرلیت قرار داده شدند و پس از سبز شدن بذور، گیاهچه‌ها به جعبه‌های حاوی محلول غذایی هوگلند (۱۹)، تحت شرایط دوره نوری ۸/۱٦ ساعت و میانگین دمای ۲۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد در روز/شب انتقال داده شد. به‌منظور ثابت نگه‌داشتن شرایط رشد، حجم محلول هر روز بازبینی می‌گردید. برای تجدید مواد غذایی استفاده شده توسط گیاه، هفته‌ای یک‌بار محیط غذایی مورد استفاده تعویض و pH محیط با استفاده از KOH و HCL بین ۵/۵ تا ٦/۷ تنظیم گردید. محیط کشت به‌منظور رشد ریشه‌ها توسط پمپ‌های هوا به طور مرتب هوادهی شد. در مرحله یک تا دو برگی گیاه، پتانسیل‌های آبی در سطوح مورد نظر با استفاده از پلی اتیلن گلایکول (PEG) ٦۰۰۰ به روش میشل و کافمن (۱۹۷۳) و با استفاده از رابطه (۱) اعمال گردید (۳۲).

رابطه ۱:

$$T^{۲}C + (۸/۳۹ \times ۱۰^{-۷})\, CT^{۲} + (۲/٦۷ \times ۱۰^{-٤})\, C۱۰^{-٤}) - (۱/۱۸ \times C = -(۱/۱۸ \times ۱۰^{-۲})\, \Psi_s$$

در این رابطه، Ψ_s پتانسیل اسمزی برحسب بار، C غلظت PEG برحسب گرم در لیتر آب و T دمای محیط آزمایشی برحسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای جلوگیری از شوک اسمزی و به منظور عادت دادن گیاهان به غلظت PEG این ماده به تدریج به ظرف حاوی محلول غذایی افزوده شد تا در نهایت، فشار اسمزی مورد نظر در محیط کشت به‌دست آمد. پس از اینکه گیاهان به مرحله سه برگی رسیدند، محلوپاشی توسط تنظیم‌کننده‌های رشد جیبرلین (۱۰۰ میکرومولار)، سیتوکینین (۱۰۰ میکرومولار) و سایکوسل به میزان ۳ گرم در لیتر و در تیمار شاهد، محلول‌پاشی با آب مقطر انجام گرفت و پس از اینکه گیاهان به مرحله چهار برگی رسیدند، نمونه‌ها برداشت گردید و پس از تفکیک اندام‌هوایی و ریشه از یکدیگر و قرار دادن نمونه‌ها به مدت ٤۸ ساعت در آون ۷۰ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک ریشه و

اندام‌هوایی توسط ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ توزین گردید و برحسب گرم بیان شد. سپس، نسبت وزن خشک ریشه به اندام‌هوایی محاسبه گردید. حجم ریشه نیز از طریق اختلاف حجم آب در استوانه مدرج محاسبه شد، به این ترتیب که ریشه‌ها پس از چند بار شستشو، در یک استوانه مدرج با میزان مشخص آب قرار گرفتند و از روی افزایش حجم آب، حجم ریشه بر حسب سانتی‌متر مکعب به‌دست آمد. طول ریشه و ارتفاع گیاه نیز با استفاده از خط‌کش مدرج بر حسب سانتی‌متر اندازه‌گیری گردید.

در مزرعه، آزمایش به صورت کرت‌های دوبار خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. در این تحقیق تیمار آبیاری در چهار سطح بدون آبیاری (دیم)، یک بار آبیاری (در مرحله غلاف رفتن)، دو بار آبیاری (در مراحل غلاف رفتن + گلدهی) و سه بار آبیاری (در مراحل غلاف رفتن + گلدهی+ دانه‌بندی) به عنوان عامل اصلی و دو رقم گندم (سیروان و هما) به‌عنوان عامل فرعی و تیمار تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار جیبرلین، محلول‌پاشی با غلظت ۱۰۰ میکرومولار سیتوکینین و محلول‌پاشی سایکوسل به میزان ۳ گرم در لیتر به عنوان عامل فرعی فرعی در نظر گرفته شدند. مشخصات خاک و داده‌های هواشناسی محل انجام آزمایش در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است. عملیات تهیه بستر بذر شامل شخم پاییزه، دیسک و تسطیح بود. کشت در تاریخ ١٤ آبان ماه توسط بذرکار انجام گردید. هر رقم در ۱۹ ردیف ۱۰ متری به فواصل ۱۵ سانتی‌متر و تراکم ۳۵۰ بذر در مترمربع کاشته شد.

آبیاری به صورت قطره‌ای و حجم آب مصرفی از طریق روابط زیر محاسبه و به وسیله کنتور اندازه‌گیری شد (١٦).

رابطه ۲: $I = (\theta_t - \theta_n) \times \rho b \times D_h \times A$

رابطه ۳: $\theta_t = (\theta_{\max} - \theta_{tr})/100$

که در آن I= مقدار آب آبیاری بر حسب مترمکعب، Θ_t= میلی‌گرم آب بر گرم وزن خاک خشک بعد از آبیاری، Θ_{max}=میلی‌گرم بر گرم وزن خاک خشک در ظرفیت زراعی، Θ_{tr}= نسبت رطوبت نهایی به رطوبت در ظرفیت زراعی، ρb=چگالی مخصوص ظاهری برحسب گرم بر سانتی‌متر مکعب، Θ_n= میلی‌گرم بر گرم خاک خشک قبل از آبیاری، D_h=عمق ریشه (متر) و A= مساحت کرت آزمایشی برحسب متر مربع می‌باشد. عمل محلول‌پاشی در مرحله ساقه رفتن و بعد از غروب آفتاب صورت گرفت. بوته‌های شاهد نیز هم‌زمان با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. به منظور جلوگیری از برهم‌کنش تنظیم‌کننده‌های رشد با علف‌کش‌های شیمیایی، کنترل علف‌های هرز به صورت وجین دستی انجام شد.

جهت اندازه‌گیری صفات مورد نظر، در مرحله دانه‌بندی از برگ پرچم نمونه‌برداری صورت گرفت. نمونه‌ها بلافاصله بعد از قرار گرفتن در ورقه‌های آلومینیومی، در نیتروژن مایع منجمد گردیدند و سریعاً به یخچال انتقال پیدا کردند و تا زمان اندازه‌گیری صفات در دمای ٤٠- درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شدند. اندازه‌گیری میزان فنل کل بر اساس روش رنگ‌سنجی فولین سیوکالتیو با استفاده از گالیک‌اسید به عنوان استاندارد صورت گرفت. جذب نمونه‌ها در طول موج ٧٦٠ نانومتر اندازه‌گیری شد (٤٨). اندازه‌گیری میزان فلاونوئیدها براساس روش رنگ‌سنجی آلومینیوم صورت گرفت و از نمودار منحنی استاندارد کاتکین استفاده شد. میزان جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۰ نانومتر خوانده شد (۵۱). برای اندازه‌گیری آنتوسیانین، ۰/۱ گرم نمونه برگی با ۵ میلی‌لیتر متانول اسیدی سائیده شد و بعد از قرار دادن نمونه‌ها در شیکر به مدت ٤ ساعت، عصاره

حاصل در ۱۰۰۰۰ دور و به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۵ و ٦٥٧ نانومتر اندازه‌گیری شد (۲۹). همچنین در مرحله رسیدگی با در نظر گرفتن اثر حاشیه، یک متر مربع از کرت‌های آزمایشی برداشت گردید و عملکرد دانه در واحد سطح تعیین شد.

پس از انجام آزمون نرمال بودن داده‌ها، تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1 و مقایسات میانگین با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت. برای ترسیم شکل‌ها نیز از نرم افزار Excel استفاده گردید.

جدول ۱- برخی از ویژگی‌های خاک محل انجام آزمایش.

Table 1- Some characteristics of soil site experiment.

فسفر (قسمت در میلیون) P (ppm)	پتاسیم (قسمت در میلیون) K (ppm)	نیتروژن (درصد) N (%)	موادآلی (درصد) O.C(%)	بافت خاک Soil texture		
				رس (درصد) Clay (%)	سیلت (درصد) Silt(%)	شن (درصد) Sand (%)
12.4	320	0.09	0.76	47.4	38.4	14.2

جدول ۲- داده‌های هواشناسی منطقه در طی ماه‌های اجرای آزمایش

Table 2- Meteorological data of the region during the experiment period.

ماه Month	مهر Oct.	آبان Nov.	آذر Dec.	دی Jan.	بهمن Feb.	اسفند Ma.	فروردین Apr.	اردیبهشت May.	خرداد Jun.	تیر Jul.
بارندگی (میلی‌متر) Precipitation (mm)	0	10.1	20.1	46.1	39.7	62.4	52.9	43.4	0	0
دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد) Min. temperature (°C)	8.01	5.91	-4.43	-3.28	-5.67	-2.08	4.93	10.04	13.75	18.24
دمای حداکثر (درجه‌سانتی‌گراد) Max. temperature (°C)	22.62	15.5	7.08	7.12	3.09	8.56	14.46	22.35	28.21	33.32

نتایج و بحث

کشت هیدروپونیک

وزن خشک ریشه: نتایج تحقیق نشان داد که وزن خشک ریشه از نظر آماری تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و اثرات متقابل دوجانبه و سه جانبه آن‌ها قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین مربوط به اثر متقابل سه عامل نشان داد که در هر دو رقم میزان وزن خشک ریشه در پتانسیل رطوبتی ٤- بار بیشتر از دو سطح رطوبتی دیگر بود و در بین تنظیم‌کننده‌ها کاربرد سایکوسل در رقم هما بیش‌ترین اثر را بر افزایش این صفت در شرایط خشکی داشت. به‌طور کلی، در بین تیمارها بیش‌ترین وزن خشک ریشه (۰/۰٤ گرم) با کاربرد سایکوسل در پتانسیل ٤- بار و در رقم هما به‌دست آمد. گزارش شده است که با کاربرد سایکوسل مواد پرورده بیش‌تری به سمت ریشه‌ها انتقال می‌یابد و ریشه‌دهی بیش‌تری را موجب می‌شود (٤٥). به‌نظر می‌رسد جلوگیری از توسعه اندام هوایی در این سطح تنش، میزان مصرف کربن و انرژی را در اندام هوایی کاهش داده، بنابراین سهم بیش‌تری از مواد آسیمیله شده در ریشه توزیع و سبب رشد بیش‌تر ریشه شده است. افزایش وزن ریشه در نتیجه کاربرد سایکوسل در شرایط خشکی توسط شریف و همکاران (۲۰۰۷) نیز گزارش شده است (٤٥).

وزن خشک اندام هوایی: نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اختلاف معنی‌داری را در بین سطوح عامل اصلی و اثرات متقابل آن‌ها نشان داد (جدول ۳). اثر متقابل سه عامل نشان داد که در اکثر تیمارها با

افـزایش شـدت تـنش کمبـود آب، وزن خشـک اندام‌هوایی کاهش یافت. در رقم هما بـیش‌تـرین وزن خشک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای کـاربرد جیبـرلین (۰/۱۵۳ گرم) و سـیتوکینین (۰/۱۳۵ گـرم) و در رقـم سیروان مربوط به کـاربرد سایکوسل (۰/۱٤۳ گرم) و در پتانسیل صفر بار بود و کم ترین مقدار ایـن صـفت نیز در هر دو رقم، در پتـانسیل ۸- بـار بـه‌دسـت آمد (جدول ٤). کاهش وزن اندام هوایی در اثر تـنش کمبود آب در محصولات مختلف گزارش شده اسـت (۵۳). نتایج تحقیـق تـوکلی و همکـاران (۲۰۱۰) نیـز بیان‌گر کاهش قابل توجه وزن اندام هوایی دو ژنوتیـپ جو تحت تأثیر تنش در هر دو محـیط هیـدروپونیک و خاک بود که با کاهش رشد گیاه ارتبـاط داشـت (۵۰). در تحقیقی روی گیاهچه دو رقم گندم گزارش گردید که خشکی سبب کاهش قابل توجهی در وزن خشـک کـل هـر دو رقـم بـه ویـژه رقـم حسـاس بـه خشکـی گردید، علاوه بر این، کاربرد کینیتـین سبب افـزایـش قابل توجهی در وزن خشک کل گیاهچه ها تحت هر دو شرایط تنش و عدم تـنش خشکی در دو رقم مورد مطالعه شد (۲). از آنجایی که سیتوکینین‌هـا نقش مهمی در بسیاری از جنبـه‌هـای رشـد و توسـعه گیاه مانند تقسـیم سـلول، بـزرگ شـدن سـلول‌هـا و اندام‌ها، جلوگیری از تخریـب کلروفیـل، بـاز و بسـته شدن روزنـه‌هـا و تکامـل کلروپلاسـت دارنـد (۱۰)، می‌توانند سبب افزایش وزن گیاهچه گردنـد از طرفـی افزایش سریع تقسیم سلولی و طویل شدن سـلول بـا کاربرد جیبرلین (۱۷) نیز می‌تواند دلیلـی بـر افـزایش وزن انـدام هـوایی در ایـن آزمـایش توسـط ایـن تنظیم‌کننده باشد. سایکوسل نیز ممکن است بـا تـأثیر مثبت بر بهبود فعالیت های فتوسنتزی از طریق افزایش میـزان کلروفیـل (۱۵) وزن خشـک انـدام هـوایی را افزایش داده باشد.

نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی: نتایج تجزیه واریانس داده ها نشـان داد کـه نسـبت وزن ریشـه بـه اندام‌هوایی از نظـر آمـاری تحـت تـأثیر همـه عوامـل مـورد مطالعه و اثرات متقابل آن‌ها به‌جـز اثـر متقابـل تنش در رقم قرار گرفت (جـدول۳). اثـر متقابـل سـه جانبه نشان داد که در هر دو رقم نسـبت وزن خشـک ریشـه بـه انـدام هـوایی در پتانسـیل ٤- و ۸- بـــار نسبـت به پتانسیل صفر بـار بـالاتر بـود (جـدول ٤). نسبت وزن ریشه‌چه به ساقه‌چه بیش‌تـرین حساسـیت را به تنش اسمزی دارد (۳) و گزارش شده اسـت کـه تنش خشکی علاوه بر کاهش وزن خشک گیاه، سبب افـزایش نسـبت ریشـه بـه انـدام مـی‌شـود و ایـن افـزایـش، بـه کاهش بیش‌تر رشد اندام‌های هـوایـی نسبت به ریشه مرتبط است (۲٤). عبـدی و همکـاران (۲۰۱۵) نیز گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، رشد ریشـه نسبت به رشد قسمت هـای هـوایی گیـاه کم‌تر تحت تأثیر قرار می‌گیرد به طوری که نسبت کلی ریشه به اندام‌های هوایی افزایش مـی‌یابـد (۱). نتـایج همچنین نشان داد که هرچند در رقم سیروان محـلـول پاشی تنظیم‌کننده‌ها در شرایط تنش خشکی اثر مثبتـی بـر افـزایش صـفت مـذکور نداشـت امـا بـا کـاربرد سایکوسل در رقم هما بیش‌ترین نسـبت وزن خشـک ریشه به اندام هوایی بـه تـرتیـب برابـر بـا ۰/٤۲ و ۰/۳٤ در پتانسیل ٤- و ۸- بار به‌دسـت آمـد (جـدول ٤). سایکوسل از طریق تغییر در توزیع اسمیلات ها به نـفع ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی را در تمام سطوح تنش اسمزی افـزایش مـی‌دهـد (۳۸).

جدول ۳- تجزیه واریانس(میانگین مربعات) تأثیر تنش خشکی، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات اندازه‌گیری شده در کشت هیدروپونیک.

Table 3- Analysis of variance (mean squares) for the effect of drought stress, cultivar and plant growth regulators (PGRs) on experimented traits in hydroponic cultivation.

منابع تغییر S. O. V	درجه آزادی df	وزن خشک ریشه Root dry weight	وزن خشک اندام هوایی Shoot dry weight	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root Shoot $^{-1}$ dry weight ratio	حجم ریشه Root volume	طول ریشه Root length	ارتفاع گیاه Plant height
تکرار Replication	2	0.00001	0.0005	0.001	0.005	2.430	48.85
خشکی(D) Drought	2	0.0004^{**}	0.012^{**}	0.083^{**}	0.01^{**}	50.9^{**}	822^{**}
رقم Cultivar (C)	1	0.0005^{**}	0.0004^{*}	0.043^{**}	0.013^{**}	134.4^{**}	1206^{**}
تنظیم‌کننده‌های رشد(PGRs)	3	0.0001^{**}	0.0006^{**}	0.022^{**}	0.01^{**}	2.08^{ns}	12.38^{ns}
خشکی × رقم D×C	2	0.00002^{*}	0.0003^{*}	0.002^{ns}	0.004^{ns}	6.305^{ns}	67.91^{ns}
خشکی× تنظیم‌کننده‌های رشد D×PGRs	6	0.00003^{**}	0.0005^{**}	0.006^{**}	0.001^{ns}	5.77^{ns}	39.03^{ns}
رقم × تنظیم‌کننده‌های رشد C×PGRs	3	0.0003^{**}	0.0003^{*}	0.038^{**}	0.006^{*}	7.9^{ns}	44.96^{ns}
خشکی×رقم× تنظیم‌کننده‌های رشد D×C ×PGRs	6	0.00002^{**}	0.0003^{*}	0.003^{*}	0.001^{ns}	4.83^{ns}	89.26^{ns}
خطای آزمایشی Error	46	0.00001	0.0001	0.001	0.002	5.053	41.55
درصد ضریب تغییرات CV (%)		13.36	9.8	18.83	24.98	22.3	19.9

ns، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم اختلاف معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می باشد.

ns, * and ** : Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

حجم ریشه: ریشه‌ها تنها منبع دریافت آب از خاک هستند لذا حجم، تکثیر و اندازه آن‌ها معیار مقاومت تنش خشکی به‌حساب می‌آید (۱۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر تنش خشکی، رقم و کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۵ درصد بر حجم ریشه گندم معنی‌دار گردید (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر سطوح تنش خشکی نشان داد که حجم ریشه در پتانسیل ٤- بار نسبت به پتانسیل صفر و ۸- بار به ترتیب ۱۳/۹ و ۲۰ درصد بیش‌تر بود (شکل ۱- الف). با توجه به وجود همبستگی مثبت بین حجم ریشه و وزن آن (۸) می‌توان گفت با افزایش وزن ریشه در این سطح تنش، حجم ریشه نیز افزایش یافته است. در گزارشی علت بیش‌تر بودن حجم، سطح و طول ریشه در تیمار کم آبیاری ناقص و تیمار کم آبیاری تنظیم شده نسبت به تیمار آبیاری کامل را افزایش ریشه‌های ثانویه در این تیمارها بیان نمودند (١٤). بالا بودن حجم ریشه بیش‌تر و به دنبال آن جذب آب و مواد غذایی از فضای بیش‌تری از خاک یکی از ویژگی‌هایی است که در ایجاد تحمل به خشکی مؤثر است. نتایج آماری به دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد. حجم ریشه در شرایط شاهد و کاربرد سایکوسل در رقم هما از رقم سیروان بیش‌تر بود اما با کاربرد دو تنظیم‌کننده دیگر بین دو رقم اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نگردید. واکنش ارقام نسبت به

تیمارهای محلول‌پاشی متفاوت بود. در رقم هما کاربرد سایکوسل باعث افزایش معنی دار حجم ریشه نسبت به دیگر تیمارها شد. در رقم سیروان کاربرد هر سه تنظیم‌کننده رشد باعث افزایش معنی‌دار حجم ریشه نسبت به شاهد گردید (شکل ۱- ب).

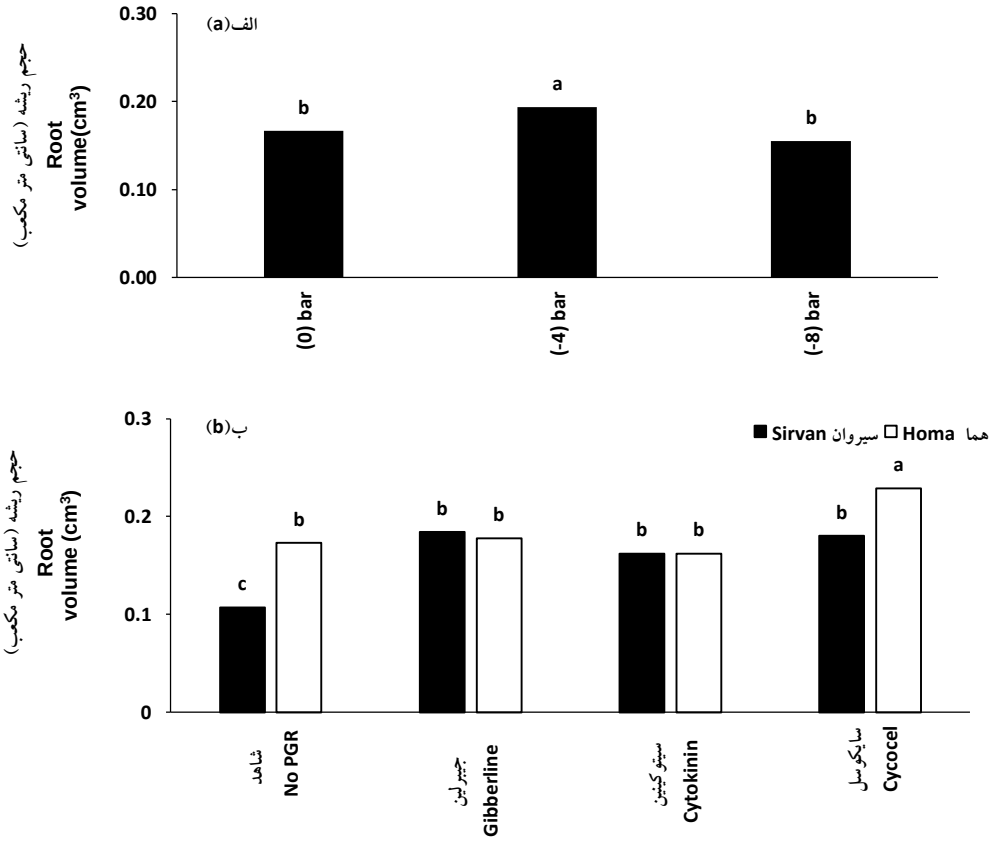
جدول ٤- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه تنش خشکی، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد بر وزن خشک ریشه واندام هوایی و نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی در گندم در کشت هیدروپونیک.

Table 4- Means comparison of triple interaction between drought stress, cultivar, and plant growth regulators on root and shoot dry weight and root to shoot dry weight ratio in wheat in hydroponic cultivation.

خشکی Drought	رقم Cultivar	تنظیم‌کننده‌های رشد PGR_S	وزن خشک ریشه (گرم) Root dry weight (g)	وزن خشک اندام هوایی(گرم) Shoot dry weight (g)	نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی Root Shoot^{-1} dry weight ratio
۰ بار 0 bar	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	0.0150g-j	0.113de	0.133h-k
		جیبرلین Gibberline	0.0130i-l	0.131bc	0.099kl
		سیتوکینین Cytokini	0.0147g-k	0.133b	0.111j-l
		سایکوسل Cycocel	0.0095kl	0.143ab	0.066l
	هما Homa	شاهدNo PGR	0.148g-j	0.104d-g	0.142g-k
		جیبرلین Gibberline	0.0120 j-l	0.153a	0.078l
		سیتوکینین Cytokinin	0.0183d-h	0.135b	0.136i-k
		سایکوسل Cycocel	0.0213c-e	0.116cd	0.184e-g
٤- بار -4 bar	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	0.0230cd	0.090g-j	0.257c
		جیبرلین Gibberline	0.0175e-i	0.096f-h	0.182e-i
		سیتوکینین Cytokinin	0.019c-gc	0.097e-h	0.204d-f
		سایکوسل Cycocel	0.0198c-g	0.09g-j	0.220c-e
	هما Homa	شاهد No PGR	0.0208c-e	0.102d-g	0.205d-f
		جیبرلین Gibberline	0.0238c	0.096gh	0.250cd
		سیتوکینین Cytokinin	0.0178d-i	0.105d-g	0.170e-i
		سایکوسل Cycocel	0.04a	0.095gh	0.420a
۸- بار -8 bar	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	0.0155f-j	0.085h-j	0.183e-g
		جیبرلین Gibberline	0.0078l	0.08h-j	0.098kl
		سیتوکینین Cytokinin	0.0140h-k	0.075ij	0.187e-h
		سایکوسل Cycocel	0.0105j-i	0.078ij	0.134i-k
	هما Homa	شاهد No PGR	0.0148h-k	0.091g-i	0.154f-j
		جیبرلین Gibberline	0.0203c-f	0.112d-f	0.181e-i
		سیتوکینینCytokinin	0.0147g-k	0.074j	0.198d-f
		سایکوسل Cycocel	0.0307b	0.089g-j	0.345b

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level.



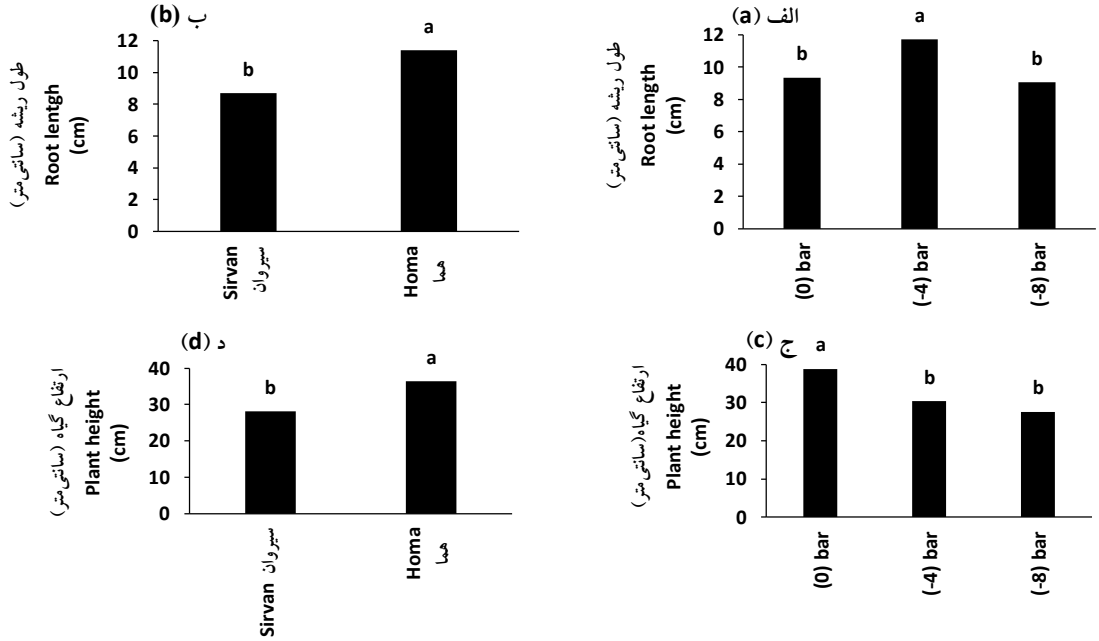
شکل ۱- مقایسه میانگین اثر اصلی خشکی (الف) و اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد (ب) بر حجم ریشه در کشت هیدروپونیک.

Figure 1- Mean comparison of simple effects of drought stress (a), and Interaction between cultivar and plant growth regulators application (b) on volume of wheat roots in hydroponic cultivation.

طول ریشه: طول ریشه تعیین‌کننده وضعیت جذب آب و عناصر غذایی از لایه‌های زیرین نیمرخ خاک است که این ویژگی در زراعت دیم دارای اهمیت زیادی است (۱۳). نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که این پارامتر تحت تأثیر تیمار رطوبتی قرار گرفت و با اعمال تنش خشکی طول ریشه در پتانسیل ٤- بار نسبت به پتانسیل صفر بار بیش‌تر بود، اما در پتانسیل ۸- بار طول ریشه نسبت به شرایط عدم تنش کاهش یافت (شکل ۲- الف). به نظر می‌رسد افزایش طول ریشه در پتانسیل ٤- بار سبب افزایش وزن خشک ریشه در این پتانسیل شده باشد. افزایش طول ریشه تحت تنش کمبود آب توسط شیبیر و همکاران (۲۰۱۵) نیز گزارش گردیده است (٤۳). در صورت وقوع مقادیر تنش بالاتر تا سطح معینی، گیاه مجبور به توسعه ریشه خود خواهد شد و بالاخره در تنش بسیار شدید (از سطح تنش متوسط به شدید) کاهش طول ریشه، گواهی بر مرگ ریشه‌ها خواهد بود (۵). بر اساس نتایج آزمایش، طول ریشه در رقم سیروان در مقایسه با رقم هما ۲٤ درصد کم‌تر بود و از این رو تفاوت بین آن‌ها در سطح احتمال ۱ درصد برای این صفت معنی‌دار گردید (شکل ۲- ب).

ارتفاع گیاه: بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر تیمار رطوبتی و رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۳). بر اساس نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها مشخص شد که بیش‌ترین ارتفاع از تیمار عدم تنش و کم‌ترین آن نیز از تیمار ۸- بار به‌دست آمد که با پتانسیل رطوبتی ٤- بار در یک

گروه آماری قرار داشتند (شکل ۲- ج). کاهش طول ریشه و اندام هوایی تحت تنش شدید کمبود آب در تحقیقات دیگر نیز گزارش شده است (۳۳). نتایج مقایسه دو رقم مشخص کرد که رقم هما با میانگین ۳۶/۳ سانتی‌متر دارای ارتفاع بیش‌تری نسبت به رقم سیروان با میانگین ۲۸/۱ سانتی‌متر بود و این اختلاف کاملاً معنی‌دار گردید (شکل ۲-د). شاید بتوان ارتفاع بیش‌تر اندام هوایی در رقم هما نسبت به رقم سیروان را به طول (شکل ۲- ب) و حجم بیش‌تر (شکل ۱- ب) ریشه در این رقم نسبت داد.



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر اصلی تنش خشکی (الف) و اثر اصلی رقم (ب) بر طول ریشه گندم و اثر اصلی تنش خشکی (ج) و اثر اصلی رقم (د) بر ارتفاع گیاه گندم در کشت هیدروپونیک.

Figure 2- Mean comparison of simple effects of drought stress (a) and cultivar (b) on wheat root length and drought stress (c) and cultivar (d) on wheat Plant height in hydroponic cultivation.

آزمایش مزرعه‌ای

فنل کل: تجزیه واریانس داده‌ها بیان‌گر آن بود که اثرات اصلی سطوح مختلف آبیاری، تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه فاکتور روی این صفت در سطح احتمال ۱ درصد و اثر متقابل رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). میزان فنل کل در بین تیمارها از ۲/۳۴۷ میلی‌گرم گالیک‌اسید در گرم وزن تر که از رقم هما تحت تیمار سه آبیاری و کاربرد جیبرلین به دست آمد تا ۱۱/۲۱ میلی‌گرم گالیک‌اسید در گرم وزن تر در رقم هما تحت تیمار یک آبیاری و شرایط شاهد متغیر بود. در حالت کلی، در هر دو رقم در اکثر تیمارهای کاربرد یا عدم کاربرد تنظیم کننده‌های رشد، با افزایش شدت تنش خشکی میزان فنل کل در گیاه افزایش یافت و در تیمار دیم اثر مثبت سیتوکینین بر افزایش فنل کل نسبت به دو تنظیم کننده دیگر مشاهده شد اگرچه این اختلاف معنی‌دار نبود (جدول ٦). گزارش گردیده است که تحت شرایط تنش میزان فنل کل در گیاه گندم افزایش می‌یابد (۳۰) و همبستگی مثبتی بین فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها و تجمع میزان فنل کل در این گیاه وجود دارد (۲۸). افزایش

تولید فنل کل تحت کاربرد تنظیم‌کننده رشد سیتوکینین توسط محققین گزارش شده است (۳۶). بدیهی است که اثر هورمون ها بسته به گونه گیاهی و گروه متابولیت ثانویه متفاوت است و معمولاً با کاربرد سیتوکینین‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و متابولیت‌های ثانویه از جمله فنولیک اسیدها افزایش می‌یابد (۲۰).

جدول ۵- تجزیه واریانس تأثیر آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد بر صفات مورد مطالعه در گندم در آزمایش مزرعه‌ای.

Table 5- Analysis of variance for the effect of Irrigation and plant growth regulators (PGRs) on experimented traits of two cultivars of wheat in field experiment.

			میانگین مربعات MS			
S. O. V	منابع تغییر	درجه آزادی df	فنل کل Total Phenol	فلاونوئید Flavonoids	آنتوسیانین Anthocyanin	عملکرد دانه Grain yield
Replication	تکرار	2	0.193	0.805	0.740	579.93**
Irrigation (I)	آبیاری	3	57.805**	12.669**	5.526*	160265.8**
Error1	خطای اول	6	2.151	0.682	0.807	355.9
Cultivar (C)	رقم	1	2.303^{ns}	0.001^{ns}	0.298^{ns}	15384.7*
I× C	آبیاری × رقم	3	3.017^{ns}	20.717*	0.414^{ns}	499.4^{ns}
Error 2	خطای دوم	8	0.917	2.982	0.224	173.1
PGRs	تنظیم‌کننده‌های رشد	3	10.674**	8.841**	2.190**	3192.7**
I×PGR	آبیاری × تنظیم‌کننده‌های رشد	9	13.662**	1.255^{ns}	0.640**	3920.3**
C ×PGRs	رقم × تنظیم‌کننده‌های رشد	3	2.799*	12.358**	0.591**	4130.04**
I× C ×PGRs	آبیاری × رقم× تنظیم‌کننده‌های رشد	9	12.534**	5.748**	1.097**	2377.9**
Error 3	خطای سوم	48	0.905	1.626	0.131	710.4
CV (%)	درصد ضریب تغییرات		13.29	24.59	21.27	7.3

ns، * و** به‌ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد می‌باشد.

ns, * and **: Not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

فلاونوئید: نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی آبیاری و تنظیم‌کننده‌های رشد، اثرات متقابل دوگانه آبیاری در رقم، رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه عامل معنی‌دار گردید (جدول ۵). اثر متقابل سه جانبه نشان داد که در رقم هما با کاربرد و عدم کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، تیمار دیم اختلاف معنی‌داری از لحاظ میزان فلاونوئید با دیگر تیمارهای آبیاری نداشت، اما در رقم سیروان میزان این صفت در تیمار دیم بیش‌تر بود. به طور کلی، بیش ترین میزان فلاونوئید معادل ۹/۴۲۳ میلی گرم کاتکین در گرم وزن تر با کاربرد جیبرلین در شرایط دیم و در رقم سیروان به‌دست آمد. (جدول ٦). نتایج مشابهی از افزایش فلاونوئیدها طی تنش خشکی در برگ گندم گزارش شده است (۲۹). فلاونوئیدها با مکانسیم های تحمل خشکی در برگ گندم مرتبط هستند (۳۰) و یکی از اجزای اصلی ظرفیت آنتی اکسیدانی در برگ این گیاه می باشند (٥٦). از آنجائیکه جیبرلین سبب کاهش اثر تنش اکسیداتیو در گیاه می‌شود (۲۲) احتمالاً این تنظیم‌کننده رشد، در مقابله با تنش خشکی میزان فلاونوئیدها را افزایش داده است.

جدول ٦- مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌جانبه آبیاری، رقم و تنظیم‌کننده‌های رشد بر میزان فنل کل، فلاونوئید، آنتوسیانین و عملکرد دانه در گندم در آزمایش مزرعه‌ای

Table 6- Means comparison of triple interaction of irrigation, cultivar and plant growth regulators on total Phenol, flavonoids, anthocyanins and yield of wheat in field experiment

آبیاری Irrigation	رقم Cultivar	تنظیم‌کننده‌های رشد PGRs	فنل کل(میلی‌گرم بر گرم) Total Phenol ($mg\ g^{-1}$)	فلاونوئید (میلی‌گرم برگرم) Flavonoids ($mg\ g^{-1}$)	آنتوسیانین (میلی‌گرم برگرم) Anthocyanin ($mg\ g^{-1}$)	عملکرد دانه (گرم برمترمربع) Grain yield ($g\ m^{-2}$)
دیم D	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	10.295ab	8.376ab	1.426h-k	283.6l-n
		جیبرلین Gibberline	8.503c-g	9.423a	2.475b-d	246.5n-p
		سیتوکینین Cytokinin	9.866a-c	5.178c-h	1.958c-h	220.43pq
		سایکوسل Cycocel	8.825b- f	6.549b-d	3.299a	201.3q
	هما Homa	شاهد No PGR	8.983b-d	5.574c-f	1.897d-h	290.7k-m
		جیبرلین Gibberline	6.747i-l	4.35e-k	2.274b-f	237.9o-q
		سیتوکینین Cytokinin	9.855a-c	5.321c-g	2.587b	298.7j-m
		سایکوسل Cycocel	8.345c-h	4.365e-k	3.358a	278m-o
یک‌آبیاری 1 IRR	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	8.436c-g	2.812k	0.495m	326.3i-l
		جیبرلین Gibberline	7.395e-j	5.022c-j	1.270i-l	346.5g-i
		سیتوکینین Cytokinin	6.484j-k	3.442gk	1.692f-j	329.6i-k
		سایکوسل Cycocel	9.333b-d	3.00jk	2.025b-g	398.5d-f
	هما Homa	شاهد No PGR	11.213a	6.107c-e	2.023b-g	324.5i-l
		جیبرلین Gibberline	7.312f-j	5.295c-g	1.375h-k	416.7c-e
		سیتوکینین Cytokinin	6.725i-l	4.489d-k	1.107j-l	399.1d-f
		سایکوسل Cycocel	5.194l-n	5.028c-j	1. 613g-k	359.42f-i
دوآبیاری 2 IRR	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	7.071g-k	4.307e-k	1.426h-k	375.6e-h
		جیبرلین Gibberline	9.066b-d	8.24ab	0.693lm	341.9h-j
		سیتوکینین Cytokinin	3.231op	3.104h-k	2.4b-e	397.4d-f
		سایکوسل Cycocel	5.930j-m	6.003c-e	1.1830i-l	391.1d-f
	هما Homa	شاهد No PGR	6.066j-m	5.132c-i	1.777f-i	385.8d-g
		جیبرلین Gibberline	8.131d-i	4.339e-k	1.627g-k	408.6c-e
		سیتوکینین Cytokinin	8.924b-e	6.322b-e	1.04 k-m	401.6d-f
		سایکوسل Cycocel	4.92mn	4.391e-k	2.528 bc	391.1d-f
سه‌آبیاری 3 IRR	سیروان Sirvan	شاهد No PGR	6.843h-k	3.039i-k	1.869e-h	429.1cd
		جیبرلین Gibberlin	2.96op	4.794c-k	1.440g-k	403.1c-f
		سیتوکینین Cytokinin	8.835b-f	4.970c-j	1.073k-m	445.9bc
		سایکوسل Cycocel	3.981no	4.768c-k	1.621g-k	502.3a
	هما Homa	شاهد No PGR	4.862mn	6.562b-d	1.777j-l	418.5c-e
		جیبرلین Gibberline	2.347p	6.725bc	1.073 k-m	446.8bc
		سیتوکینین Cytokinin	5.603k-m	5.210c-g	1.102j-l	504 a
		سایکوسل Cycocel	6.872h-k	3.689f-k	1.57g-k	482.7ab

در هر ستون میانگین‌های دارای حروف مشترک ، در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی داری ندارند.

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability levels.
D: Dry land; 1 IRR: One time irrigation; 2 IRR: Two times irrigation; 3 IRR: Three times irrigation.

افزایش میزان فلاونوئید توسط جیبرلین در گندم سیاه نیز گزارش گردیده است (۳۷). همچنین در مطالعه ای روی برنج گزارش شده است که پرایمینگ با جیبرلین از طریق افزایش میزان فلاونوئید و

فنولیک کل سبب بهبود تنش اکسیداتیو در گیاه می‌گردد (۷).

آنتوسیانین‌ها: تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی آبیاری در سطح احتمال ۵ درصد و اثر اصلی تنظیم‌کننده‌های رشد، اثرات متقابل دوگانه آبیاری در تنظیم‌کننده‌های رشد، رقم در تنظیم‌کننده‌های رشد و اثر متقابل سه عامل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار گردید (جدول ۵). نتایج نشان داد که کمبود آب باعث افزایش تولید آنتوسیانین‌ها در گندم گردید و در شرایط دیم میزان این ترکیبات به طور قابل توجهی بیش‌تر بود. در حالت کلی، محلول‌پاشی دو رقم با سایکوسل تحت شرایط دیم، میزان آنتوسیانین تولید شده در گیاه را نسبت به سایر تیمارهای محلول‌پاشی در شرایط دیم و آبیاری به طور معنی‌داری افزایش داد (جدول ٦). افزایش میزان آنتوسیانین تحت تنش اسمزی در گیاهچه گندم توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (٤٧). نتایج تحقیقات نشان داده است که تجمع آنتوسیانین‌ها در گیاه بستگی به غلظت فیتوهورمون و بافت مورد مطالعه گیاه دارد (۲۱) و سنتز این ترکیبات توسط سایکوسل کنترل می‌شود (٤٩). در آزمایشی دریافتند که افزایش سنتز آنتوسیانین با کاربرد سایکوسل به تنهایی یا به همراه جیبرلیک اسید می‌تواند به دلیل افزایش اسیدهای آمینه آزاد به‌ویژه فنیل آلانین باشد (۲۳).

عملکرد دانه: نتایج این تحقیق نشان داد که عملکرد دانه از نظر آماری تحت تأثیر تمامی اثرات اصلی و اثرات متقابل دوجانبه و سه جانبه آن‌ها به جز اثر متقابل آبیاری در رقم قرار گرفت (جدول ۵). در هر دو رقم در شرایط کاربرد و عدم کاربرد تنظیم کننده ها، تیمار دیم دارای عملکرد پایین تری نسبت به سایر تیمارهای آبیاری بود و اعمال آبیاری باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین عملکرد دانه در رقم سیروان با کاربرد سایکوسل (۵۰۲/۳ گرم در مترمربع) و در رقم هما با کاربرد سیتوکینین (٥٠٤ گرم در مترمربع) در تیمار سه آبیاری به دست آمد (جدول ٦). در اثر کاربرد به هنگام سایکوسل، به دلیل ازدیاد تعداد دانه که آن هم به نوبه‌ی خود نتیجه ازدیاد تعداد سنبله بارور و تعداد دانه در سنبله است عملکرد دانه گندم افزایش می یابد، یعنی اندازه مقصد فیزیولوژیک بزرگ‌تر می‌شود (٤٦). مشاهدات خلیل‌زاده و همکاران (۲۰۱٦) نشان داد که سایکوسل به دلیل تغییر در تخصیص مواد پرورده به سمت پر شدن دانه موجب افزایش وزن دانه و عملکرد در گیاهان می‌شود (۲٦). سیتوکینین نیز با به تعویق انداختن پیری و افزایش دوره فعال رشد دانه (۲۰) و با اثر مثبت روی بافت مخزن و افزایش ظرفیت فتوسنتزی موجب افزایش عملکرد دانه می شود. اثر مثبت سیتوکینین بر افزایش عملکرد دانه گندم توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (۹).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کشت هیدروپونیک بیان‌گر واکنش مثبت رشد ریشه رقم هما به کاربرد سایکوسل بود به‌طوری که بیش‌ترین وزن خشک ریشه، نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی و حجم ریشه در محلول‌پاشی با این تنظیم‌کننده در شرایط تنش خشکی به دست آمد و ریشه در این رقم نسبت به رقم سیروان ٢٤ درصد طویل‌تر بود. با وقوع تنش کمبود آب و افزایش شدت آن وزن و ارتفاع گیاه کاهش پیدا کرد. در آزمایش مزرعه‌ای، تحت شرایط تنش خشکی کاربرد جیبرلین سبب افزایش فلاونوئید و استفاده از سایکوسل سبب افزایش میزان آنتوسیانین گردید. در این آزمایش، اگرچه عملکرد دانه در تیمار سه بار آبیاری، ١٤ درصد بیش‌تر از تیمار دو بار آبیاری و ۲۰ درصد بیش‌تر از

تیمار یک بار آبیاری بود اما نتایج نشان داد که حتی یک مرحله آبیاری نیز توانست عملکرد دانه را نسبت به شرایط دیم حدود ۲۹ درصد افزایش دهد. به طور کلی، بیش ترین عملکرد دانه در هر دو رقم، در تیمار سه بار آبیاری و تحت محلول پاشی سیتوکینین و سایکوسل به‌دست آمد. لذا به‌نظر می‌رسد سایکوسل می‌تواند از طریق بهبود خصوصیات ریشه گندم و افزایش مقادیر متابولیت ثانویه آنتوسیانین سبب افزایش مقاومت گندم به تنش خشکی گردد. از طرفی، می‌توان در مواجه با بحران کمبود آب، با اعمال حتی یک مرحله آبیاری و در شرایط فراهمی آب با کاربرد سیتوکینین و سایکوسل میزان عملکرد را به طور قابل توجهی افزایش داد.

منابع

1. Abdi, H., Bihamta, M.R., Azizov, E. and Chogan, R. 2015. Investigation effect of drought stress level of PEG 6000 on seed germination principle and its relation with drought tolerance index in promising Lines and cultivars of bread wheat (*Triticum. aestivum* L.). Iran J. Field Crops Res. 12: 4. 582-596. (In Persian)
2. Abeed, A.H., Eissa, M.A. and Abdel-Wahab, D.A. 2021. Effect of exogenously applied jasmonic acid and kinetin on drought tolerance of wheat cultivars based on morpho-physiological evaluation. J Soil Sci Plant Nutr. 21: 131-144.
3. Aligholizadeh Moghaddam, P., Ranjbar, G.A., Najafi-Zarrini, H. and Shahbazi, H. 2021. Effect of water stress on germination and seedling characteristics of some bread wheat cultivars (*Triticum aestivum*). Iran J. Seed Res. 7: 2. 151-170. (In Persian)
4. Amitha Mithra, S.V., Tyagi, A., Kumar, S. and Singh, A. 2017. Elicitor-induced biochemical and molecular manifestations to improve drought tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) through seed-priming. Front Plant Sci. 6: 8. 934.
5. Anderson, E.L. 1987. Corn root growth and distribution as influenced by tillage and nitrogen fertilization. Agron J. 79: 3. 544-549.
6. Awan, K.A., Ali, J. and Akmal, M. 2017. Yield comparison of potential wheat varieties by delay sowing as rainfed crop for Peshawar climate. Sarhad J. Agric. 33: 3. 480-488.
7. Banerjee, A. and Roychoudhury, A. 2020. Gibberellic acid-priming promotes fluoride tolerance in a susceptible indica rice cultivar by regulating the antioxidant and phytohormone homeostasis. J. Plant Growth Regul. 39: 1476-1487.
8. Borzouei, A., Kafi, M., Khazaei, H. and Mousavi Shalmani, M. 2012. Effect of irrigation water salinity on root traits of two salt-sensitive and salt-tolerant wheat cultivars and its relationship with yield in greenhouse. JSPI. 2: 4. 95-107. (In Persian)
9. Chen, L., Zhao, J., Song, J. and Jameson, P.E. 2020. Cytokinin dehydrogenase a genetic target for yield improvement in wheat. Plant Biotechnol J. 18: 3. 614-630.
10. Criado, M.V., Caputo, C., Roberts, I.N., Castro, M.A. and Barneix, A.J. 2009. Cytokininduced changes of nitrogen remobilization and chloroplast ultrastructure in wheat (*Triticum aestivum*). J. Plant Physiol. 166: 16. 1775-1785.
11. Dias, M.C., Oliveira, H., Costa, A. and Santos, C. 2014. Improving elms performance under drought stress: the pretreatment with abscisic acid. Environ. Exp. Bot. 100: 64-73.
12. Farok, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D. and Basra, S.M.A. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agron Sustain Dev. 29: 1. 185-212.
13. Garnett, T., Conn, V. and Kaiser, B.N. 2009. Root based approaches to

improving nitrogen use efficiency in plants. Plant, Cell Environ. 32: 9. 1272–1283.

14. Ghadami, A., Raeni, M., Shahnazari, A. and Zare abyane, H. 2014. Variation of chlorophyll, leaf area index and root parameters of sunflower under, regulated deficit and partial root zone drying irrigation. Plant Prod Technol. 6: 1. 69-79. (In Persian)
15. Grewal, H.S. and Kolar, J.S. 1990. Response of *Brssica juncea* to chlorocholine chloride and ethrel sprays in association with nitrogen application. J. Agric. Sci. 114: 87-91.
16. Guo, Z., Shi, Y., Yu, Z. and Zhang, Y. 2015. Supplemental irrigation affected flag leaves senescence post-anthesis and grain yield of winter wheat in the Huang-Huai-Hai Plain of China. Field Crops Res. 180: 100-109.
17. Gupta, R. and Chakrabarty, S. 2013. Gibberellic acid in plant: still a mystery unresolved. Plant Sign. Behav. 8: e25504.
18. Ha, S., Vankova, R., Yamaguchi-Shinozaki, K., Shinozaki, K. and Tran, L.-S.P. 2012. Cytokinins: Metabolism and function in plant adaptation to environmental stresses. Trends Plant Sci. 17: 172-179.
19. Hogland, D.R. and Armon, D I. 1950. The water culture method for growing plants without soil. Circular 347, California Agricultural Experiment Station, University of California, Berkeley, CA.
20. Hönig, M., Plihalova, L., Husičkova, A., Nisler, J. and Doležal, K. 2018. Role of cytokinins in senescence, antioxidant defense and photosynthesis. Int. J. Mol. Sci. 19: 12. 4045.
21. Horbowicz, M., Kosson, R., Saniewski, M., Mitrus, J. and Koczkodaj, D. 2013. Effects of simultaneous use of methyl jasmonate with other plant hormones on the level of anthocyanins and biogenic amines in seedlings of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Acta Agrobot. 66: 17-26.
22. Iftikhar, A., Ali, S., Yasmeen, T., Arif, M.S., Zubair, M., Rizwan, M., Alhaithloul, H.A.S., Alayafi, A.A.M. and Soliman, M.H. 2019. Effect of gibberellic acid on growth, photosynthesis and antioxidant defense system of wheat under zinc oxide nanoparticle stress. Environ Pollut. Nov. 254: 113109.
23. Jain, V. and Guruprasad, K. 1989. Effect of chlorocholine chloride and gibberellic acid on the anthocyanin synthesis in radish seedlings. Physiol Plant. 75: 2. 233-236.
24. Kartika, K., Jun-Ichi, S., Benyamin, L., Shin, Y., Isao, A., Laily, I.W., Erna, S., Hibiki, I. and Arinal, H. I. N. 2021. Rice husk biochar effects on improving soil properties and root development in rice (*Oryza glaberrima* Steud.) exposed to drought stress during early reproductive stage. AIMS Agric. Food. 6: 2. 737-751.
25. Kaya, C., Tuna, A.L. and Yokas, I. 2009. The role of plant hormones in plants under salinity stress. Springer, Berlin. 44: 45-50.
26. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. 2016. Antioxidant status and physiological responses of wheat (*Triticum aestivum* L.) to cycocel application and bio fertilizers under water limitation condition. J. Plant Growth Regul. 11: 1. 130-137.
27. Khalilzadeh, R., Seyed Sharifi, R. and Jalilian, J. 2016. Effect of cycocle and bio fertilizers on quantitative and qualitative yield, rate and grain filling period of wheat under water limitation conditions. Crop Physiol .8: 31. 41-60. (In Persian)
28. Kumar, S., Beena, A.S., Awana, M. and Singh, A. 2017. Physiological, biochemical, epigenetic and molecular analyses of wheat (*Triticum aestivum*) genotypes with contrasting salt tolerance. Front Plant Sci. 8: 1151.
29. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Li, Y. and Guo, T. 2014. Expression of flavonoid biosynthesis genes and accumulation of flavonoid in wheat leaves in response to drought stress. Plant Physiol Biochem. Jul. 80: 60-6.
30. Ma, D., Sun, D., Wang, C., Qin, H., Ding, H., Li, Y. and Guo, T. 2016. Silicon application alleviates drought stress in wheat through transcriptional

regulation of multiple antioxidant defense pathways. J. Plant Growth Regul. 35: 1-10.
31. Mega, R., Abe, F., Kim, J.S., Tsuboi, Y., Tanaka, K., Kobayashi, H. and Cutler S.R. 2019. Tuning water use efficiency and drought tolerance in wheat using abscisic acid receptors. Nat. Plants. 5: 2.153.
32. Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiol. 51: 5. 914-916.
33. Mujtaba, S.M., Faisal, S., Khan, M.A., Mumtaz, S. and Khanzada, B. 2016. Physiological studies on six wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes for drought stress tolerance at seedling stage. Agric Res. Technol. 1: 2. 34-39.
34. Nickavar, B., Kamalinejad, M., Haj-Yahya, M. and Shafagh, B. 2006. Comparison of the free radical scavenging activity of six Iranian Achillea species. Pharm. Biol. 44: 208-212.
35. Nourmohammadi, GH., Siadat, A. and Kashani, A. 2010. Cereal production. Chamran University Publications. Ahwaz, Iran. 468 p. (In Persian)
36. Parić, A., Karalija, E. and Čakar, J. 2017. Growth, secondary metabolites production, antioxidative and antimicrobial activity of mint under the influence of plant growth regulators. Acta Biol. Szeged. 61: 2. 189-195.
37. Park, C.H., Yeo, H.J., Park, Y.J., Morgan, A.M., Valan Arasu, M., Al-Dhabi, N.A. and Park, S.U. 2017. Influence of indole-3-acetic acid and gibberellic acid on phenylpropanoid accumulation in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) sprouts. Molecules. 22: 3. 374-392.
38. Pirasteh-Anosheh, H. and Hashemi, S. 2020. Priming, a promising practical approach to improve seed germination and plant growth in saline conditions. Asia J Agric Food Sci. 8: 1.
39. Rahimi, A., Bihamta, M.R. and khodarahmi, M. 2017. Evaluation of different characteristics of wheat genotypes under drought stress using multivariate statistical. J. Crop Breed. 9:21. 147-152. (In Persian)
40. Robinson, H., Kelly, A., Fox, G., Franckowiak, J., Borrell, A. and L. Hickey. 2018. Root architectural traits and yield: exploring the relationship in barley breeding trials. Euphytica. 214: 151.
41. Saradadevi, R., Bramley, H., Palta, J. A. and Siddique, K.H.M. 2017. Stomatal behaviour under terminal drought affects post-anthesis water use in wheat. Funct. Plant Biol. 44: 3. 279-289.
42. Senapati, N., Stratonovitch, P. Paul M.J. and Semenov M.A. 2018. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. J Exp Bot. 70: 9. 2549-2560.
43. Shabbir, R.N., Ashraf, M.Y., Waraich, E.A., Ahmad, R. and Shahbaz, M. 2015. Combined effects of drought stress and NPK foliar spray on growth, physiological processes and nutrient uptake in wheat. Pak. J. Bot. 47: 4. 1207-1216.
44. Shah, F., Lixiao, N., Yutiao, C., Chao, W., Dongliang, X. and Shah, S. 2015. Crop plant hormones and environmental stress. Sustain Agric Rev.15: 371-400
45. Sharif, S., Saffari, M. and Emam, Y. 2007. The effect of drought stress and cycocel on barley yield (Cv. Valfajr). JWSS. 10: 4. 281-291. (In Persian)
46. Shekoofa, A. and Emam, Y. 2008. Effect of nitrogen fertilization and plant growth regulators (PGRs) on yield of wheat (*Triticum aestivum L.*) cv. Shiraz. J. Agric. Sci. Technol. 10: 2. 101-108. (In Persian)
47. Shoeva1, O.Y.U., Gordeeva1, E.I., Arbuzova1, V.S. and Khlestkina1, E.K. 2017. Anthocyanins participate in protection of wheat seedlings from osmotic stress. Cereal Res. Commun. 45: 1. 47-56.
48. Skerget, M., Kotnik, P., Hadolin, M., Hras, A.R., Simoni, M. and Knez, Z. 2005. Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. Food Chem. 89: 2. 191-198.

49. Sytar, O., Borankulova, A., Hemmerich, I., Rauh, C. and Smetanska, I. 2014. Effect of chlorocholine chlorid on phenolic acids accumulation and polyphenols formation of buckwheat plants. Biol Res. 47: 19.
50. Tavakkoli, E., Rengasamy, P. and McDonald, G.K. 2010. The response of barley to salinity stress differs between hydroponic and soil systems. Funct. Plant Biol. 37: 7. 621-633.
51. Toor, R.K. and Savage, G.P. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. Food Res. Int. 38: 5. 487-494.
52. Upreti, K.K. and Sharma, M. 2016. Role of plant growth regulators in abiotic stress tolerance. Abiotic Stress. Physiol. Hortic. Crops. 150: 414-418.
53. Wang, N., Cao, F., Richmond, M.E.A., Qiu, C. and Wu, F. 2019. Foliar application of betaine improves water-deficit stress tolerance in barley (*Hordeum vulgare* L.). J. Plant Growth Regul. 89: 1. 109-118.
54. Wen, F.P., Zhang, Z.H., Bai, T., Xu, Q. and Pan, Y.H. 2010. Proteomics reveals the effects of gibberellic acid (GA3) on salt-stressed rice (*Oryza sativa* L.) shoots. Plant Sci. 178: 170-175.
55. Zhang, H., Cui, F., Wang, L., Li, J., Ding, A.M., Zhao, C.H., Bao, Y.G., Yang, Q.P. and Wang, H.G. 2013. Conditional and unconditional QTL mapping of drought-tolerance-related traits of wheat seedling using two related RIL populations. J. Genet. 92: 213-231.
56. Zhang, Z., Xiang, J. and Zhou, L. 2015. Antioxidant activity of three components of wheat leaves: ferulic acid, flavonoids and ascorbic acid. J. Food Sci. Technol.-Mysore. 52: 7297-7304.
57. Zhu, F. 2018. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. Food Res Int. 109: 232-249.
58. Zivcak, M., Kalaji, H.M., Shao, H.B., Olsovska, K. and Brestic, M. 2014. Photosynthetic proton and electron transport in wheat leaves under prolonged moderate drought stress. J. Photochem. Photobio. 137: 107-115.