

Effect of on-farm Seed Priming and Foliar Application of Amino Acids on some Growth Indices and Yield of Rainfed Wheat under Supplementary Irrigation Conditions

Narjes Hojati Fahim¹, Mohammad Ali Aboutalebian^{2*} , Mehrdad Chaichi³

Received: November 26, 2023

Accepted: June 13, 2024

1- Ph.D Student of Crop Ecology, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University

2- Assoc. Prof., Dept. of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University

3- Dept. of Seed and Plant Improvement, Agricultural and Natural Resources Research and Training Center, Hamedan, Iran

*Corresponding Author: E-mail: m.aboutalebian@basu.ac.ir

Abstract

Background and Objective: This research was conducted with the aim of investigating the interactions of on-farm seed priming, foliar application of two amino acids, and supplementary irrigation on improving some growth indices and yield of rainfed wheat.

Materials and Methods: The experiment was conducted during the 2021-2020 cropping season at the research farm of the Agricultural Research Center of Hamedan as a three-factor factorial experiment in a randomized complete block design with three replications. The first factor was supplementary irrigation at four levels: planting, flowering, grain filling, and no supplementary irrigation. The second factor was on-farm seed priming (primed and non-primed). The third factor involved foliar application of amino acid (methionine, lysine, and pure water).

Results: Supplementary irrigation during the flowering and grain filling increased the maximum leaf area index by 45% and 35%, respectively, and the maximum total dry matter by 24.3% and 10.7%, respectively. The maximum leaf area index and total dry matter were 7.7% and 6% higher, respectively, with seed priming compared to no-priming. The application of both amino acids increased the maximum leaf area index and crop growth rate by 6.9% and 12.5%, respectively, compared to pure water. The relative growth rate increased by 12.5% with supplementary irrigation during the flowering only. Irrigation during the grain filling with the application of methionine was more effective in enhancing yield compared to lysine. Foliar application of both amino acids in combination with supplementary irrigation at flowering increased grain yield by about 45% compared to the control treatment (no supplementary irrigation and no amino acids).

Conclusion: Supplementary irrigation during the flowering, along with foliar application of amino acids and on-farm seed priming, can lead to the improvement of growth and yield of rainfed wheat by reducing drought stress intensity.

Keywords: Crop Growth Rate, Leaf Area Index, Lysine, Methionine, Relative Growth Rate, Total Dry Matter

اثر پرایمینگ مزرع‌ای بذر و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر بعضی شاخص‌های رشد و عملکرد گندم دیم تحت شرایط آبیاری تکمیلی

نرجس حجتی فهیم^۱، محمدعلی ابوطالبیان^{۲*}، مهرداد چایچی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵

۱- دانشجوی دکترای اکولوژی گیاهان زراعی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا

۳- عضو هیات علمی بخش اصلاح بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان

*مسئول مکاتبه: E-mail: m.aboutalebian@basu.ac.ir

چکیده

مقدمه و اهداف: این پژوهش با هدف بررسی برهمکنش‌های پرایمینگ مزرع‌ای بذر، محلول‌پاشی دو نوع اسید آمینه و آبیاری تکمیلی بر بهبود برخی شاخص‌های رشد و عملکرد دانه گندم دیم انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی همدان بصورت فاکتوریل سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول آبیاری تکمیلی در چهار سطح شامل مرحله کاشت، گلدهی، پر شدن دانه و بدون آبیاری تکمیلی بود، عامل دوم پرایمینگ مزرع‌ای بذر در دو سطح پرایم شده و پرایم نشده بود. عامل سوم نیز محلول‌پاشی آمینواسید در سه سطح متیونین، لیزین و آب خالص منظور شد.

یافته‌ها: آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه بیشینه شاخص سطح برگ را به ترتیب ۴۵ و ۳۵ درصد و بیشینه ماده خشک کل را به ترتیب ۲۴/۳ و ۱۰/۷ درصد افزایش داد. بیشینه‌های شاخص سطح برگ و ماده خشک کل نیز با پرایمینگ مزرع‌ای بذر در مقایسه با عدم پرایمینگ به ترتیب ۷/۷ و ۶ درصد بالاتر شد. کاربرد هر دو اسید آمینه در مقایسه با اسپری آب خالص بیشینه شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول را به ترتیب ۶/۹ و ۱۲/۵ درصد افزایش داد. سرعت رشد نسبی تنها با آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی ۱۲/۵ درصد بیشتر شد. آبیاری در مرحله پر شدن دانه با کاربرد متیونین بر عملکرد دانه موثرتر از لیزین بود. محلول‌پاشی با هر دو نوع اسید آمینه در ترکیب با آبیاری تکمیلی هنگام گلدهی در مقایسه با تیمار شاهد (بدون آبیاری تکمیلی و بدون اسید آمینه) عملکرد دانه را حدود ۴۵ درصد افزایش داد.

نتیجه‌گیری: آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی همراه با محلول‌پاشی اسیدهای آمینه و پرایمینگ مزرع‌ای می‌تواند با کاهش شدت تنش خشکی باعث بهبود شاخص‌های رشد و عملکرد گندم دیم شود.

واژه‌های کلیدی: تجمع ماده خشک کل، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، سرعت رشد نسبی، لیزین، متیونین

مقدمه

جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ از ۹/۵ میلیارد نفر فراتر خواهد رفت و تولید جهانی گندم برای تامین نیازهای غذایی این جمعیت ۹/۵ میلیاردی باید حدوداً ۶۰ درصد رشد کند (فائو ۲۰۲۰). گندم به عنوان یکی از سه محصول مهم غلات در جهان، غذای اصلی حدود ۴۰ درصد از جمعیت جهان است (لی و همکاران ۲۰۱۹). تغییرات آب و هوایی در حال حاضر بهره‌وری از محصولات را به ویژه درگندم، ذرت، برنج که مواد غذایی اصلی در بسیاری از کشورها هستند، تهدید کرده است (سید و همکاران ۲۰۲۲).

حدود ۴۰ درصد از اراضی کره زمین متعلق به مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد، در این مناطق مهم‌ترین عامل محدود کننده زارعت، تنش خشکی می‌باشد، توزیع نامناسب بارندگی‌ها هم در این مناطق سبب تشدید این مشکل شده که در نهایت سبب کاهش عملکرد می‌شود، در ایران نیز مهم‌ترین مشکل، کمبود آب است (ساعت ساز ۲۰۱۹)، در نتیجه وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاه اجتناب ناپذیر است. شرایط کمبود آب به طور قابل توجهی باعث کاهش توده و سطح برگ گیاه می‌شود، (قودکی و همکاران ۲۰۱۸). قودکی و همکاران (۲۰۱۸) بیان داشتند، شرایط کمبود آب بدون تغییر عمده در سایر خصوصیات مورفولوژیکی، به طور قابل توجهی باعث کاهش توده و سطح برگ و به طور خاص طول ساقه، تعداد برگ در بوته، ارتفاع و عرض گیاه می‌شود. تنش آبی حتی می‌تواند توسعه سلولی، طول میانگره و توسعه برگ را محدود کند (نامیچ، ۲۰۰۷). از آن جا که گیاهان به طور دائم در معرض تنش‌های مختلف محیطی مانند خشکی و شوری قرار می‌گیرند، در چنین شرایطی کاهش دسترسی به عناصر غذایی یکی از مهمترین عوامل محدودیت رشد گیاه بشمار می‌آید (رضا و همکاران ۲۰۲۲).

آبیاری تکمیلی در مناطقی که با توزیع سالانه نامناسب، نامنظم و پراکنده روبرو هستند، موثرتر است. (چاگانتی و همکاران ۲۰۲۰). آبیاری تکمیلی در واقع جبران کننده کاهش عملکرد ناشی از تنش رطوبتی است (توکلی ۲۰۱۲). آب مورد نیاز در آبیاری تکمیلی برای مزارع دیم، می‌تواند با استفاده از تکنیک‌های جمع‌آوری

رواناب‌ها مثل زدن سدهای خاکی و سنگی در مسیر سیلاب‌ها (ادهم و همکاران ۲۰۱۶)، استفاده از آب‌های شور قابل استفاده (کالواکانت و همکاران ۲۰۲۲)، آب حاصل از صرفه‌جویی مصرف آب در مزارع آبی (چن و همکاران ۲۰۲۳) و حتی آب‌های بازیافتی حاصل از فاضلاب‌ها (میشرا و همکاران ۲۰۲۳)، تامین گردد و بسته به امکانات موجود بصورت‌های نشتی، بارانی، قطره‌ای و حتی قطره‌ای زیر سطحی در مزارع دیم استفاده شود (نانجیا و اويس ۲۰۱۶).

جعفری و همکاران (۲۰۱۹)، تاثیر مثبت آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه را روی وزن خشک گیاه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم گزارش کرده‌اند. آبیاری تکمیلی به افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و تعداد سنبله در واحد سطح در گندم منجر می‌شود. منگ و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند آبیاری تکمیلی در مرحله حساس رشد گندم موجب افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب در گندم شد. زلک (۲۰۲۰) بیان نمود آبیاری تکمیلی در ذرت، بر روی شاخص‌هایی نظیر ارتفاع بوته، عملکرد، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، وزن هزار دانه و تعداد دانه در ردیف تاثیر مثبت داشت. همچنین رجبی و همکاران (۲۰۲۰) نشان دادند، عملکرد و پروتئین دانه در گندم دیم تحت تاثیر آبیاری تکمیلی همراه با کاربرد کود اوره افزایش داشته است. از سوی دیگر اسیده‌های آمینه می‌توانند در بهبود رشد و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) تاثیر مثبتی داشته باشند. کاربرد آمینواسیدها به صورت محلول پاشی اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاه در شرایط تنش دارد (ماتیساک و همکاران ۲۰۲۰). اسیده‌های آمینه بیشترین نقش خود را در تغذیه گیاه جهت حصول به عملکرد و کیفیت بالاتر محصول و نیز کوتاه کردن چرخه تولید با افزایش مواد خشک نشان داده‌اند (وهاب و همکاران ۲۰۱۵). حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد وزن خشک گیاه را آمینواسیدها تشکیل می‌دهند، همچنین آمینواسیدها در ساخت پروتئین‌ها، اسید نوکلئیک‌ها، هورمون‌ها، متابولیت‌های ثانویه در قسمت‌های مختلف گیاه نقش دارند (فاتن و همکاران ۲۰۱۰). رضوان و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که

استفاده از اسپری برگی پرولین، سلنیوم یا متیونین، وزن خشک شاخساره، ارتفاع بوته، سطح برگ و تعداد شاخه در بوته، وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیکی در بوته و وزن صد دانه را به طور موثری از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد افزایش داد. در پژوهشی محلول‌پاشی با اسیدهای آمینه منجر به افزایش محتوی تنظیم‌کننده رشد سیتوکینین‌ها (Cks)، جبرلین‌ها (GA3)، اکسین‌های برگ شده و محدود کننده‌های شیمیایی و مقدار آبسازیک اسید (ABA) گیاه را کاهش داد (طلعت و همکاران ۲۰۱۳). الظهیری و اسفور (۲۰۰۹) در مورد سیب زمینی گزارش کردند که محلول‌پاشی اسیدهای آمینه به طور معنی‌داری رشد رویشی را از طریق افزایش ارتفاع گیاه و وزن خشک بهبود بخشید. پرایمینگ بذر باعث جوانه‌زنی سریع‌تر بذر، بنیه گیاهچه‌های بالاتر، یکنواختی سبز شدن، گلدهی و رسیدگی زودتر، عملکرد بالاتر و ریسک کمتر در کشاورزی می‌شود (سایم و اون ۲۰۱۹). در این میان، پرایمینگ مزرع‌ای بذر تکنیکی آسان و کاربردی برای کشاورزان محسوب می‌شود که طی آن بذور دقیقاً قبل از کشت طی مدت مشخصی در آب خیسانده شده و پس از خشک کردن سطحی کاشته می‌شوند (احمد و همکاران ۲۰۱۴). ابوطالبیان و همکاران (۲۰۱۵) هیدروپرایم را موجب افزایش سرعت جوانه‌زنی در گیاهان نخود و ذرت گزارش کردند. ابوطالبیان و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی بر روی گندم پرایمینگ مزرع‌ای را به خصوص با محلول‌های غذایی روی و نیتروژن عامل مهمی در بهبود قوه‌نامیه بذر و سرعت استقرار گیاهچه ذکر نمودند.

بنابراین بر اساس نکات مورد اشاره، در پژوهش حاضر به اثرات پرایمینگ مزرع‌ای بذر و محلول‌پاشی دو نوع اسید آمینه تحت شرایط تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی بر برخی شاخص‌های رشد و عملکرد گندم دیم پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مزرعه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی استان همدان و با

[۱] ماده خشک کل

[۲] شاخص سطح برگ

[۳] سرعت فتوسنتز خالص

مشخصات آب و هوایی به شرح جدول ۱، بصورت فاکتوریل (با توجه به نوع آبیاری که بصورت نوار تیپ بود) سه عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول آبیاری تکمیلی شامل چهار سطح آبیاری در هنگام کاشت، گلدهی، پر شدن دانه و بدون آبیاری تکمیلی (دیم)، عامل دوم پرایمینگ مزرع‌ای بذر و عامل سوم محلول‌پاشی آمینو اسید در نظر گرفته شد. عامل پرایمینگ در دو سطح پرایمینگ مزرع‌ای (خیساندن در آب به مدت ۱۰ ساعت قبل از کاشت و خشک کردن سطحی بذر) و بدون پرایم بود. بذر مصرفی رقم باران براساس ۳۰۰ بذر در مترمربع و با در نظر گرفتن وزن هزار دانه و قوه‌نامیه (ارزش مصرف بذر) تعیین و مورد استفاده قرار گرفت. پس از آماده کردن نقشه طرح و انجام عملیات خاکورزی ثانویه کرت‌هایی با ابعاد ۱/۲ در ۶ متر ایجاد و در داخل هر کرت ۶ ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر از هم، برای کاشت در نظر گرفته شد. عامل محلول‌پاشی آمینو اسید در سه سطح اسید آمینه متیونین، اسید آمینه لیزین هر کدام به غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر و پاشش آب خالص در مرحله خوشه‌دهی انجام شد. قبل از انجام آزمایش، به صورت تصادفی از نقاط مختلف مزرعه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری جهت تعیین خصوصیات فیزیکیوشیمیایی خاک نمونه برداری انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است. عملیات آماده سازی زمین شامل شخم سطحی، دیسک و مصرف کودهای اوره، سوپرفسفات تریپل براساس نتایج حاصل از تجزیه خاک در زمان قبل کاشت انجام شد. به منظور اندازه‌گیری سطح برگ و وزن خشک اندام هوایی جهت بررسی روند تغییرات برخی شاخص‌های رشد که روابط رگرسیونی آن‌ها در زیر اشاره شده‌اند (ابوطالبیان و الهی ۲۰۱۵)، نمونه‌برداری با استفاده از کوادراتی با ابعاد ۴۰×۲۰ سانتی‌متر به روش تخریبی در مراحل مختلف فنولوژیک گیاه شامل پنجه‌زنی، ساقه دهی، پر شدن دانه، رسیدگی فیزیولوژیک و رسیدگی کامل انجام شد.

$$TDM = EXP(a + bT + cT^2)$$

$$LAI = EXP(a' + b'T + c'T^2)$$

$$NAR = (b + 2cT) \times EXP[(a - a') + (b - b')T + (c - c')T^2]$$

[۴] سرعت رشد محصول

[۵] سرعت رشد نسبی

$$CGR = NAR \times LAI$$

$$RGR = b + 2cT$$

مورد نیاز نیز با استفاده از رابطه (۶) محاسبه شد (جوادی و همکاران ۲۰۰۶).

در این معادله‌ها a ، b ، c ، a' ، b' و c' ضرایب رگرسیونی و T زمان برحسب درجه-روز بعد از کاشت است. مقدار واحدهای گرمایی تجمعی (درجه روز رشد)

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right)$$

[۶] درجه روز رشد

روزهای نمونه‌گیری پس از کاشت و مربع آنها به دست آمد. همچنین داده‌های مربوط به بیشینه منحنی‌های شاخص سطح برگ، وزن خشک کل و سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی (در زمانی که سرعت رشد محصول در بیشینه خود بود) تجزیه واریانس شدند. در پایان فصل رشد با برداشت ۳ متر مربع از هر کرت عملکرد دانه نیز اندازه‌گیری شد. پس از کنترل نرمال بودن باقیمانده‌ها، تجزیه آماری لازم با استفاده از نرم افزار SAS و نرم افزار Excel انجام شد. مقایسه میانگین نیز با روش دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

در این معادله GDD : درجه روز رشد تجمعی، T_{min} و T_{max} به ترتیب حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه هوا و T_b درجه حرارت پایه گندم است که در این مطالعه، معادل ۲/۶ درجه سلسیوس منظور گردید. از آنجائیکه در این گیاه در دمای کمتر از ۲/۶ درجه سلسیوس نمو صورت نمی‌گیرد و همچنین در دمای ۳۲ درجه سلسیوس و بالاتر از آن سرعت نمو ثابت است، بنابراین حد دمای پایینی و بالایی روزانه به ترتیب ۲/۶ و ۳۲ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد (پورتر و گاویس ۱۹۹۹). روابط رگرسیونی براساس رابطه لگاریتم طبیعی داده‌های وزن خشک و شاخص سطح برگ با درجه-

جدول ۱- ویژگی‌های آب و هوایی محل آزمایش در طول دوره رشد گندم طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰

ماه سال	دمای حداقل (°C)	میانگین دما (°C)	دمای حداکثر (°C)	مجموع بارندگی (mm)
سال ۱۳۹۹				
آبان	-۳/۶	۹/۷	۲۴/۳	۱۲
آذر	-۸/۵	۴/۲	۱۰/۵	۱۰۶/۷
دی	-۱۱/۲	۰/۵	۱۵/۶	۲/۲
بهمن	-۱۲/۳	۳/۹۱	۱۷/۹	۵۸/۵
اسفند	-۸/۸	۴/۸۸	۲۰/۲	۲۵/۹
سال ۱۴۰۰				
فروردین	-۶/۶	۱۰/۹۹	۲۶/۹	۶/۶
اردیبهشت	۲/۸	۱۶/۴۷	۳۲/۴	۷/۳
خرداد	۶	۲۱	۳۷/۷	۱/۶
تیر	۱۱/۴	۲۵/۰۱	۳۷/۳	۰

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در طول دوره رشد گندم طی سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰

رس	سیلت	شن	بافت خاک	ازت کل	پتاسیم	فسفر قابل	کربن الی	واکنش گل	هدایت
(%)	(%)	(%)		(%)	قابل جذب	جذب	(%)	اشباع	الکتریکی
					(mg kg ⁻¹)	(mg kg ⁻¹)		pH	(dS/m)
۶۰/۵	۳۴	۵/۵	لومی رسی	۰/۰۶۶	۴۰۰	۲۷/۶	۰/۶۶	۷/۵	۰/۷۵

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد اثر عوامل پرایمینگ، آبیاری تکمیلی و کاربرد اسید آمینه در مورد بیشینه‌های شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول معنی دار شدند. اما سرعت رشد نسبی تنها تحت تاثیر آبیاری تکمیلی و

عملکرد دانه تحت تاثیر دو عامل آبیاری تکمیلی و آمینو اسید قرار گرفت. در میان اثرات متقابل دو گانه، اثر پرایمینگ در آبیاری روی بیشینه سرعت رشد محصول و اثر آبیاری در اسید آمینه روی عملکرد دانه معنی‌دار شدند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های رشد و عملکرد گندم تحت تاثیر عوامل مورد آزمایش

میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه تجمع ماده خشک کل	بیشینه سرعت رشد محصول	سرعت رشد نسبی (زمان اوج سرعت رشد محصول)
عملکرد دانه					
بلوک	۲	۰/۰۰۵ ^{ns}	۲۰۶۹/۶۰ ^{ns}	۰/۰۲ ^{ns}	۲/۶۸ ^{ns}
پرایمینگ (P)	۱	۰/۴ ^{**}	۶۵۹۴۹/۱۹ ^{**}	۰/۰۸۱ *	۳/۸۸ ^{ns}
آبیاری تکمیلی (I)	۳	۴/۴۴ ^{**}	۱۹۲۱۰۵/۳۹ ^{**}	۰/۵۶ ^{**}	۴/۶۸ ^{**}
آمینواسید (A)	۲	۰/۲۶ ^{**}	۶۰۹۱۱/۹۸ ^{**}	۰/۱۳ ^{**}	۲/۹۳ ^{ns}
P*I	۳	۰/۰۴۶ ^{ns}	۱۳۲۰۵/۶۱ ^{ns}	۰/۰۴۶ *	۴/۱۸ ^{ns}
P*A	۲	۰/۰۱۳ ^{ns}	۴۳۹۹/۲۹ ^{ns}	۰/۰۰۱ ^{ns}	۵/۱۳ ^{ns}
I*A	۶	۰/۰۰۹ ^{ns}	۲۴۵۹/۶۶ ^{ns}	۰/۰۱۵ ^{ns}	۱/۶۵ ^{ns}
P*I*A	۶	۰/۰۲ ^{ns}	۱۹۸۵/۹۵ ^{ns}	۰/۰۱۴ ^{ns}	۱/۵۳ ^{ns}
خطا	۴۶	۰/۰۴۷	۴۹۳۰/۲۱	۰/۰۱	۲/۶۲
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۹۴	۶/۶۷	۱۰/۹۳	۹/۵۱

ns, *, **: به ترتیب بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطوح احتمال پنج و یک درصد است.

شاخص سطح برگ^۲ (LAI)

تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره رشد در شکل ۱ دیده می‌شود. شاخص سطح برگ گیاه، مدت کمی پس از سبز شدن و با ظهور و گسترش برگ‌های جدید به تدریج افزایش یافت. در ابتدای دوره رشد، افزایش شاخص سطح برگ آهسته و کند بود و با گذشت زمان وارد مرحله سریع شده و روند خطی پیدا کرد به نحوی که روند تغییرات آن در مرحله اوج این شاخص حالت سیگموئیدی نشان می‌دهد (جواد و همکاران ۲۰۰۶). در ادامه با وقوع گلدهی از سرعت افزایش شاخص سطح برگ کاسته شد و بعد از آن به دلیل از بین رفتن تدریجی برگ‌های پیرتر، روند کاهشی پیدا کرد و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به حداقل مقدار خود رسید. روند تغییرات شاخص سطح برگ در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و پر شدن دانه نسبت به دو تیمار دیگر از شیب تندتری برخوردار بود (ضریب b' بطور متوسط ۳۷ درصد در آبیاری هنگام گلدهی و پر شدن دانه بیشتر از عدم آبیاری تکمیلی و آبیاری در زمان کاشت بود) (جدول ۵) و شاخص سطح برگ تا پایان فصل رشد در سطح بالاتری قرار گرفت و باعث شد گیاه در دوره پر شدن دانه از شاخص سطح برگ بالاتری برخوردار باشد. اما در مورد آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی شاخص سطح برگ در مدت طولانی‌تری در اوج دوام آورد و با درجه-روز رشد بیشتری نیز به بیشینه رسید یعنی دوره رشد طولانی‌تری را ایجاد کرد که خود سبب افزایش دوام سطح برگ فعال گردیده است، ولی در مورد آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه این روند کوتاه‌تر است (شکل ۱). بر اساس نتایج، آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پر شدن دانه به ترتیب سبب افزایش ۴۵ و ۳۵ درصدی بیشینه شاخص سطح برگ گردید در صورتی که آبیاری در مرحله کاشت اثری بر این شاخص مهم نگذاشت (جدول ۴). ترابی و همکاران (۲۰۱۳) نیز بیان داشتند، آبیاری در مرحله گلدهی بطور قابل توجهی از

کاهش میزان و دوام سطح سبز برگ جلوگیری کرد. در بررسی‌های انجام شده بذوری که تحت پرایمینگ قرار گرفته بودند از شاخص سطح برگ بالاتری برخوردار بودند به نحوی که پرایمینگ بذری سبب افزایش ۷/۷ درصدی بیشینه شاخص سطح برگ شد (جدول ۴). علت را می‌توان با سرعت سبز شدن بذور پرایم شده نسبت داد، که خود می‌تواند منجر به بهره‌برداری مطلوب گیاه از منابع رشد گردد (فاروق و همکاران ۲۰۲۳). محلول پاشی اسید آمینه‌ها نیز در مقایسه با آب خالص شاخص سطح برگ را افزایش دادند (شکل ۱). در تیمار آبیاری در مراحل گلدهی و پر شدن دانه، محلول‌پاشی با هر دو اسید آمینه نسبت به کاربرد آب خالص بطور متوسط سبب کاهش ۱۴ درصدی در شیب افت شاخص سطح برگ (ضریب b') در مرحله نزولی این شاخص، گردید (جدول ۵). در تحقیق حاضر محلول‌پاشی هر دو اسید آمینه در مقایسه با کاربرد آب خالص سبب ۶/۹ درصدی افزایش بیشینه شاخص سطح برگ گردید (جدول ۴). شکاری و جوانمردی (۲۰۱۷) نیز در تحقیقات خود به اثر محلول پاشی متیونین بر روی شاخص سطح برگ اشاره کردند. نامیچ (۲۰۰۷) گزارش کردند تنش آبی می‌تواند توسعه سلولی، طول میانگره و توسعه برگ را محدود کند، از آن جا که گیاهان به طور دائم در معرض تنش‌های مختلف محیطی مانند خشکی و شوری قرار می‌گیرند، در چنین شرایطی عدم تغذیه کافی از عناصر غذایی، اثر خشکی را تشدید کرده و پیچیده‌تر می‌نماید و حتی می‌تواند در صورت تنش خیلی شدید، حیات گیاه را نیز تحت تاثیر قرار دهد (اورتز و همکاران ۲۰۱۵). از آنجائیکه بیشتر شاخص‌های رشد به شاخص سطح برگ وابسته هستند و این شاخص همبستگی بالایی نیز با عملکرد دانه دارد (جدول ۶)، تغییر در این شاخص از طریق عملیات زراعی می‌تواند یکی از عملی‌ترین راهکارها جهت بهبود عملکرد باشد (بنایان و همکاران ۲۰۱۹).

² Leaf Area Index

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی عوامل مورد بررسی بر بیشینه‌های شاخص سطح برگ، تجمع ماده خشک کل، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی گندم

عوامل آزمایش	بیشینه شاخص سطح برگ	بیشینه تجمع ماده خشک کل (g m^{-2})	بیشینه سرعت رشد محصول ($\text{g m}^{-2} \text{ gdd}^{-1}$)	سرعت رشد نسبی (زمان اوج سرعت رشد محصول) ($\text{g g}^{-1} \text{ gdd}^{-1}$)
پرایمینگ	پرایم	۲/۸ ^a	۱۰۸۱/۸ ^a	۱/۱۲ ^a
	عدم پرایم	۲/۶ ^b	۱۰۲۱/۳ ^b	۱/۰۶ ^b
آبیاری تکمیلی	کاشت	۲/۳۷ ^c	۹۹۲/۲۹ ^c	۰/۰۰۱۶ ^b
	گلهی	۳/۲۶ ^a	۱۱۹۲/۶۶ ^a	۰/۰۰۱۸ ^a
	پرشدن دانه	۳/۰۴ ^b	۱۰۶۱/۹۲ ^b	۰/۰۰۱۷ ^b
	بدون آبیاری	۲/۲۵ ^c	۹۵۹/۴۳ ^c	۰/۰۰۱۶ ^b
محلول پاشی اسید آمینه	متیونین	۲/۸ ^a	۱۰۸۷/۳۷ ^a	۱/۱۳ ^a
	لیزین	۲/۷۸ ^a	۱۰۷۳/۳۹ ^a	۱/۱۴ ^a
	آب خالص	۲/۶۱ ^b	۹۹۳/۹۷ ^b	۱/۰۰۹ ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و در هر عامل بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

سرعت رشد محصول^۳ (CGR)

طبق نتایج، سرعت رشد محصول تا مرحله گلهی افزایش یافت و پس از آن طی دوره پرشدن دانه، روند نزولی نشان داد و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به حداقل مقدار رسید (شکل ۲). در تیمارهای مختلف آبیاری تکمیلی، سرعت رشد محصول از روند تغییرات مشابه و یکسانی برخوردار نبود (جدول ۵). در مراحل اولیه رشد، میزان اختلاف بین تیمارهای آبیاری تکمیلی کمتر بود و با نزدیک شدن به مرحله گلهی به تدریج افزایش یافت. در مرحله گلهی، که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار رسید، بیشترین اختلاف بین تیمارهای آبیاری وجود داشت و پس از آن نیز به تدریج از شدت اختلاف کاسته شد (شکل ۲). از آنجا که سرعت رشد محصول

تابعی از شاخص سطح برگ است (بنایان و همکاران، ۲۰۱۹) کیفیت تغییرات شیب منحنی‌های سرعت رشد شباهت زیادی به تغییرات شیب در نمودارهای شاخص سطح برگ (شکل ۱) نشان می‌دهد. روند تغییرات سرعت رشد محصول در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله گلهی از شدت و شیب بیشتری برخوردار بود (جدول ۵). بر اساس نتایج تجزیه واریانس، بیشینه سرعت رشد محصول تحت تاثیر پرایمینگ بذر در سطح پنج درصد، آبیاری تکمیلی و آمینو اسیدها در سطح یک درصد و برهمکنش دو گانه پرایمینگ در آبیاری تکمیلی در سطح پنج درصد قرار گرفت (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه میانگین برهمکنش پرایمینگ و آبیاری تکمیلی مشاهده شد که کاربرد همزمان آبیاری تکمیلی در مرحله گلهی و

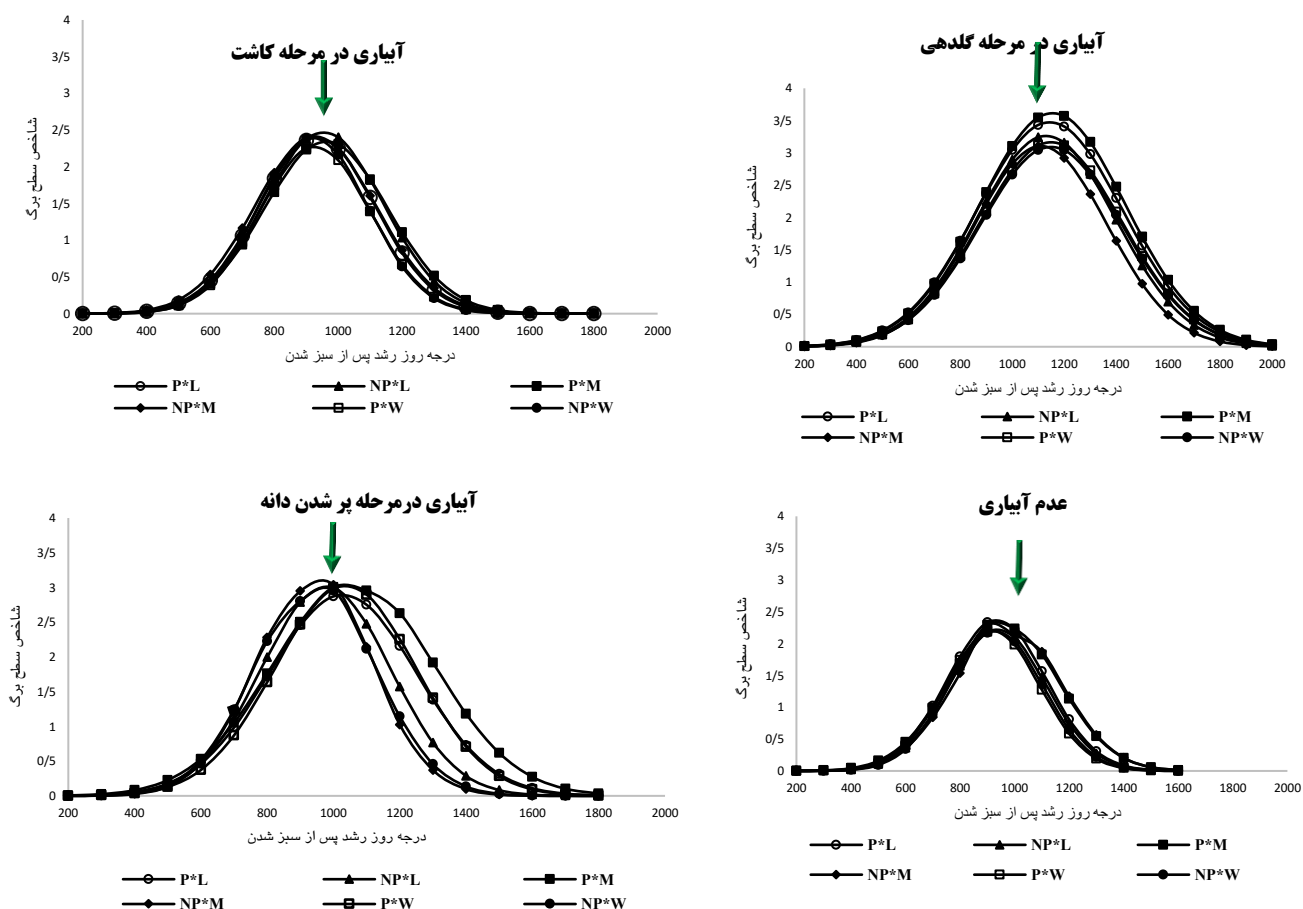
³ Crop Growth Rate

پرایمینگ مزرعه ای توانست سرعت بیشینه رشد گندم را به بالاترین میزان افزایش دهد که در مقایسه با تیمار عدم پرایمینگ و عدم آبیاری تکمیلی (شاهد) ۵۲ درصد بیشتر بود (شکل ۳). همچنین آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی به تنهایی نیز در رتبه بعدی قرار گرفت اما پرایمینگ به تنهایی نتوانست بر بیشینه سرعت رشد اثر بگذارد لذا می توان نتیجه گرفت که در سرعت رشد محصول گندم دیم آبیاری تکمیلی آنهم در مرحله گلدهی اهمیت بیشتری

از پرایمینگ مزرعه ای دارد. البته ترکیب پرایمینگ بذر با آبیاری تکمیلی در مقایسه با آبیاری تکمیلی به تنهایی به ترتیب در مرحله گلدهی و پر شدن بذر سبب افزایش ۱۷/۳ و ۲/۳ درصدی در سرعت رشد محصول گردید (شکل ۳). نتایج آزمایش حاضر نشان داد که به کار بردن آبیاری تکمیلی در مرحله گلدهی و حتی در مرحله پر شدن دانه باعث کاهش اثرات منفی تنش خشکی در گندم شده است که با نتایج سیدشریفی و همکاران (۲۰۱۹)

جدول ۵- ضرایب رگرسیون معادلات شاخص سطح برگ و ماده خشک کل گندم تحت تاثیر عوامل مورد آزمایش

پرایمینگ بذر	آبیاری تکمیلی	نوع اسید آمینه	شاخص سطح برگ			ماده خشک کل		
			a'	b'	c'	a	b	c
پرایم شده	مرحله کاشت	لیزین	۳/۵۷۷	۰/۰۰۴۲	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۲/۱۹	۰/۰۲۸	-۰/۰۰۰۰۰۱۵
		متیونین	۳/۳۵	۰/۰۰۴۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۱/۵۰	۰/۰۲۵۷	-۰/۰۰۰۰۰۱۳۳
		آب خالص	۳/۳۱۳	۰/۰۰۴۴	-۱/۳۷۷	-۱۳/۴۰	۰/۰۳۰۷	۰/۰۰۰۰۰۱۶۵
	مرحله گلدهی	لیزین	۱/۹۲۷	۰/۰۰۶۴	-۱/۹۶۶۶	-۷/۰۵۳	۰/۰۱۴۵	-۶/۳۳۳۳
		متیونین	۲/۴۱۳	۰/۰۰۵۹	-۱/۸۳۳۳	-۷/۱۶۷	۰/۰۱۴۶	-۶/۳۳۳۳
		آب خالص	۲/۹۰۷	۰/۰۰۵۱	-۱/۵۶۶۶	-۷/۶۶۳	۰/۰۱۵۳	-۶/۶۶۶۶
	مرحله پر شدن دانه	لیزین	۳/۵۴	۰/۰۰۴۲	-۱/۲۹۶۶	-۱۳/۲۵۶	۰/۰۳۷۰	-۰/۰۰۰۰۰۱۶۳
		متیونین	۲/۹۹۶	۰/۰۰۴۸	-۱/۴۵۶	-۸/۲۳۳	۰/۰۱۷۷	-۸/۳۳۳۳
		آب خالص	۲/۷۵۷	۰/۰۰۵۲	-۱/۵۹۳۳	-۱۰/۷۰۷	۰/۰۲۲۸	-۰/۰۰۰۰۰۱۱
	عدم آبیاری	لیزین	۳/۴۸	۰/۰۰۴۲	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۲/۵۳۳	۰/۰۲۸۶۷	-۱/۵۳۳
		متیونین	۳/۰۶	۰/۰۰۴۶	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۰/۸۳۷	۰/۰۲۴۳	-۱/۲۶۶
		آب خالص	۳/۵	۰/۰۰۳۹	-۱/۱۶۶۶	-۱۳/۴۵	۰/۰۳۱	-۰/۰۰۰۰۰۱۶
بدون پرایم	مرحله کاشت	لیزین	۳/۳۲۷	۰/۰۰۴۴	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۲/۱۲۳	۰/۰۲۷۳	-۱/۴۳۳
		متیونین	۳/۲۶	۰/۰۰۴۵	-۰/۰۰۰۰۰۱۴	-۱۱/۱۸۷	۰/۰۲۶	-۰/۰۰۰۰۰۱۴
		آب خالص	۳/۳۲	۰/۰۰۴۴	-۱/۳۷۶	-۱۳/۵۶	۰/۰۳۱۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۷
	مرحله گلدهی	لیزین	۲/۴۲	۰/۰۰۵۸	-۰/۰۰۰۰۰۱۸	-۷/۷۷	۰/۰۱۵۸	-۰/۰۰۰۰۰۰۷
		متیونین	۲/۷۴۳	۰/۰۰۵۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۶	-۸/۳۲۶	۰/۰۱۷۰	-۷/۶۶۶
		آب خالص	۲/۹۹۳	۰/۰۰۴۹	-۰/۰۰۰۰۱۸	-۷/۶۸۷	۰/۰۱۵۳	-۶/۶۶۶۶
	مرحله پر شدن دانه	لیزین	۲/۷۶۷	۰/۰۰۵۲	-۰/۰۰۰۰۰۱۶	-۱۱/۴۶۹	۰/۰۲۵۷	-۱/۳۱۶۷
		متیونین	۲/۶۵۲	۰/۰۰۵۳	-۱/۶۳۳	-۱۲/۲۶۶	۰/۰۲۸۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۵
		آب خالص	۳/۶۲۶	۰/۰۰۴۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۲۹	-۹/۵۱۲	۰/۰۲۰۶	-۰/۰۰۰۰۰۰۱
	عدم آبیاری	لیزین	۳/۲۸۷	۰/۰۰۴۴	-۱/۳۳۳۳	-۱۳/۲۶	۰/۰۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۶
		متیونین	۲/۸۳۲	۰/۰۰۴۸	-۲/۳۶۲	-۱۱/۸۴	۰/۰۲۶	-۱/۳۳۳۳
		آب خالص	۳/۲۸۳	۰/۰۰۴۳	-۰/۰۰۰۰۰۱۳	-۱۳/۹۵۷	۰/۰۳۱۷	-۰/۰۰۰۰۰۱۷



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ تحت تأثیر آبیاری تکمیلی، پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه. پیکان‌ها زمان محلول‌پاشی را نشان می‌دهند (P: پرایم شده، NP: پرایم نشده، L: لیزین، M: متیونین، W: آب خالص)

رضوان و همکاران (۲۰۱۷) گزارش کرده‌اند که استفاده از اسپری برگی پرولین، سلینیوم یا متیونین، شاخص‌های رشد (وزن خشک شاخساره، ارتفاع بوته، سطح برگ و تعداد شاخه در بوته)، خصوصیات عملکرد (وزن خشک دانه و عملکرد بیولوژیکی در بوته و وزن صد دانه)، را به طور موثری افزایش داد. در پژوهش حاضر سرعت رشد محصول با همه صفات به‌ویژه شاخص سطح برگ و عملکرد رابطه مستقیم و معنی‌داری نشان داد (جدول ۶). مطالعه سرعت رشد محصول برای تفسیر تفاوت عملکرد در میان ارقام محصولات زراعی نیز اهمیت زیادی دارد (بنایان و همکاران ۲۰۱۹).

مطابقت دارد. کاربرد هر دو اسید آمینه به یک اندازه توانست سرعت رشد محصول را حدود ۱۲/۵ درصد نسبت به آب خالص افزایش دهد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان می‌دهد اسیدهای آمینه به خصوص اسید آمینه لیزین علاوه بر شرکت در ساختمان پروتئین‌ها به عنوان یک پیش ماده ساخت آمینو اسید سیگنال دهنده گلوتامات عمل می‌کنند که سبب تنظیم واکنش به موقع گیاهی به تنش‌های محیطی می‌باشد (سنتی و همکاران ۲۰۱۷). نجفی و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند لیزین در تنظیم بازشدن روزنه‌های برگ، در تندش دانه‌های گرده و در سنتز کلروفیل کاربرد دارد که می‌تواند نقش مهمی در افزایش تحمل گیاه به تنش ایفا کند. همچنین

جدول ۶- همبستگی بین صفات مطالعه شده

شاخص سطح برگ	سرعت رشد محصول	سرعت رشد نسبی	تجمع ماده خشک کل	عملکرد
شاخص سطح برگ	۱			
سرعت رشد محصول	۰/۷۶**	۱		
سرعت رشد نسبی	۰/۵۲**	۰/۷۶**	۱	
تجمع ماده خشک کل	۰/۸**	۰/۹۲**	۰/۵۴**	۱
عملکرد	۰/۷۴**	۰/۷۶**	۰/۷۶**	۱

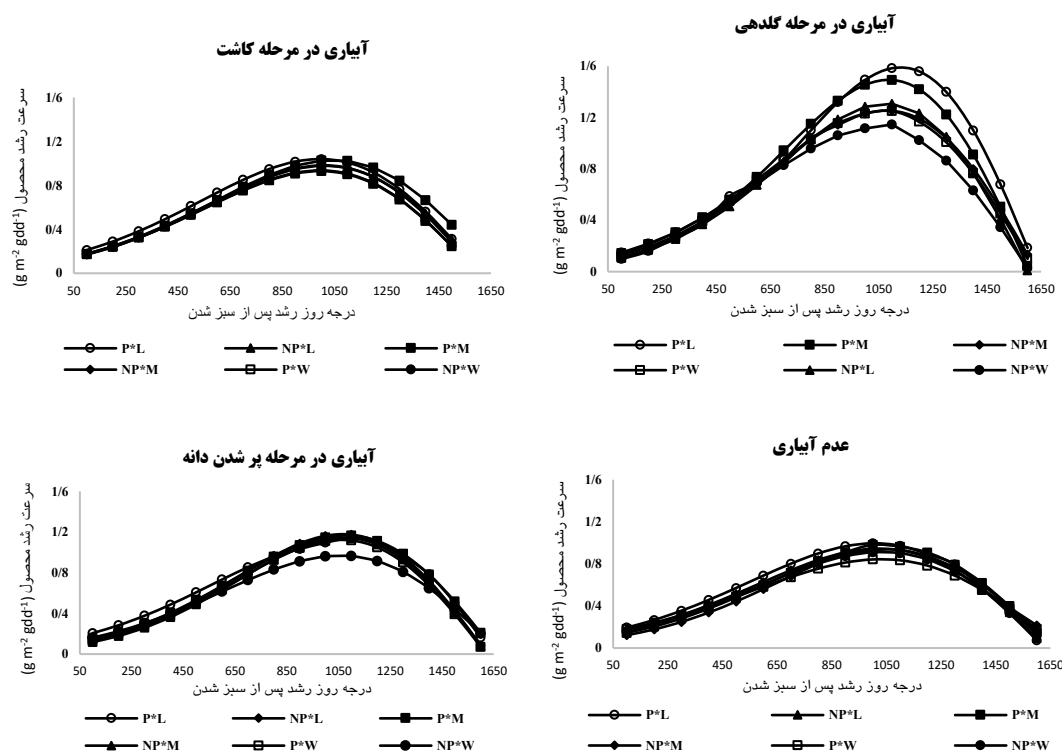
سرعت رشد نسبی^۴ (RGR)

سرعت رشد نسبی نشانگر میزان تجمع ماده خشک نسبت به وزن خشک گیاه در واحد روز یا درجه روز رشد است. در مراحل اولیه رشد و زمانی که وزن خشک گیاه در حداقل مقدار است، حداکثر سرعت رشد نسبی حاصل می‌شود (جوادی و همکاران ۲۰۰۶). با گذشت زمان و افزایش وزن خشک کل گیاه، سرعت رشد نسبی به تدریج کاهش پیدا می‌کند (سیدشریفی و همکاران ۲۰۱۹)، بنابراین سرعت رشد نسبی در طول فصل رشد از روند نزولی برخوردار بوده و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک و زمانی که تجمع ماده خشک متوقف می‌شود، به صفر می‌رسد (شکل ۴). در تیمار آبیاری هنگام گلدهی بیشترین سرعت نسبی رشد تحت شرایط پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی اسید آمینه لیزین مشاهده شد و پس از آن تیمار ترکیبی پرایمینگ و محلول‌پاشی اسید آمینه متیونین قرار داشت (شکل ۴) که البته شیب

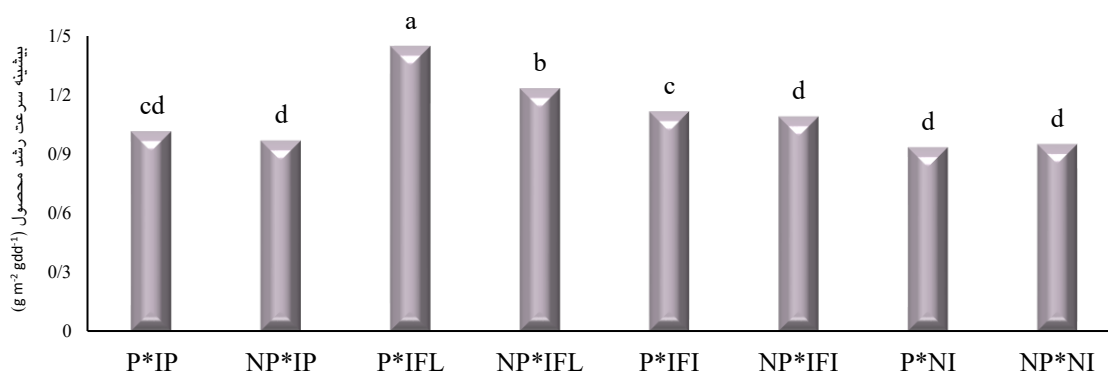
کاهشی تیمارهای مذکور بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۵) که با بالاتر بودن شاخص سطح برگ در تیمارهای مورد اشاره مطابقت دارد (شکل ۱) زیرا زیادی سطح برگ با سایه اندازی بیشتر سبب شتاب کاهش در سرعت رشد نسبی گیاه می‌گردد (ابوطالبیان و الهی ۲۰۱۵).

سرعت رشد نسبی که در زمان بیشینه بودن سرعت رشد محصول محاسبه شده است، تنها تحت تاثیر عامل آبیاری تکمیلی در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). تنها تیمار موثر آبیاری تکمیلی بر سرعت رشد نسبی، آبیاری در مرحله گلدهی بوده است که در مقایسه با تیمار بدون آبیاری تکمیلی، سبب ۱۲/۵ درصد افزایش سرعت رشد نسبی گردید (جدول ۴). شاخص سرعت رشد نسبی با تمام صفات مورد ارزیابی در این پژوهش همبستگی مثبت و معنی‌داری نشان داد (جدول ۶).

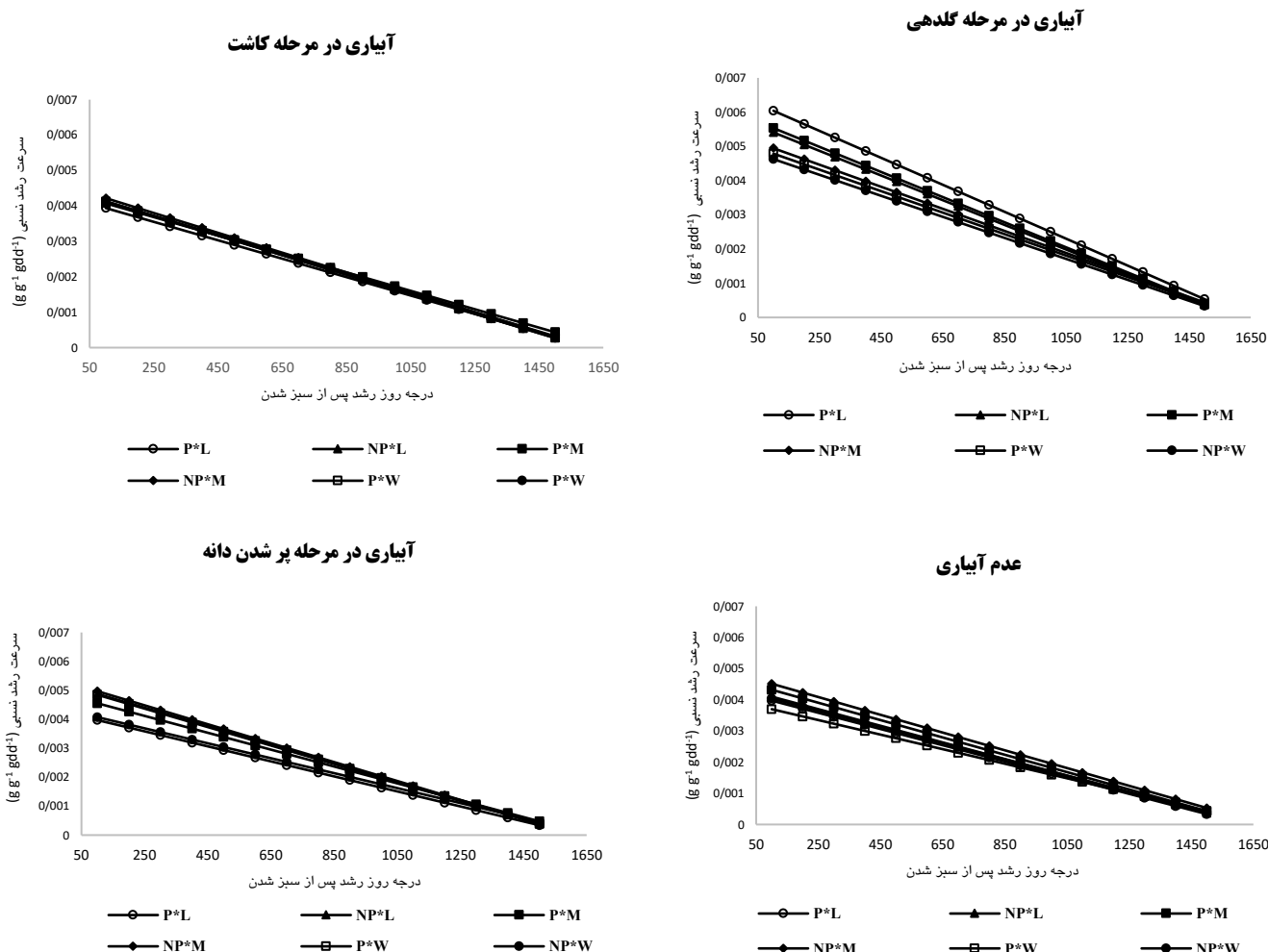
⁴ Relative Growth Rate



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول تحت تأثیر آبیاری تکمیلی، پرایمینگ و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (P: پرایم شده، NP: پرایم نشده، L: لیزین، M: متیونین، W: آب خالص)



شکل ۳. مقایسه میانگین اثر دوگانه پرایمینگ و آبیاری تکمیلی بر بیشینه سرعت رشد محصول (P: پرایم شده، NP: پرایم نشده، IP: آبیاری زمان کاشت، IFL: آبیاری هنگام گلدهی، IFI: آبیاری هنگام پر شدن دانه، NI: بدون آبیاری تکمیلی)



شکل ۴- روند تغییرات سرعت رشد نسبی محصول تحت تأثیر آبیاری تکمیلی، پرایمینگ و محلول پاشی اسیدهای آمینه (P): پرایم شده، NP: پرایم نشده، L: لیزین، M: متیونین، W: آب خالص)

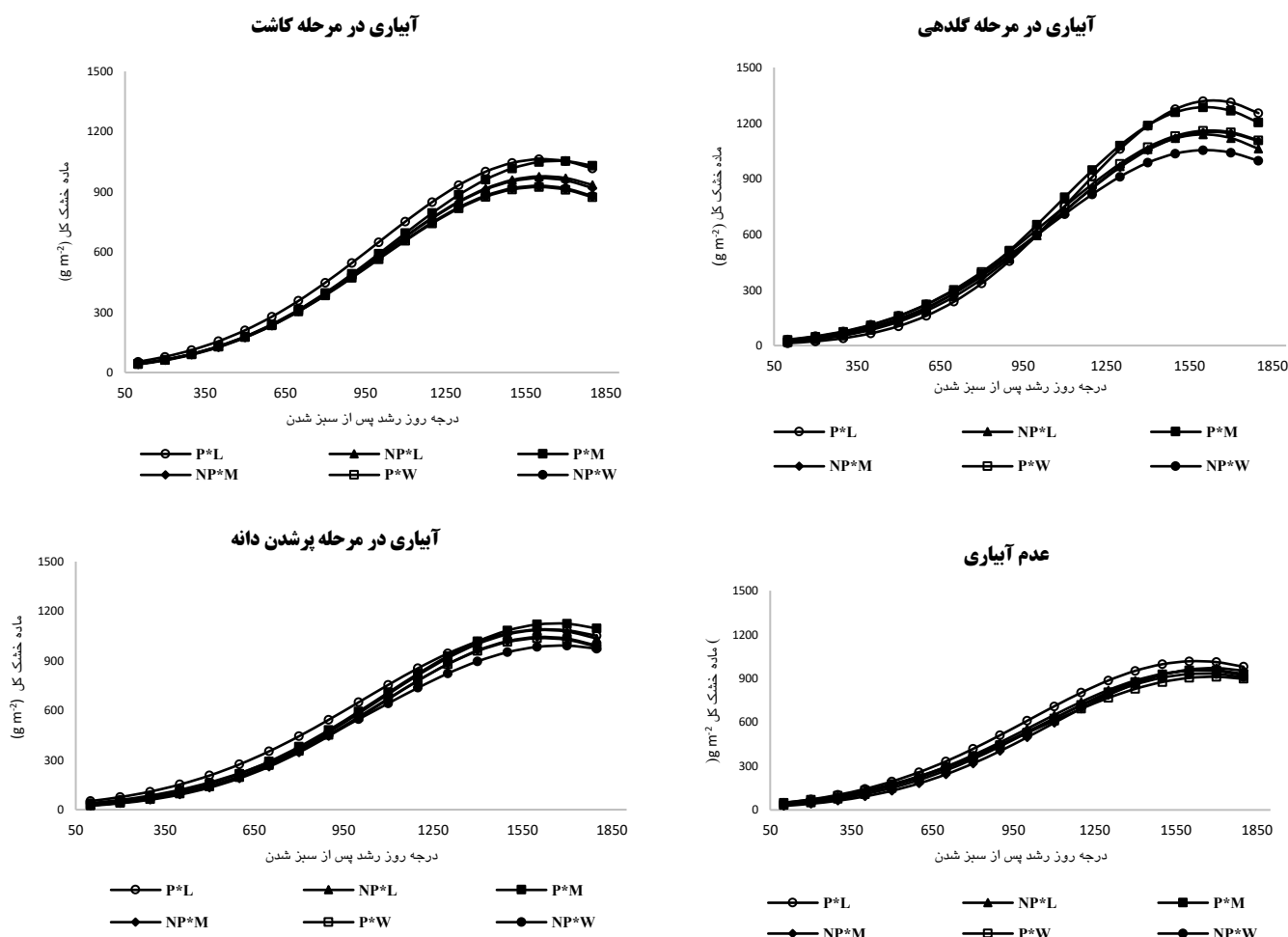
بعد از آن، مرحله رشد سریع و روند خطی تجمع ماده خشک آغاز شد (شکل ۵). در اواسط این دوره، گلدهی به وقوع پیوست و در نیمه اول دوره پر شدن دانه نیز تجمع سریع و خطی ماده خشک ادامه داشت. اختلاف بین روند تجمع ماده خشک در تیمارهای متفاوت آبیاری و از زمان شروع اعمال تیمارهای اسید آمینه به تدریج افزایش یافت و در زمان رسیدگی فیزیولوژیک به حداکثر مقدار رسید (جدول ۵). روند تغییرات تجمع ماده خشک کل برای تیمارهای محلول پاشی در شرایط مختلف آبیاری در شکل ۵ نشان داده شده است. در مراحل مختلف

ماده خشک کل^۵ (TDM) تجمع ماده خشک شامل سه مرحله مشخص و متمایز بود. در مراحل ابتدایی رشد، روند تجمع ماده خشک آهسته و بطئی بود، به تدریج و با گذشت زمان سرعت تجمع ماده خشک افزایش پیدا کرد و وارد مرحله رشد سریع و خطی شد، سپس در مراحل انتهایی رشد، سرعت تجمع ماده خشک دوباره کاهش یافت و به تدریج تا رسیدن به زمان رسیدگی فیزیولوژیک به ثبات نسبی رسید (نریمانی و همکاران ۲۰۱۹). دوره رشد بطئی تا حدود ۵۰۰ درجه-روز رشد پس از سبز شدن ادامه پیدا کرد و

⁵ Total Dry Matter

آبیاری، تجمع ماده خشک در نتیجه محلول‌پاشی اسیدهای آمینه از روند مشابهی برخوردار بود. محلول‌پاشی اسیدهای آمینه در زمان خوشه‌دهی انجام شد و اختلاف بین تیمارها پس از این مرحله به تدریج آشکار شد. جعفری و همکاران (۲۰۱۹)، تاثیر مثبت آبیاری تکمیلی در مراحل گلدهی و پرشدن دانه بر وزن خشک گیاه، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و عملکرد دانه گندم را گزارش کرده‌اند. تاثیر پرایمینگ و مراحل مختلف آبیاری تکمیلی و مصرف آمینو اسیدها در سطح یک درصد بر روی تجمع ماده خشک بسیار معنی‌دار بود (جدول ۳). در پژوهش حاضر پرایمینگ بذر منجر به افزایش ۶ درصدی بیشینه ماده خشک کل گردید. آبیاری در مرحله گلدهی نیز در مقایسه با تیمار بدون آبیاری تکمیلی و آبیاری در مرحله پر شدن دانه به ترتیب سبب افزایش ۲۴/۳ و ۱۲/۳ درصدی بیشینه ماده خشک کل شد و البته آبیاری در مرحله پر شدن دانه در مقایسه با تیمار بدون آبیاری تکمیلی نیز ۱۰/۷ درصد این شاخص مهم را افزایش داد. همچنین محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بدون توجه به نوع اسید آمینه منجر به افزایشی در حدود ۸/۷ درصد در بیشینه ماده خشک کل گردید (جدول ۴). ابوطالبیان و همکاران (۲۰۱۲) گزارش نمودند که پرایمینگ مزرع‌ای به ویژه با محلول‌های غذایی در گندم دیم از طریق بهبود سرعت و درصد سبز شدن گیاهچه‌ها سبب افزایش عملکرد زیستی و دانه گردید. پرایمینگ بذر ذرت در مناطق نیمه خشک اتیوپی نیز از طریق افزایش بنیه گیاهچه‌های ذرت عامل افزایش ماده خشک و عملکرد گزارش شده است (سایم و اون ۲۰۱۹). زلک (۲۰۲۰) انجام آبیاری تکمیلی تا ۷۵ درصد ظرفیت زراعی خاک در ذرت را بدلیل افزایش سطح برگ عامل افزایش عملکرد و ماده خشک گزارش نمود. بنایان و همکاران (۲۰۱۹) بیشتر بودن روند تجمع ماده خشک را به بالاتر بودن شاخص سطح برگ مرتبط دانستند. در پژوهش حاضر نیز کاربرد آبیاری تکمیلی با بهبود شاخص سطح برگ منجر به افزایش قابل توجه بیشینه ماده خشک کل گردید (جدول ۴). بنابراین چنین استنباط می‌شود که کمبود آب و خشکی با کاهش شاخص سطح برگ و ظرفیت فتوسنتزی گیاه، موجب کاهش تجمع ماده خشک می‌شود.

در خصوص سودمندی محلول‌پاشی اسیدهای آمینه ماتیساک و همکاران (۲۰۲۰) با تحقیقی بر روی ذرت گزارش نمودند که کاربرد ال-آرژنین روی ذرت در شرایط بدون تنش گرما سبب افزایش حدود ۶۰ درصدی توده زیستی بخش هوایی و ریشه‌ها گردید و در شرایط تنش گرما میزان افزایش زیست توده ریشه به ۱۰۰ درصد رسید که دلیل آن را به افزایش تولید پلی‌آمین‌ها در بافت گیاه و کاهش تجمع یون آمونیوم منتسب کرده‌اند. در پژوهش دیگری اسیدهای آمینه عامل بهبود دهنده متابولیسم گیاهی در شرایط تنش محیطی عنوان شده‌اند (فاتح و همکاران ۲۰۱۰). رضوان و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که کاربرد آمینو اسیدهای پرولین یا متیونین به صورت اسپری برگی بسیاری از شاخص‌های رشد گندم مانند وزن خشک هوایی، ارتفاع بوته، سطح برگ و عملکرد زیستی را به طور موثری افزایش داد. شکاری و جوانمردی (۲۰۱۷) بیان کرد اسیدهای آمینه با تاثیر بر افزایش مقاومت در برابر تنش‌های محیطی، افزایش غلظت کلروفیل و در نتیجه تاثیر بر فتوسنتز، بر رشد و عملکرد گیاهان موثر واقع می‌شوند. به نظر می‌رسد کاربرد اسیدهای آمینه علاوه بر اینکه موجب بهبود و افزایش مقاومت در برابر علائم ناشی تنش خشکی می‌شود سبب بهبود بعضی از شاخص‌های رشدی گیاه می‌شود. به طوری که الظهیری و اسفور (۲۰۰۹) دریافتند که، محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بر روی سیب‌زمینی به طور معنی‌داری رشد رویشی بویژه ارتفاع گیاه و وزن خشک گیاه را افزایش داد. مرواد و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند، اسپری برگی اسید آمینه روی لوبیا چشم بلبلی موجب افزایش شاخص‌های رشدی گیاه گردید. از نتایج آزمایش حاضر نیز چنین استنباط می‌شود که تاثیر همزمان آبیاری در مرحله گلدهی و مصرف اسیدهای آمینه بر تجمع ماده خشک بیشتر از تاثیر آبیاری در مرحله پرشدن دانه و مرحله کاشت و مصرف همزمان اسیدهای آمینه می‌باشد (شکل ۵). ماده خشک کل با تمام صفات مورد ارزیابی در این تحقیق همبستگی بالایی نشان داد (جدول ۶).



شکل ۵. روند تجمع ماده خشک تحت تأثیر تیمارهای آبیاری تکمیلی، پرایمینگ و محلول پاشی اسیدهای آمینه (P): پرایم شده، NP: پرایم نشده، L: لیزین، M: متیونین، W: آب خالص)

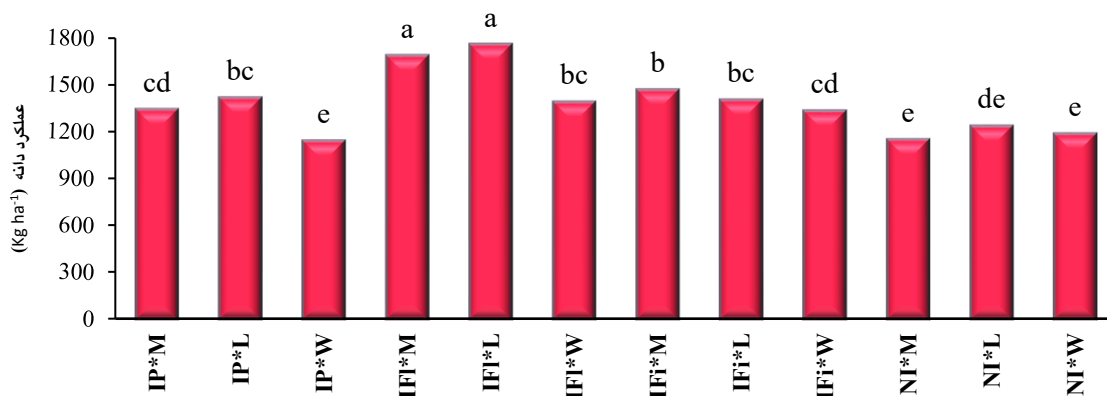
عملکرد دانه (Y)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثرات اصلی آبیاری تکمیلی و آمینو اسید و برهمکنش دو گانه آبیاری تکمیلی در محلول پاشی اسید در سطح یک درصد بر عملکرد دانه معنی دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین برهمکنش دوگانه آبیاری تکمیلی و آمینو اسیدها بر روی عملکرد نشان داد محلول پاشی با هر دو نوع اسید آمینه در ترکیب با آبیاری تکمیلی در هنگام گلدهی بیشترین عملکرد دانه را ایجاد کرد و نسبت به تیمار شاهد (بدون آبیاری تکمیلی و بدون اسید آمینه) بیش از ۴۰ درصد عملکرد بالاتر ایجاد نمود (شکل ۶). همچنین طبق شکل ۶

استفاده از هر کدام از اسیدهای آمینه در رابط آبیاری تکمیلی مراحل کاشت و گلدهی عملکرد دانه را بطور قابل توجهی افزایش داد اما در تیمار آبیاری تکمیلی در مرحله پر شدن دانه، تنها کاربرد متیونین توانست افزایش معنی داری در عملکرد گندم نسبت به آب خالص و لیزین ایجاد کند و تحت شرایط دیم (بدون آبیاری تکمیلی) محلول پاشی هیچ کدام از اسیدهای آمینه بر عملکرد موثر واقع نشد. مقصود و همکاران (۲۰۲۲) محلول پاشی متیونین در مرحله پر شدن دانه گندم را عامل افزایش مقاومت به تنش خشکی و کاهش محتوای مالون دی آلدید بافتها و افزایش فتوسنتز گیاه گزارش کرده اند. شاید

بازشدن روزنه‌های برگ، در تندش دانه‌های گرده و در سنتز کلروفیل کاربرد دارد که می‌تواند نقش مهمی در افزایش تحمل گیاه به تنش ایفا کند. همچنین رضوان و همکاران (۲۰۱۷) نیز اسپری برگی پرولین، سلنیوم و متیونین را در افزایش وزن صد دانه و عملکرد گندم موثر گزارش کرده‌اند. در پژوهش حاضر عملکرد در تیمار آبیاری در مرحله گلدهی نسبت به آبیاری در مرحله کاشت ۳۱ درصد بیشتر بود. ژانگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند که آبیاری تکمیلی در مرحله طویل شدن ساقه و مرحله گرده افشانی کامل در گندم باعث افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه از طریق افزایش تعداد سنبله، تعداد دانه و وزن دانه شد. همچنین منگ و همکاران (۲۰۱۵) بیان کردند آبیاری تکمیلی در مرحله حساس رشد گندم موجب افزایش عملکرد و راندمان مصرف آب در گندم شد که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد. اسیدهای آمینه می‌توانند در بهبود رشد و عملکرد گندم (*Triticum aestivum* L.) با تحریک فرآیندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی اثر گذار باشند (مکسول و کی بر، ۲۰۰۵). بررسی همبستگی بین صفات نشان داد بین عملکرد دانه، تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت رشد نسبی همبستگی معنی‌داری وجود دارد (جدول ۳).

حضور عنصر گوگرد در متیونین در مقایسه با آرژنین عامل افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه باشد (مقصود و همکاران ۲۰۲۲). در مرحله پر شدن دانه به دلیل انتقال مجدد مواد شدت تولید گونه‌های فعال اکسیژن افزایش می‌یابد (رجبی و همکاران ۲۰۲۲، مقصود و همکاران ۲۰۲۲) و متیونین بیشتر از آرژنین در افزایش ظرفیت آنتی اکسیدانی گیاه در این مرحله رشد موثر واقع شده است. متیونین باعث تاثیر بر هورمون‌های گیاهی می‌شود و باعث افزایش محتوای کلروفیل و رشد کلروپلاست می‌شود (خان و همکاران ۲۰۱۹). همچنین به نظر می‌رسد نزدیکی متیونین به فیتوهورمون‌هایی مانند اکسین و سیتوکینین موجب بهبود فعالیت فتوسنتزی و در نهایت بهبود عملکرد در گیاهان می‌شود (کولا و همکاران ۲۰۱۷). متیونین همین طور به عنوان مولکول‌های انتقال دهنده سیگنال عمل نموده و باعث جذب بهتر گوگرد و نیتروژن در گیاه می‌شود (سنتی و همکاران ۲۰۱۷). اکرم و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که رشد گیاه کدو تلخ (*Mamordica charantia* L.) بطور قابل توجهی تحت تنش آبی کاهش یافت، اما اسپری شاخ و برگ گیاه با اسید آمینه متیونین بطور چشمگیری باعث بهبود رشد گیاه در شرایط تنش خشکی شد. اسیدهای آمینه علاوه بر اینکه ترکیبات بزرگ نیتروژن دار هستند و در ساختمان پروتئین‌ها نقش اساسی دارند (وو ۲۰۰۹)، نجفی و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند، لیزین در تنظیم



شکل ۶- مقایسه میانگین اثر دوگانه آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی آمینواسیدها بر عملکرد دانه (W: آب خالص، L: لیزین، M: متیونین، IP: آبیاری زمان کاشت، IFI: آبیاری هنگام گلدهی، IFI: آبیاری هنگام پر شدن دانه، NI: بدون آبیاری تکمیلی)

نتیجه گیری کلی

بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، کاربرد هر سه عامل آبیاری تکمیلی، پرایمینگ مزرع‌ای بذرو محلول‌پاشی آمینواسید، توانستند در کاهش شدت خشکی ناشی از کشت دیم گندم موثر واقع شوند. آبیاری تکمیلی در دو مرحله گلدهی و پر شدن دانه به‌عنوان مهمترین عامل تاثیر گذار بر شاخص‌های رشد مطرح شد که البته آبیاری در مرحله گلدهی بطور معنی‌داری موثرتر بود. همچنین محلول‌پاشی اسیدهای آمینه بدون تفاوت معنی‌داری بین متیونین و لیزین بیشینه‌های شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و ماده خشک کل را نسبت به اسپری آب خالص افزایش دادند. در مقایسه با دو عامل آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی اسیدهای آمینه، پرایمینگ مزرع‌ای بذر دامنه تاثیر کمتری بر صفات مورد ارزیابی نشان داد اما بهر حال اثر آن معنی‌دار بود. مهمترین نتیجه این پژوهش مشاهده برهمکنش بین آبیاری تکمیلی و پرایمینگ مزرع‌ای بذر بر سرعت رشد محصول و برهمکنش آبیاری تکمیلی و محلول‌پاشی

اسیدهای آمینه بر عملکرد دانه بود، بصورتی‌که در هر دو برهمکنش به ترتیب آبیاری در هنگام گلدهی و انجام پرایمینگ بذر بالاترین سرعت رشد محصول ($g\ m^{-2}$) و آبیاری در مرحله گلدهی و کاربرد اسیدهای آمینه از هر دو نوع بیشترین عملکرد دانه ($kg\ ha^{-1}$) را ایجاد نمودند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت آبیاری تکمیلی در هنگام گلدهی به همراه محلول‌پاشی اسیدهای آمینه (با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر) و پرایمینگ مزرع‌ای بذر می‌تواند، زمینه افزایش رشد و عملکرد گندم دیم را تحت شرایط آب و هوایی همدان تا حدود ۴۵ درصد فراهم آورد.

سیاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از رساله دکتری بوده است که آزمایش‌های مربوط به آن با حمایت دانشگاه بوعلی سینا انجام گردیده است. به این وسیله نویسندگان مقاله از دانشگاه مذکور تشکر و قدردانی می‌نمایند.

منابع مورد استفاده

- Aboutalebian MA, and Elahi M. 2015. Evaluation of changes in some physiological indices of chickpea (*Cicer arietinum* L.) affected by on-farm seed priming and bio-fertilizers at different phosphorus levels. Journal of Crop Production and Processing, 20: 25-38. (In Persian with English Abstract). <http://dx.doi.org/10.18869/acadpub.jcpp.6.20.25>
- Aboutalebian MA, Zare Ekbatani G, and Sepehri A. 2012. Effects of on-farm seed priming with zinc sulfate and urea solutions on emergence properties, yield and yield components of three rainfed wheat cultivars. Annals of Biological Research, 3 (10): 4790-4796. <https://doi.org/10.5281/zenodo.17328268>
- Adham A, Riksen M, Ouessar M, and Ritsema CJ. 2016. A methodology to assess and evaluate rainwater harvesting techniques in (semi-) arid regions. Water, 8: 198. <https://doi.org/10.3390/w8050198>.
- Ahammad K, Rahman M, and Ali M. 2014. Effect of hydropriming method on maize (*Zea mays*) seedling emergence. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 39: 143-150. <https://doi.org/10.3329/bjar.v39i1.20164>
- Akram NA, Hani U, Ashraf M, and Sadiq M. 2020. Exogenous application of L-methionine mitigates the drought-induced oddities in biochemical and anatomical responses of bitter melon (*Momordica charantia* L.), Scientia Horticulturae, 267: 109333. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109333>
- Ansari MJ, Kumar R, Singh K, and Dhaliwal HS. 2014. Characterization and molecular mapping of a soft glume mutant in diploid wheat (*Triticum monococcum* L.). Cereal Research Communications, 42 (2): 209-217. <https://doi.org/10.1556/CRC.2013.0057>
- Anne C, and Thomas S. 2015. Regulation of chloroplast development and function by cytokinin. Journal of Experimental Botany, 66: 4999-5013. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv132>

- Bannayan M, Yaghoubi F, Rashidi Z, and Bardehji S. 2019. Effect of different nitrogen levels on yield components, yield and nitrogen use efficiency of two lentil cultivars in rainfed conditions. *Iranian Journal of Pulses Research*, 10 (1): 150-177. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22067/ijpr.v10i1.59699>
- Calvacante ES, Lacerda CF, Mesquita RO, de Melo AS, Ferreira JFS, Teixeira AS, Lima SCR, Sales JRS, Silva JS, and Gheyi HR. 2022. Supplemental irrigation with brackish water improves carbon assimilation and water use efficiency in maize under tropical dryland conditions. *Agriculture*, 12(4): 544. <https://doi.org/10.3390/agriculture12040544>.
- Chaganti VN, Ganjegunte G, Niu G, Ulery A, Flynn, R, and Enciso, JM. 2020. Effects of treated urban wastewater irrigation on bioenergy sorghum and soil quality. *Agricultural Management Water*, 228: 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105894>.
- Chen Y, Leng YN, Zhu FY, Li SE, Song T, and Zhang J. 2023. Water-saving techniques: physiological responses and regulatory mechanisms of crops. *Advanced Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.1007/s44307-023-00003-7>.
- El-zohiri SSM, and Asfour YM. 2009. Effect of some organic compounds on growth and productivity of some potato cultivars. *Annals of Agricultural Science Moshtohor Journal*, 47(3): 403-415.
- FAOSTAT, 2020. <http://www.fao.org/world-food-situation/csdb/en/>
- Farooq M, Jang YH, Kim EG, Park JR, Eom GH, Zhao DD, and Kim KM. 2023. Evaluation of amino acid profiles of rice genotypes under different salt stress conditions. *Plants*, 12 (6): 1315. <https://doi.org/10.3390/plants12061315>
- Faten SA, Shaheen AM, Ahmed AA, and Mahmoud AR. 2010. Effect of foliar application of amino acids as antioxidants on growth, yield and characteristics of Squash. *Research Journals in Agricultural and Biological Sciences*, 6: 583-588.
- Ghodke PH, Andhale PS, Gijare UM, Thangasamy A, Khade YP, Mahajan V, and Singh M. 2018. Physiological and biochemical responses in onion crop to drought stress. *International Journal of Current Microbiology and Applied Science*, 7 (1): 2054–2062. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.701.247>
- Jafari H, Heidari GHR, and Khalesro SH. 2019. Effects of supplemental irrigation and biofertilizers on yield and yield components of dryland wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agriculture Science*, 29(2): 173-187. (In Persian with English Abstract).
- Javadi H, Rashed Mohassle MH, Zamani GhR, Azari Nasrabad A, and Mossavi GhR. 2006. Effect of plant density on growth indices of four grain sorghum cultivars. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 4(2): 253-266. (In Persian with English Abstract).
- Khan S, Yu H, Li Q, Gao Y, Sallam BN, Wang H, Liu P, and Jiang W. 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. *Agronomy*, 9(5): 2-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy9050266>
- Li C.X, Xu WG, Guo R, Zhang JZ, Qi XL, Hu L, and Zhao MZ. 2019. Molecular marker assisted breeding and genome composition analysis of Zhengmai 7698. *Science Reporter Magazine*, 8: 322. <https://doi.org/10.1038 /s41598-017-18726-8>.
- Maqsood M.F, Shahbaz M, Kanwal S, Kaleem M, Shah S.M.R, Luqman M, Iftikhar I, Zulfiqar U, Tariq A, Naveed S.A, Inayat N, Muhi Ud Din A, Uzair M, Khan M.R and Farhat F. 2022. Methionine promotes the growth and yield of wheat under water deficit conditions by regulating the antioxidant enzymes, reactive oxygen species, and ions. *Life (Basel)*, 12(7): 969. <https://doi.org/10.3390/life12070969>.
- Matysiak K, Kierzek R, Siatkowski I, Kowalska J, Krawczyk R, and Miziniak W. 2020. Effect of exogenous application of amino acids l-arginine and glycine on maize under temperature stress. *Agronomy*, 10 (6): 769. <https://doi.org/103390/agronomy10060769>

- Maxwell BB, and Kieber JJ. 2005. Cytokinin signal transduction in: plant hormones: Biosynthesis, signal transduction, action! PJ Davies ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, Ca. 800. 321-349.
- Meng W, Yu Z, Zhang Y, Shi Y, and Wang D. 2015. Effects of supplemental irrigation on water consumption characteristics and grain yield in different wheat cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 75 (2): 216-223. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392015000200011>
- Merwad ARM, Desoky ESM, and Rady MM. 2018. Response of water deficit-stressed *Vigna unguiculata* performances to silicon, proline or methionine foliar application. *Scientia Horticulturae*, 228: 132-144. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.008>
- Mishra S, Kumar R, and Kumar M. 2023. Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*, 6: 100051. <https://doi.org/10.1016/j.totert.2023.100051>.
- Namich Alia AM. 2007. Response of cotton cultivar Giza 80 to application of glycine betaine under drought conditions. *Minufiya Journal of Agriculture Science*, 32 (6): 1637-1651.
- Nangia V, and Oweis T. 2016. Supplemental irrigation: A promising climate-resilience practice for sustainable dryland agriculture. M Farooq and KHM Siddique ed. Springer Publisher, Ludhiana, India. 549-564.
- Narimani H, Seyyed Sharifi R, and Ebadi N. 2019. Effects of supplementary irrigation and nano iron oxide on growth indices, radiation absorption and yield of wheat under rainfed condition. *Iranian Journal of Dryland Agriculture*, 7(2): 159-222. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.22092/idadj.2019.123211.233>
- Ortiz N, Armada E, Duque E, Roldán A, and Azcón, R. 2015. Contribution of arbuscular mycorrhizal fungi and/or bacteria to enhancing plant drought tolerance under natural soil conditions: Effectiveness of autochthonous or allochthonous strains. *Journal Plant Physiology*, 174: 87-96. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.08.019>
- Passioura JB. 2007. The drought environment: physical, biological and agricultural perspectives. *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 113-117. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl212>
- Porter JR, and Gawith M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10(1): 23-36. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(98\)00047-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(98)00047-1)
- Rajabi R, Eslami SV, Jami Al Ahmadi M, Mohammadi R, and Saeidi M. 2022. The effects of times and method of urea fertilizer application on grain protein content and nitrogen remobilization under supplementary irrigation in dryland wheat. *Plant Production and Genetics*, 3(2): 189-204. (In Persian with English Abstract). <https://doi.org/10.34785/J020.2022.001>
- Raza A, Tabassum J, Mubarik MS, Anwar S, Zahra N, and Sharif Y. 2022. Hydrogen sulfide: an emerging component against abiotic stress in plants. *Plant Biology*, 24: 540-558. <https://doi.org/10.1111/PLB.13368>.
- Rizwan M, Ali S, Hussain A, Ali Q, Shakoor MB, Zia-ur-Rehman M, Farid M, and Asma M. 2017. Effect of zinc-lysine on growth, yield and cadmium uptake in wheat (*Triticum aestivum* L.) and health risk assessment. *Chemosphere*, 187: 35-42. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.08.071>
- Saatsaz M. 2019. A historical investigation on water resources management in Iran. *Environment, Development and Sustainability*, 22: 1749-1785. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-00307-y>
- Santi C, Zamboni A, Varanini Z, and Pandolfini, T. 2017. Growth stimulatory effects and genome-wide transcriptional changes produced by protein hydrolysates in maize seedlings. *Frontier in Plant Science*, 8: 433. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00433>
- Shekari G, and Javanmardi J. 2017. Effects of foliar application pure amino acid and amino acid containing fertilizer on broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica) transplants. *Advances in Crop Science and Technology*, 3 (5): 1-4. <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000280>

- Sime G, and Aune JB. 2019. On-farm seed priming and fertilizer micro-dosing: Agronomic and economic responses of maize in semi-arid Ethiopia. Food and Energy Security, 9(1): 1-13. <https://doi.org/10.1002/fes3.190>.
- Syed A, Raza T, Bhatti TT, and Eash NS. 2022. Climate impacts on the agricultural sector of Pakistan: risks and solutions. Environment Challenges, 6: 100433. <https://doi.org/10.1016/J.ENVCL.2021.100433>.
- Talat A, Nawaz K, Hussian K, Bhatti KH, Siddiqi EH, and Khalid A. 2013. Foliar application of proline for salt tolerance of two wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. World Applied Sciences Journal, 4: 547–554. <https://doi.org/10.5829/idosi.wasj.2013.22.04>.
- Tavakoli AR. 2012. Effect of limited planting and irrigation dates on yield and yield components of five wheat cultivars in Maragheh. Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products, 2 (6): 87-96. (In Persian with English Abstract). <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.22518517.1391.2.6.9.9>
- Torabi B, Soltani A, Galeshi S, and Zeinali E. 2013. Assessment of effect of irrigation regime on wheat yield gap in Gorgan region. Journal of Plant Production, 20 (2): 73-93. (In Persian with English Abstract).
- Wahba HE, Motawe HM, and Ibrahim AY. 2015. Growth and chemical composition of *Urtica pilulifera* L. plant as influenced by foliar application of some amino acids. Journal Mater Environment Sciences, 6 (2): 499–506.
- Zelege ZA. 2020. Effect of different levels of supplementary irrigation on yield and yield component of maize (*Zea mays* L) at Teppi, South West Ethiopia. MSc. Thesis University of Haramaya.
- Zhang H, Han K, Gu SH, and Wang D. 2019. Effects of supplemental irrigation on the accumulation, distribution and transportation of ¹³C-photosynthate, yield and water use efficiency of winter wheat. Agricultural Water Management, 214: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.12.028>