

The effect of thiamine and pyridoxine on yield and some physiological wheat traits under drought stress conditions

Akbar Seifi¹, Ali Ahmadi^{*2}, Kazem Poustini²

1,2,3. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: December 18, 2021 - Accepted: May 17, 2022)

ABSTRACT

Drought stress is one of the most important abiotic stresses limiting wheat production. To improve the growth and yield of wheat under drought stress, a factorial experiment was performed based on a randomized complete block design with three replicates in the research greenhouse of the University of Tehran. Experimental treatments included irrigation at two levels (well-watered and drought stress) and vitamin foliar application at four levels (control, thiamine, pyridoxine, and thiamine+pyridoxine). The results showed that drought stress reduced the relative water content of flag leaves by 21%. The use of vitamins increased the amount of this trait compared to the control treatment. The chlorophyll number (SPAD) of flag leaf increased under drought stress, but the use of vitamins had no significant effect on this trait. Drought stress had an increasing effect on leaf free proline content and foliar application of thiamine and its combination with pyridoxine, respectively, increased this trait by 53% and 32% compared to treatment without foliar application under drought stress conditions. Also, the percentage of electrolyte leakage and malondialdehyde content of flag leaf under drought stress increased by 31% and 103%, respectively. Vitamins reduced the amount of malondialdehyde and had no significant effect on the percentage of electrolyte leakage. Drought stress also reduced wheat grain and biological yields. Foliar application of vitamins showed an additive effect on these traits compared to the control treatment. The highest grain yield per plant was obtained in treatments of pyridoxine (1.1 g) and its combination with thiamine (1.2 g).

Keywords: Drought stress, irrigation, physiological traits, vitamin, wheat yield.

تأثیر تیامین و پیریدوکسین بر عملکرد و برخی صفات فیزیولوژیکی گندم در شرایط تنش خشکی

اکبر سیفی^۱، علی احمدی^{*۲}، کاظم پوستینی^۲

۱-۲-۳ به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۲/۲۷)

چکیده

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که تولید گندم را محدود می‌سازد. باهدف بهبود رشد و عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه تهران انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری در دو سطح (آبیاری معمول و تنش خشکی) و محلول‌پاشی ویتامین در چهار سطح (شاهد، تیامین، پیریدوکسین و تیامین+پیریدوکسین) بودند. نتایج نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش ۲۱ درصدی محتوای آب نسبی برگ پرچم می‌شود؛ اما استفاده از ویتامین‌ها میزان این صفت را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد. میزان عدد کلروفیل (SPAD) برگ پرچم تحت تاثیر تنش خشکی افزایش یافت، اما کاربرد ویتامین‌ها تاثیر معنی‌داری بر این صفت نداشت. تنش خشکی اثر افزایشی روی میزان پرولین آزاد برگ داشت و محلول‌پاشی تیامین و ترکیب آن با پیریدوکسین، به ترتیب باعث افزایش ۵۳ و ۳۲ درصدی این صفت نسبت به تیمار بدون محلول‌پاشی در شرایط تنش خشکی شد. همچنین درصد نشت الکترولیتی غشا و محتوای مالون‌دی‌آلدهید برگ تحت تاثیر تنش خشکی به ترتیب با افزایش ۳۱ و ۱۰۳ درصدی مواجه شدند. ویتامین‌ها میزان مالون‌دی‌آلدهید را کاهش داده و تاثیر معنی‌داری بر درصد نشت الکترولیتی غشا نداشتند. تنش خشکی باعث کاهش میزان عملکرد دانه و عملکرد زیستی در بوته شد. محلول‌پاشی ویتامین‌ها نسبت به تیمار شاهد اثر افزایشی روی این صفات نشان دادند. بیشترین مقدار عملکرد دانه در بوته در تیمارهای پیریدوکسین (۱/۱ گرم) و ترکیب آن با تیامین (۱/۲ گرم) حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تنش خشکی، صفات فیزیولوژیکی، عملکرد گندم، ویتامین.

* Corresponding author E-mail: Ahmadi@ut.ac.ir

مقدمه

غلات سهم عمده‌ای در تامین نیاز غذایی بشر دارند و با افزایش جمعیت جهان در سال‌های اخیر، اهمیت تولید آن‌ها افزایش یافته است. گندم یکی از مهم‌ترین غلات تغذیه‌ای و به‌عنوان یک محصول باارزش جهانی است که نقش اساسی در امنیت غذایی جهان داشته و غذای اصلی بیش از یک سوم جمعیت جهان است (Alghabari *et al.*, 2015; Zhu, 2002). یکی از اهداف اصلی ملی در بسیاری از کشورها، تولید و یا تامین کافی گندم برای مردمان آن کشور است، چرا که کمبود آن ممکن است منجر به آشفتگی‌های اجتماعی و سیاسی شود. در برخی از کشورهای شمال آفریقا و خاورمیانه کمبود تولید گندم و غلات باعث شورش‌های اجتماعی و گاهی منجر به تغییر رژیم شده است (Walton & Seddon, 1994). مهم‌ترین عامل تهدیدکننده تولید گندم، خشکی است. تنش خشکی باعث اختلال در فرآیندهای بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی، کاهش رشد (Osborne *et al.*, 2002) و به‌ویژه در طول پر شدن دانه باعث کاهش عملکرد بالقوه گیاه می‌شود (Rharrabtia *et al.*, 2003). بیش از ۶۰ درصد زمین‌های زیر کشت این گیاه در جهان دیم هستند که همین مسئله تولید آن را در مناطق مختلف با نوسان مواجه می‌سازد. بهبود مقاومت گیاهان به تنش‌ها یک اولویت پژوهشی در اصلاح غلات در جهان است (Leflon *et al.*, 2005). برای بهبود مقاومت گیاهان به تنش خشکی روش‌های زیادی معرفی شده که از جمله آن‌ها استفاده از مواد شیمیایی با قابلیت تنظیم‌کنندگی رشد است که می‌تواند باعث بهبود کارایی فتوسنتز و عملکرد گیاهان در شرایط تنش شود (Sahu *et al.*, 1993). برخی از ترکیبات ویتامینی محلول در آب (ویتامین‌های B و C) و ترکیبات محلول در چربی (ویتامین‌های A، E و K) دارای پتانسیل

آنتی‌اکسیدانی قوی هستند. گیاهان حاوی طیف وسیعی از ویتامین‌ها هستند که نه تنها برای متابولیسم بدن انسان بلکه به دلیل نقش‌های فیزیولوژیکی، برای خود گیاه نیز ضروری هستند. ویتامین‌های آنتی‌اکسیدان در گیاهان که توجه محققان را به خود جلب کرده شامل ویتامین‌های A، C و E هستند. مطالعات نشان داده‌اند که برخی ویتامین‌های گروه B نیز می‌توانند در گیاه نقش آنتی‌اکسیدانی داشته باشند که از جمله آن‌ها می‌توان به ویتامین‌های B1، B6 و B9 اشاره کرد (Asensi-Fabado & Munné-Bosch, 2010). تیمین (ویتامین B1) به فرم کوآنزیمی خود (تیمین-پیروفسفات) در انجام واکنش‌های دکربوکسیلاسیون و ترانس‌کتولاسیون ایفای نقش می‌کند. از مهم‌ترین واکنش‌های دکربوکسیلاسیونی که این ویتامین در آن‌ها نقش ایفا می‌کند می‌توان به مسیر بیوسنتز اسیدهای چرب، واکنش‌های تبدیل پیروات به استیل‌کوآنزیم‌آ، تبدیل ایزوسیترات به α -کتوگلوکارات و تبدیل α -کتوگلوکارات به سوکسونیل کوآنزیم‌آ در چرخه کربس، تبدیل گلوکز ۶-فسفات به ریبولوز ۵-فسفات در مسیر اکسیداسیون مستقیم گلوکز اشاره کرد. همچنین تیمین پیروفسفات در واکنش‌های ترانس‌کتولاسیون در مرحله بازیافت چرخه کالوین و مسیر اکسیداسیون مستقیم گلوکز به‌عنوان کوآنزیم برای آنزیم ترانس‌کتولاز ایفای نقش می‌کند (Esfandiari *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای که روی گیاه آرابیدوپسیس صورت گرفته سطوح تیمین در تنش‌های شوری، پاراکوات، گرما و تنش اسمزی افزایش چشمگیری داشته است. علاوه بر تجمع تیمین در گیاه در شرایط تنش، کاربرد خارجی این ویتامین می‌تواند باعث مقاومت گیاه به تنش شوری و تنش‌های اکسیداسیونی شود (Goyer, 2010). در آزمایشی که توسط Sayed & Gadallah (2002) انجام شد، محلول‌پاشی برگ‌ی و کاربرد این ویتامین بر ریشه

برای غلبه بر این مشکلات می‌تواند مفید باشد. استفاده از مواد شیمیایی با قابلیت تنظیم‌کنندگی رشد و بهبوددهنده مقاومت به تنش می‌تواند باعث بهبود کارایی فتوسنتز در گیاهان زراعی شود (Sahu et al., 1993). در مورد تاثیر احتمالی ویتامین‌های ب ۱ (تیامین) و ب ۶ (پیریدوکسین) در بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی کارهای پژوهشی بسیار محدودی صورت گرفته است؛ بنابراین هدف از اجرای این پژوهش، بهبود عملکرد گندم در شرایط تنش خشکی با استفاده از تیامین و پیریدوکسین بود.

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی اثرات ویتامین ب ۱ (تیامین) و ب ۶ (پیریدوکسین) بر وضعیت رشدی گندم در شرایط تنش خشکی، یک آزمایش گلدانی در گلخانه تحقیقاتی گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۶، به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. آبیاری به‌عنوان فاکتور اول در دو سطح (آبیاری معمول و تنش خشکی به ترتیب ۸۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و محلول‌پاشی ویتامین به‌عنوان فاکتور دوم شامل ویتامین‌های ب ۱ و ب ۶ به‌تنهایی و ترکیبی (ذکرشده در جدول ۱) در نظر گرفته شد.

تیمار آبیاری بر اساس ترکیبی از علائم ظاهری گیاه (میزان پژمردگی بوته) و درصد رطوبت خاک اعمال شد. آبیاری تیمار شاهد، قبل از ظهور هرگونه علائم پژمردگی و با رسیدن رطوبت خاک گلدان به ۲۲/۸۶ درصد (معادل ۸۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) و آبیاری تیمار تنش با ظهور علائم پژمردگی ملایم، به هنگام رسیدن رطوبت خاک به ۱۱/۴۳ درصد (معادل ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) انجام شد. رطوبت خاک در

گیاه آفتابگردان، باعث تعدیل اثرات مخرب تنش شوری در رشد ریشه و ساقه این گیاه شد، به طوری که با کاربرد تیامین در شرایط تنش اکسیداتیو، میزان کلروفیل، محتوای آب نسبی و قندهای محلول افزایش یافت. در آزمایش دیگری موتانت‌های tz و ty گیاه آرابیدوپسیس در شرایط تنش پاراکوات پاسخ بهتری به تیامین در مقایسه با گونه‌های وحشی نشان دادند (Tunc-Ozdemir et al., 2009). فرم کوآنزیمی ویتامین ب ۶ (پیریدوکسال فسفات)، کوآنزیم اصلی متابولیسم اسیدهای آمینه، چربی‌ها و کربوهیدرات‌ها است. کوآنزیم مذکور بسته به این که با چه آپوآنزیمی پیوند برقرار کند، اعمال متابولیکی متفاوتی مانند دامیناسیون و ترانس‌آمیناسیون، حذف گروه کربوکسیلیک اسیدهای آمینه (تبدیل اسیدآمینه به آمین مربوطه، مانند تبدیل گلوتامات به گلوتامین)، ایجاد انواع اسیدهای آمینه مانند تبدیل سرین به گلیسین و تبدیل فرم D اسیدهای آمینه به فرم L (فرم کاربردی) را انجام می‌دهد (Esfandiari & Mahboob, 2013; Mooney et al., 2009). ویتامین ب ۶ یک آنتی‌اکسیدان قوی است، به طوری که نقش اساسی در زدودن گونه‌های فعال اکسیژن در کلروپلاست، به‌ویژه حذف اکسیژن منفرد در سیستم نوری II و پراکسید هیدروژن تولید شده در سیستم نوری I دارد (Asensi-Fabado & Munne-Bosch, 2010). نتایج آزمایش قرارگرفتن توتون در معرض تنش‌های محیطی غیر زنده مانند سرما، خشکی و اشعه ماورای بنفش، افزایش سطح پیریدوکسال ۵-فسفات را گزارش کرد که نشان‌دهنده شرکت این ویتامین در مکانیسم‌های دفاعی گیاه در شرایط تنش است (Huang et al., 2013).

با وجود مسئله کم‌آبی و پایین‌بودن تولید در مزارع و همچنین باتوجه‌به این که گندم محصول اصلی تولیدی در ایران است، اجرای برنامه‌های به‌زراعی و به‌نژادی

وضعیت ظرفیت زراعی ۲۸/۵۸ درصد بود
(Jamshidi *et al.*, 2018).

جدول ۱- تیمارهای آبیاری و ویتامین اعمال شده در آزمایش

Table 1. Irrigation and vitamin treatments applied in the experiment

Vitamin Foliar Application	Irrigation
Control (no vitamin)	Normal Irrigation (80% FC)
Thiamine (vitamin B1)	Drought Stress (40% FC)
Pyridoxine (vitamin B6)	
Thiamine + Pyridoxine	

شرکت Duchefa Biochemie هلند) به تنهایی و در ترکیب باهم و با غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر آب (۱۰۰ پی پی ام)، ۱۰ روز قبل از زمان شروع تنش با فاصله زمانی ۱۰ روزه و در مجموع سه مرتبه در تیمارهای مربوط محلول پاشی شدند. محلول پاشی برگ‌های ویتامین‌ها در اوایل صبح انجام شد. برای افزایش میزان جذب محلول‌های ویتامینی، از توتین با غلظت نیم درصد استفاده شد (Hammad & Ali, 2014).

در تحقیق حاضر صفات محتوای آب نسبی برگ، درصد نشت الکترولیتی و میزان سبزیگی برگ پرچم (عدد SPAD) و مساحت برگ پرچم در مرحله پر شدن دانه (اواسط شیری دانه با عدد زادوکس ۷۵) به شرح ذیل اندازه‌گیری شدند. همچنین در این مرحله، تعداد پنج برگ پرچم جدا و بعد از قرارگیری در تانک ازت به آزمایشگاه منتقل و تا اندازه‌گیری صفات محتوای مالون‌دی‌آلدهید و پرولین در فریزر ۸۰- درجه سانتی-گراد نگهداری شدند.

محتوای آب نسبی برگ (RWC): برای محاسبه محتوای آب نسبی برگ، دو عدد برگ پرچم را از بوته‌ها جدا کرده و بلافاصله وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی حساس یادداشت شد. سپس برگ‌ها به چند قطعه مساوی برش خورده و در آب مقطر به حالت شناور قرار داده شدند. پس از ۱۲ ساعت با پاک کردن آب روی برگ‌ها، وزن اشباع آن‌ها یادداشت شد. سپس نمونه‌ها

هر واحد آزمایشی شامل ۳ گلدان بود. برای این کار از گلدان‌های پلاستیکی با قطر دهانه ۲۰ و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر استفاده شد. خاک تا ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری گلدان‌ها (مخلوط خاک مزرعه، ماسه و کود دامی پوسیده الک‌شده با نسبت ۱:۱:۲) و به‌طور یکسان پر شد. بذور گندم رقم سیروان (تیپ بهاره) قبل از کاشت با قارچ‌کش ضدعفونی شدند، سپس هشت بذر داخل هر گلدان کاشته شد. عملیات کشت در اوایل آبان سال ۱۳۹۶ صورت گرفت. آبیاری با آب شهری انجام شد. طول دوره نوری با استفاده از لامپ‌های کمکی فلورسنت ۱۶ ساعت، میزان رطوبت و دمای محیط به ترتیب ۶۵ درصد و ۲۵ درجه سانتی‌گراد بود. در مرحله دو برگ‌ی، تنک گیاهچه‌ها انجام و در نهایت داخل هر گلدان پنج گیاهچه سالم نگه داشته شد. برای دریافت یکنواخت نور در همه تیمارها، گلدان‌ها به‌صورت دوره‌ای جابجا شدند. آبیاری تمام گلدان‌ها تا ظهور دومین گره روی ساقه بطور کامل انجام شد. پس از این مرحله و تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک، آبیاری گیاهان شاهد (آبی) هنگامی انجام شد که رطوبت خاک گلدان به ۸۰ درصد رطوبت در حد ظرفیت زراعی رسید، درحالی‌که گیاهان تنش (خشکی) زمانی آبیاری شدند که رطوبت خاک گلدان به ۴۰ درصد رطوبت در حد ظرفیت مزرعه افت کرد. ویتامین‌های ب ۱ و ب ۶ به ترتیب از منابع تیمامین-هیدروکلراید و پیریدوکسین‌هیدروکلراید (ساخت

دستگاه پلیت ریدر (الایزا) مدل EON BioTek در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد. غلظت پرولین بر حسب میلی گرم بر گرم بافت تازه برگ با استفاده از منحنی استاندارد تعیین شد (Paquin & Lechasseur, 1979) به نقل از (Modares Sanavi *et al.*, 2014).

مالون دی آلدئید: برای اندازه گیری محتوای مالون دی آلدئید (MDA)، ۰/۲۵ گرم از نمونه منجمد برگ پرچم در هاون چینی حاوی پنج میلی لیتر تری کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد ساییده شد. عصاره حاصل به مدت پنج دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ و ۲۵۰ میکرولیتر از محلول رویی آن با یک میلی لیتر محلول مالون دی آلدئید که حاوی تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد و تیوباریتوریک اسید ۰/۵ درصد است مخلوط شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد در حمام آب گرم (بن ماری) حرارت داده شد. سپس بلافاصله در یخ سرد شده و دوباره مخلوط به مدت ۱۰ دقیقه با دور ۱۰۰۰۰ سانتریفیوژ شد. جذب نوری محلول با استفاده از دستگاه پلیت ریدر در طول موجهای ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر قرائت شد. برای محاسبه غلظت MDA از ضریب خاموشی $\text{mM}^{-1}\text{cm}^{-1}$ ۱۵۵ استفاده شد (Heath & Packer, 1969).

درصد نشت الکترولیتی غشا: برای اندازه گیری درصد نشت الکترولیتی (EL)، ۰/۲ گرم از نمونه های برگ پرچم را داخل لوله فالكون محتوی ۱۰ میلی لیتر آب مقطر قرار داده و سپس لوله های حاوی نمونه برگی به مدت دو ساعت به حمام آب گرم با دمای ۳۲ درجه سانتی گراد منتقل شدند. بعد از این مدت و با رسیدن دمای نمونه ها به دمای اتاق، هدایت الکتریکی اولیه آن ها اندازه گیری شد (EC1). سپس نمونه ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد اتوکلاو شده و بعد از رسیدن دمای آن ها به دمای اتاق، هدایت

به مدت ۱۲ ساعت به آون با دمای ۸۰ درجه سانتی گراد منتقل و در نهایت وزن خشک آنها یادداشت شد. با در دست داشتن وزن تر (FW)، وزن اشباع (SW) و وزن خشک (DW)، محتوای نسبی آب برگ (RWC) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Wang *et al.*, 2017):

$$\text{RWC} = [(FW-DW)/(SW-DW)] \times 100 \quad (۱)$$

مساحت برگ پرچم: برای اندازه گیری مساحت برگ پرچم، سه بوته به صورت تصادفی انتخاب و مساحت برگ پرچم آن ها با دستگاه سطح برگ سنج مدل Delta MK2 بر اساس سانتی متر مربع اندازه گیری شد. عدد کلروفیل متر (SPAD) در برگ پرچم: این صفت برای برگ پرچم بوته ها با استفاده از دستگاه کلروفیل متر دستی (SPAD-502, Minolta, Japan) قرائت شد.

محتوای پرولین آزاد برگ: ابتدا ۰/۲ گرم نمونه منجمد برگ پرچم در هاون چینی و با سه میلی لیتر سولفوسالیسیلیک اسید سه درصد به خوبی ساییده شد. محلول به دست آمده در دستگاه سانتریفیوژ به مدت ۱۵ دقیقه و با سرعت ۱۸۰۰۰g قرار داده شد. دو میلی لیتر از عصاره صاف شده به لوله های درب دار منتقل و دو میلی لیتر معرف ناین هیدرین و دو میلی لیتر استیک اسید گلاسیال به آن ها اضافه و به مدت یک ساعت در بن ماری با دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شدند. پس از سرد شدن لوله ها در دمای اتاق به هر کدام مقدار چهار میلی لیتر تولوئن اضافه و با استفاده از دستگاه ورتکس به مدت ۱۵-۲۰ دقیقه تکان داده شدند. سپس نمونه ها به مدت نیم ساعت به حالت سکون قرار گرفتند. بعد از این مدت محلول به دو فاز تبدیل شد (محلول حاصل قرمز رنگ است که دو فاز با رنگ های متمایز دارد). فاز رویی حاوی پرولین همزمان با استانداردها در پلیت ریخته شده و جذب نوری نمونه ها با استفاده از

تیمین و پیریدوکسین (۸۰ درصد) و محلول پاشی ترکی تیمین (۸۳ درصد) حاصل شد (جدول ۴). تیمارهای ویتامینی احتمالاً از طریق افزایش تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین در برگ باعث افزایش پتانسیل اسمزی سلولی شده و از این طریق باعث ورود آب به داخل برگ می‌شوند. در مطالعه انجام‌شده روی شیدر سفید، افزایش محتوای آب نسبی برگ در نتیجه کاربرد تیمین گزارش شده است (Ghaffar *et al.*, 2019). همچنین کاربرد ویتامین ب ۱ در گیاه آفتاب‌گردان باعث افزایش محتوای آب نسبی برگ شد که دلیل احتمالی آن، تجمع یون پتاسیم و متعاقب آن افزایش توان اسمزی در برگ است (Sayed & Gadallah, 2001).

عدد کلروفیل (SPAD)

بین تیمارهای آبیاری از لحاظ عدد کلروفیل (SPAD) در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار مشاهده شد. استفاده از ویتامین تأثیری بر میزان این صفت نداشت و همچنین اثر متقابل آبیاری و ویتامین نیز بر محتوای نسبی کلروفیل معنی‌دار نبود (جدول ۲). بر اساس مقایسات میانگین، خشکی باعث افزایش پنج درصدی عدد کلروفیل نسبت به آبیاری نرمال شد (جدول ۳).

کلروفیل یکی از رنگدانه‌های اصلی کلروپلاست بوده و محتوای نسبی آن ارتباط مستقیم و مثبتی با میزان فتوسنتز دارد. کاهش میزان کلروفیل، تحت تنش خشکی به‌عنوان یک علامت عمومی تنش اکسیداتیو در نظر گرفته می‌شود که برآیند آن اکسیداسیون نوری رنگدانه و تخریب کلروفیل است؛ اما مطالعات دیگری افزایش در محتوای این صفت در اثر تنش‌های محیطی مانند شوری را نشان می‌دهد. احتمال می‌رود تجمع و افزایش محتوای کلروفیل در برگ یک مکانیسم سازگاری در برابر سطوح پایین تنش خشکی باشد (Rustioni & Bianchi, 2021). تیمین دی‌فسفات

الکتریکی ثانویه آن‌ها قرائت شد (EC2). در نهایت با در دست‌داشتن هدایت الکتریکی اولیه و ثانویه، مقدار درصد نشت الکتریک با استفاده از فرمول پیشنهادی (Dionisio-Sese & Tobita, 1998) و به‌صورت زیر محاسبه شد:

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{EL} = [\text{EC1}/\text{EC2}] \times 100$$

در انتهای دوره رشد (۱۴۰ روز بعد از کشت)، پنج بوته از هر پلات برداشت شده و صفات عملکرد زیستی در بوته، عملکرد دانه در بوته، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه و ارتفاع بوته در هر پلات اندازه‌گیری و میانگین آن‌ها برای تک‌بوته محاسبه شد.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ و مقایسه میانگین‌ها با آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد و رسم نمودارها در محیط Excel نسخه ۲۰۱۳ انجام شد.

نتایج و بحث

باتوجه به اینکه بین بلوک‌های آزمایش از لحاظ آماری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، داده‌ها مجدداً به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی تجزیه شده و رسم نمودار و جدول‌ها نیز براین اساس انجام شد.

محتوای آب نسبی برگ پرچم (RWC)

بین تیمارهای آبیاری از لحاظ صفت محتوای آب نسبی برگ تفاوت آماری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد، به‌طوری‌که تیمار تنش خشکی باعث کاهش ۲۱ درصدی محتوای آب نسبی برگ شد (جدول ۲ و ۳). محلول پاشی برگی ویتامین نیز روی این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). محتوای آب نسبی بیشتری در تیمار استفاده از ویتامین نسبت به تیمار عدم محلول پاشی مشاهده شد به‌طوری‌که کمترین مقدار این صفت با ۷۱ درصد در تیمار شاهد و بیشترین مقدار آن در تیمار محلول پاشی ترکیبی

کاهش داده و با مکانیسم تنظیم اسمزی و محافظت از یکپارچگی‌های سلولی، گیاهان را در برابر آسیب‌های ناشی از تنش‌ها مقاوم کند (Szabados & Savoure, 2010).

ساخت (سنتز) و تجزیه (کاتابولیسم) پرولین برای رشد مطلوب گیاه در شرایط تنش خشکی ضروری است (Sharma *et al.*, 2011). علاوه بر موارد یاد شده، پرولین باعث محافظت ترکیبات سلولی از تنش اکسیداتیو می‌شود. Kojic *et al.* (2012) نیز افزایش محتوای پرولین برگ و ریشه ذرت را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. در بررسی منابع به‌صورت مستقیم به نحوه اثرات تیامین و پیریدوکسین روی تجمع پرولین در شرایط تنش خشکی اشاره‌ای نشده است. اما براساس گزارش‌ها، تنش‌های محیطی باعث ایجاد تغییرات در متابولیسم نیتروژن و انتقال مجدد اسیدهای آمینه به سمت بافت‌های مریستمی می‌شوند (Cervilla *et al.*, 2009). بنابراین این احتمال وجود دارد که کاربرد ویتامین‌ها باعث تنظیم متابولیسم نیتروژن و افزایش غلظت پرولین در شرایط تنش خشکی می‌شوند. در مطالعه‌ای که روی گندم انجام شده (El-Shazoly *et al.*, 2019)، پیش‌تیمار بذور با تیامین باعث کاهش محتوای پرولین در شرایط تنش بور شد که این نتیجه با یافته‌های تحقیق حاضر مغایرت دارد. اما در مطالعه انجام‌شده روی ذرت، افزایش محتوای پرولین با کاربرد پیریدوکسین در شرایط تنش خشکی گزارش شده است (Fattahi Neysiani, 2007). همچنین Junifa *et al.* (2020) نیز افزایش محتوای پرولین آزاد در برگ شلغم را با کاربرد تیامین در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. باتوجه‌به موارد مذکور ضروری است جهت روشن‌شدن نقش تیامین و پیریدوکسین در تجمع پرولین، تحقیقات بیشتری انجام شود.

به‌عنوان یک کوآنزیم مهم در بسیاری از مسیرهای متابولیسمی کلیدی از جمله بیوسنتز رنگدانه‌های گیاهی عمل می‌کند (Friedrich, 1987). در تحقیقی که روی ذرت در معرض تنش بور صورت‌گرفته، پیش‌تیمار (پرایمینگ) بذور با تیامین باعث افزایش محتوای کلروفیل در شرایط تنش شد؛ اما تاثیر معنی‌داری روی محتوای کارتنوئید نداشت (El-Shazoly *et al.*, 2019). در تحقیق حاضر نیز باینکه استفاده از ویتامین میزان عدد کلروفیل برگ پرچم را به‌صورت جزئی افزایش داد (جدول ۴)، اما این افزایش از لحاظ آماری معنی‌دار نبود.

مساحت برگ پرچم

اثر آبیاری و محلول‌پاشی ویتامین و همچنین اثر متقابل این دو بر مساحت برگ پرچم (که در اوایل پر شدن دانه اندازه‌گیری شده بود) معنی‌دار نبود (جدول ۵).

پرولین آزاد برگ

تنش خشکی بر محتوای پرولین آزاد برگ در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت. همچنین اثر محلول‌پاشی ویتامین و اثر متقابل آن با آبیاری بر میزان این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس مقایسه میانگین اثرات متقابل، محلول‌پاشی ویتامین در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش محتوای پرولین آزاد در برگ شد به‌طوری‌که بیشترین مقدار این صفت در محلول‌پاشی ترکیبی تیامین و پیریدوکسین مشاهده شد. در شرایط نرمال آبیاری، کاربرد ویتامین تاثیری بر میزان پرولین آزاد برگ نداشت (شکل ۱).

پرولین به‌عنوان یک اسید آمینه، جزء سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی غیر آنزیمی محسوب شده که تجمع آن در گیاهان تحت تنش، از دو طریق القای بین ژن‌های بیوسنتز پرولین و یا با سرکوب آنزیم‌های دخیل در تجزیه آن صورت می‌گیرد (Marco *et al.*, 2015). پرولین می‌تواند اثرات مخرب گونه‌های فعال اکسیژن را

درصد نشت الکترولیتی غشا و محتوای مالون دی آلدئید (MDA)

در صفت نشت الکترولیتی غشا، بین تیمارهای آبیاری از لحاظ آماری تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. تنش خشکی باعث افزایش ۳۲ درصدی مقدار صفت مذکور نسبت به شرایط معمول آبیاری شد. محلول پاشی ویتامین تأثیر معنی داری بر مقدار این صفت نداشت. اثر متقابل معنی داری نیز بین تیمارهای آبیاری و محلول پاشی ویتامین مشاهده نشد (جدول ۲).

اثر آبیاری و همچنین محلول پاشی ویتامین بر محتوای مالون دی آلدئید به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی دار بود، ولی اثر متقابل آبیاری و ویتامین بر میزان این صفت معنی دار نشد (جدول ۲). براساس مقایسات میانگین، خشکی باعث افزایش محتوای MDA در برگ شد و کاربرد ویتامین‌ها میزان این صفت را کاهش دادند. به طوری که بیشترین و کمترین آن به ترتیب در تیمار شاهد و تیمار محلول پاشی تیامین و پیریدوکسین به صورت ترکیبی مشاهده شد (جدول ۳ و ۴). افزایش محتوای MDA در شرایط تنش‌های محیطی به عنوان نشان دهنده پراکسیداسیون لیپیدی یا آسیب به غشاهای پلاسمایی در نظر گرفته می‌شود.

افزایش میزان این صفت نشان دهنده تضعیف سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه در شرایط تنش خشکی است (Das *et al.*, 2015; Nikolaeva *et al.*, 2010). تجمع محتوای مالون دی آلدئید به گونه گیاهی، مدت تنش و همچنین سن گیاه بستگی دارد. در یک مطالعه مقایسه-ای بین گیاهان سه کربنه (C3) و چهار کربنه (C4) در شرایط تنش خشکی مشاهده شد که تجمع MDA در گیاهان سه کربنه بیشتر از چهار کربنه بود که نشان دهنده حساسیت بیشتر این گیاهان به تنش خشکی است (Uzildaya *et al.*, 2012). ویتامین‌ها احتمالا از طریق کاهش تولید گونه‌های فعال اکسیژن و کاهش پراکسیداسیون لیپیدی غشاهای سلولی، باعث کاهش محتوای مالون دی آلدئید می‌شوند (Tunc-Ozdemir *et al.*, 2009; Asensi-Fabado & Munné-Bosch, 2010). Kaya *et al.* (2015) در یک مطالعه گلخانه‌ای روی ذرت، گزارش کردند که با محلول پاشی تیامین در شرایط تنش شوری میزان مالون دی آلدئید برگ کاهش یافت. در مطالعه دیگری گزارش شده که کاربرد تیامین از طریق کاهش تنش اکسیداتیو و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان باعث کاهش محتوای MDA در گیاه شلغم تحت تنش خشکی می‌شود (Junifa *et al.*, 2020).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر محلول پاشی تیامین و پیریدوکسین روی برخی صفات فیزیولوژیکی گندم در شرایط تنش خشکی
Table 2. Analysis of variance of thiamine and pyridoxine foliar application on some physiological traits of wheat grown under well-watered and drought stress conditions

S.O.V	DF	Mean Squares (MS)					
		Relative Water Content	SPAD Number	Flag Leaf Area	Proline	Electrolyte Leakage	Malondialdehyde
Irrigation (I)	1	2094.12**	39.527**	2.48 ^{ns}	2914.66**	982.02**	294.56**
Vitamin (V)	3	172.00**	0.279 ^{ns}	7.96 ^{ns}	29.74*	55.55 ^{ns}	4.65*
I * V	3	50.3 ^{ns}	3.596 ^{ns}	3.94 ^{ns}	32.85*	64.27 ^{ns}	1.83 ^{ns}
Error	16	27.56	1.483	5.25	9.00	87.37	1.38
CV (%)		6.82	2.34	9.18	21.29	20.18	11.43

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی دار و معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively

جدول ۳- مقایسه میانگین اثر آبیاری روی برخی صفات فیزیولوژیکی گندم

Table 3. Mean comparison of irrigation regimes effects on some physiological traits of wheat

Irrigation	Mean				
	Relative Water Content (%)	SPAD Number	Flag Leaf Area (cm ²)	Electrolyte Leakage (%)	Malondialdehyde (nmoles.g ⁻¹ F.W)
Well-watered	86.26±1.47	50.68±0.39	25.27±0.59	39.92±2.31	6.76±0.18
Drought stress	67.58±2.49	53.25±0.34	24.62±0.74	52.71±2.82	13.77±0.53

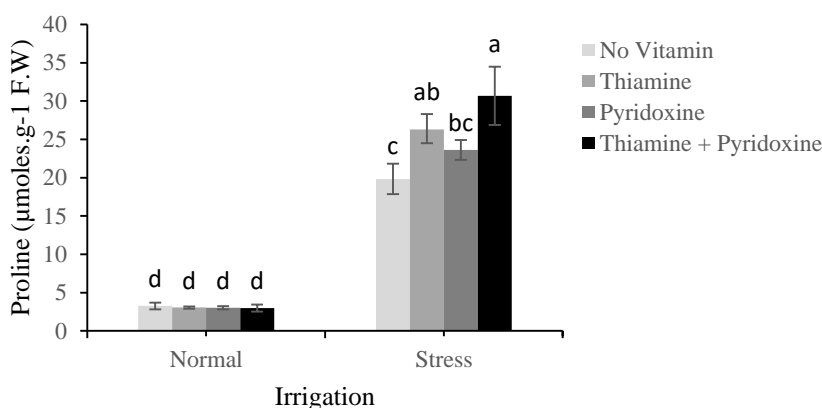
جدول ۴- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی ویتامین روی برخی صفات فیزیولوژیکی گندم

Table 4. Mean comparison of vitamin foliar application effects on some physiological traits of wheat

Vitamin Treatments	Mean				
	Relative Water Content (%)	SPAD Number	Flag Leaf Area (cm ²)	Electrolyte Leakage (%)	Malondialdehyde (nmoles.g ⁻¹ F.W)
No Vitamin	71.38±6.11 ^b	51.78±1.01	25.07±0.71	46.19±3.08	11.3±1.74 ^a
Thiamine (T)	82.61±3.57 ^a	51.78±0.82	25.2±0.89	50.55±3.24	10.26±1.68 ^{ab}
Pyridoxine (P)	73.45±4.81 ^b	52.20±0.56	23.37±0.88	43.43±6.43	10.37±1.79 ^{ab}
T+P	80.25±4.04 ^a	52.10±0.67	26.14±1.08	45.09±4.93	9.15±1.29 ^b

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند باهم اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

Means in the same column followed by a similar letter(s) are not significantly different



شکل ۱- اثر متقابل آبیاری و محلول پاشی ویتامین بر پرولین آزاد برگ گندم

Figure 1. Interaction effects of vitamins foliar application and irrigation regimes on the free proline of wheat leaves

براساس نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس، اثر آبیاری بر عملکرد دانه و همچنین اثر اصلی محلول پاشی ویتامین بر این صفت به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود؛ اما اثر متقابل آبیاری و ویتامین بر عملکرد دانه معنی‌دار نبود (جدول ۵). خشکی باعث کاهش ۴۸ درصدی عملکرد دانه نسبت به تیمار شاهد شد. همچنین بیشترین عملکرد دانه در تیمار محلول-پاشی توأم تیامین و پیریدوکسین به دست آمد. این تیمار باعث افزایش ۱۶ درصدی عملکرد دانه نسبت به

ارتفاع بوته

باتوجه به جدول تجزیه واریانس، بین تیمارهای آبیاری از لحاظ صفت ارتفاع بوته تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد به طوری که تیمار تنش خشکی با ۵۴ سانتی‌متر، کمترین مقدار ارتفاع بوته را داشت. محلول پاشی ویتامین و همچنین اثر متقابل آن با آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مقدار این صفت نداشت (جدول ۵ و ۶).

عملکرد دانه، تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه

داده شده است (Siani & Aspinall, 1981; Emam & Niknejad, 2011).

کاهش عملکرد ارقام گندم به کاهش وزن هزار دانه و کاهش تعداد دانه در واحد سطح نسبت داده می‌شود (Guttieri *et al.*, 2001)، اما چون در این تحقیق وزن هزار دانه تحت تأثیر خشکی نبود، کاهش عملکرد دانه در بوته با کاهش تعداد دانه در سنبله قابل توجیه است. از آنجا که تیمین و پیریدوکسین در سلول‌های گیاهی نقش‌های فیزیولوژیکی متعددی دارند از جمله اینکه تیمین به‌عنوان کوفاکتور در ساختار آنزیم‌های ترانس-کتولاز در مسیر برگشت و بازسازی قند پنج‌کربنه ریبولوزبیس فسفات در چرخه کالوین ایفای نقش می‌کند، بنابراین فرآیند فتوسنتز و توان تولید مواد فتوسنتزی به‌صورت بهینه صورت گرفته و میزان عملکرد افزایش می‌یابد (Esfandiari *et al.*, 2016). پیریدوکسین احتمالاً از طریق افزایش توسعه ریشه، افزایش جذب مواد غذایی و فتوسنتز خالص باعث افزایش عملکرد دانه می‌شود. همچنین به نظر می‌رسد پیریدوکسین نقش اساسی در تقسیمات سلولی دارد (Boghdady, 2013). Khan *et al.* (2001) افزایش عملکرد دانه خردل و گندم را در نتیجه کاربرد پیریدوکسین گزارش کردند. همچنین در آزمایشی روی جلبک کلرلا گزارش شده که کاربرد تیمین، پیریدوکسین و آسکوربیک اسید باعث تحریک رشد جلبک می‌شود (Desouky, 1995). در گزارش دیگر بیان شده که استفاده از پیریدوکسین با غلظت ۱۰۰ پی‌پی‌ام باعث افزایش سرعت فتوسنتز خالص می‌شود (Hamad & Khulaef, 2000). تیمین اثراتی شبیه هورمون سایتوکینین داشته و باعث تحریک تقسیم سلولی و رشد می‌شود (Rao & Mallikarjuna, 1978). در مطالعه اثر ویتامین C و تیمین روی ذرت نیز گزارش شد که محلول پاشی این ویتامین‌ها باعث بهبود فتوسنتز

تیمار شاهد (بدون محلول پاشی ویتامین) شد (جدول ۶ و ۷).

بین تیمارهای آبیاری از لحاظ صفت تعداد دانه در سنبله تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد. اثر محلول پاشی ویتامین نیز بر این صفت در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل آبیاری و ویتامین بر تعداد دانه در سنبله معنی‌دار نبود (جدول ۵). تنش خشکی باعث افت ۴۹ درصدی تعداد دانه در سنبله شد (جدول ۶). طبق نتایج مقایسه میانگین، محلول پاشی ترکیبی تیمین و پیریدوکسین با میانگین تعداد ۲۰ دانه در سنبله، بیشترین مقدار این صفت را به همراه داشت. کاربرد ترکیبی این دو ویتامین باعث افزایش ۱۴ درصدی تعداد دانه در سنبله نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول پاشی ویتامین) شد (جدول ۷). مقدار وزن هزار دانه تحت تأثیر آبیاری و محلول پاشی ویتامین قرار نگرفت. اثر متقابل آبیاری و ویتامین نیز بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۵). عدم کاهش وزن هزار دانه در شرایط تنش خشکی احتمالاً به این دلیل است که در شرایط تنش خشکی مواد فتوسنتزی ذخیره‌شده در ساقه‌ها به‌عنوان منبعی برای تکمیل ظرفیت پر شدن دانه‌ها مطرح بوده و بنابراین وزن دانه‌ها کاهش نمی‌یابد (Alimohamadi *et al.*, 2007). از طرف دیگر چون در این تحقیق تعداد دانه تحت تأثیر تنش خشکی کاهش یافته بود، احتمالاً بین دانه‌ها برای دریافت مواد فتوسنتزی رقابت شدیدی شکل نگرفته و از این رو وزن آن‌ها با کاهش مواجه نشد. کاهش تعداد دانه در اثر تنش خشکی به دلیل کاهش تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه صورت می‌گیرد. برخی پژوهشگران معتقدند که این مسئله ممکن است از عدم باروری دانه‌های گرده ناشی شود. ناباروری دانه‌های گرده نیز به افزایش آبسبزیک اسید (ABA) نسبت

فتوسنتزی توسط برگ‌ها با محدودیت مواجه می‌کند (Jacobs & Pearson, 1991).
 Dehgan *et al.* (2017) نیز کاهش زیست‌توده گندم رقم سیروان را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند. عملکرد زیستی برآیند تبدیل دی‌اکسیدکربن به ماده خشک است، بنابراین هرچه مقدار عملکرد زیست‌توده بیشتر باشد نشان‌دهنده انجام بهینه فرآیندهای متابولیسمی است. استفاده از ویتامین‌ها از طریق کاهش آسیب به غشاها، افزایش جذب پتاسیم، افزایش محتوای آب نسبی برگ و بهبود رنگدانه‌های فتوسنتزی باعث بهبود تولید عملکرد زیست‌توده در گیاه آفتابگردان شد (Sayed & Gadallah, 2002). افزایش در میزان ماده خشک در اثر کاربرد ویتامین‌ها، به‌واسطه حضور تیامین و پیریدوکسین در مسیر چرخه کالوین و سایر مسیرهای متابولیسمی کربن قابل توجیه است. گزارش شده است که پیش‌تیمار بذور گیاه ماریتیغال با پیریدوکسین باعث افزایش وزن خشک بوته در شرایط تنش خشکی نسبت به تیمار شاهد شد (Zavarian *et al.*, 2013). همچنین کاربرد تیامین باعث افزایش ماده خشک تولیدی در نخودفرنگی می‌شود (Proebsting *et al.*, 1999).

کانوپی و افزایش تجمع مواد فتوسنتزی در گیاه می‌شود (Sahu *et al.*, 1993). (Sahu *et al.*, 1993) نیز افزایش عملکرد دانه ذرت را با تیمار محلول‌پاشی ۱۰۰ پی‌پی‌ام تیامین گزارش کردند. افزایش عملکرد و رشد ریشه گیاه خردل در نتیجه کاربرد ویتامین‌های گروه B توسط لون و همکاران (Lone *et al.*, 1999) نیز گزارش شده است.

عملکرد زیستی

اثر آبیاری و محلول‌پاشی ویتامین بر عملکرد زیست‌توده به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو از لحاظ آماری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد زیست‌توده نداشت (جدول ۵). مقدار این صفت در شرایط تنش نسبت به آبیاری معمول با کاهش ۲۷ درصدی مواجه شد. محلول‌پاشی ویتامین‌ها باعث افزایش عملکرد زیستی نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی ویتامین) شدند. بیشترین مقدار عملکرد زیستی در تیمارهای محلول‌پاشی پیریدوکسین و ترکیب آن با تیامین حاصل شد (جدول ۶ و ۷). کاهش عملکرد زیست‌توده در شرایط تنش خشکی احتمالاً به علت کاهش پایداری و دوام کمتر سطح برگ است که این امر عملکرد زیست‌توده را از طریق کاهش تولید مواد

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر محلول‌پاشی تیامین و پیریدوکسین بر ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد گندم در شرایط نرمال آبیاری و تنش خشکی.

Table 5. Analysis of variance of the effect of thiamine and pyridoxine foliar application on plant height, yield, and yield components of wheat grown under well-watered and drought stress conditions.

S.O.V	DF	Mean Squares (MS)				
		Plant Height	Grain Yield	Number of Grain per Spike	Thousand Kernel Weight	Biological Yield
Irrigation (I)	1	813.170**	3.0012**	12.743**	3.698 ^{ns}	3.9878**
Vitamin (V)	3	4.717 ^{ns}	0.0398*	0.151*	0.069 ^{ns}	0.2392*
I * V	3	2.021 ^{ns}	0.0115 ^{ns}	3.615 ^{ns}	3.076 ^{ns}	0.1269 ^{ns}
Error	16	3.474	0.1554	0.042	2.250	0.0547
CV (%)		3.10	8.96	4.84	2.57	9.00

ns, * و **: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد.

ns, * and **: non-significant and significant at 5% and 1% of probability levels, respectively.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر آبیاری بر ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد گندم.

Table 6. Mean comparison of irrigation regimes effects on plant height, yield, and yield components of wheat.

Irrigation	Means				
	Plant Height (cm)	Grain Yield (g.plant ⁻¹)	Number of Grain per Spike	Thousand Kernel Weight (g)	Biological Yield (g.plant ⁻¹)
Well-watered	66.01±0.59	1.45±0.034	24.91±0.59	58.73±0.32	3.00±0.10
Drought stress	54.37±0.47	0.75±0.034	12.52±0.56	57.94±0.48	2.18±0.06

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر محلول پاشی ویتامین بر ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد گندم.

Table 7. Mean comparison of vitamin foliar application effects on plant height, yield, and yield components of wheat.

Vitamin Treatments	Means				
	Plant Height (cm)	Grain Yield (g.plant ⁻¹)	Number of Grain per Spike	Thousand Kernel Weight (g)	Biological Yield (g.plant ⁻¹)
No Vitamin	59.10±2.30	1.04±0.13 ^b	17.89±2.40 ^b	58.22±0.54	2.34±0.13 ^b
Thiamine (T)	61.18±2.69	1.04±0.18 ^b	17.63±3.16 ^b	58.41±0.71	2.52±0.24 ^{ab}
Pyridoxine (P)	60.53±2.96	1.10±0.17 ^{ab}	18.81±2.97 ^{ab}	58.44±0.42	2.79±0.23 ^a
T + P	59.93±2.80	1.21±0.16 ^a	20.53±2.81 ^a	58.27±0.80	2.71±0.21 ^a

میانگین‌هایی که در هر ستون دارای حروف مشترک هستند باهم اختلاف معنی‌دار آماری ندارند.

Means in the same column followed by a similar letter(s) are not significantly different.

نتیجه‌گیری کلی

تنش خشکی با کاهش مواجه شد. کاربرد تیماین و پیریدوکسین تاثیر مثبت روی برخی صفات فیزیولوژیکی یادشده و عملکرد گندم داشتند. بیشترین مقدار عملکرد دانه در بوته در تیمارهای پیریدوکسین (۱/۱ گرم) و ترکیب آن با تیماین (۱/۲ گرم) مشاهده شد. به‌طور کلی استفاده از تیماین و پیریدوکسین به صورت ترکیبی نتایج بهتری نسبت به کاربرد تکی این ویتامین‌ها داشت. برای روشن شدن اثرات این ویتامین‌ها روی رشد و فیزیولوژی گندم در شرایط تنش خشکی، ضروری است که تحقیقات بیشتری با تکیه بر ارزیابی صفات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در شرایط مختلف محیطی انجام پذیرد.

یکی از راهکارهای افزایش مقاومت گیاهان به تنش خشکی، کاربرد برخی مواد شیمیایی با قابلیت تنظیم-کنندگی رشد است. باتوجه به نقش‌های فیزیولوژیکی تیماین و پیریدوکسین، چنین به نظر می‌رسد که این ویتامین‌ها می‌توانند اثرات مخرب تنش خشکی روی گندم را تعدیل کنند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مشخص شد که تنش خشکی اعمال شده در مرحله ساقه‌روی گندم باعث کاهش محتوای آب نسبی برگ و افزایش محتوای پرولین آزاد برگ، درصد نشت الکترولیتی غشا و محتوای مالون‌دی‌آلدهید می‌شود. همچنین عملکرد دانه و عملکرد زیستی بوته تحت تاثیر

REFERENCES

1. Alghabari, F., Ihsan, M. Z., Hussain, S., Aishia, G., & Daur, I. (2015). Effect of Rht alleles on wheat grain yield and quality under high temperature and drought stress during booting and anthesis. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(20), 15506-15515.
2. Alimohamadi, M., Rezaei, A., & Meibodi, A. M. (2007). Evaluation of physiological traits and yield of ten cultivars of bread wheat in two irrigation regimes. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12, 107-120.

3. Asensi-Fabado, M. A., & Munné-Bosch, S. (2010). Vitamins in plants: Occurrence, biosynthesis and antioxidant function. *Trends in Plant Science*, 15(10), 582-592.
4. Boghdady, M. S. (2013). Efficiency of pyridoxine on the growth, yield, seed quality and anatomy of Egyptian lupine (*Lupinus termis* Forssk.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(1), 448-456.
5. Cervilla, L. M., Rosales, M. A., Rubio-Wilhelmi, M. M., Sánchez-Rodríguez, E., Blasco, B., Ríos, J. J., Romero, L., & Ruiz, J. M. (2009). Involvement of lignification and membrane permeability in the tomato root response to boron toxicity. *Plant Science*, 176(4), 545-552.
6. Das, T., Meena, M., Mandavia, M. K., & Sapre, S. S. (2015). Influence of NaCl salt stress on physiological, biochemical changes and isoenzyme pattern in wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Research in Environment and Life Sciences*, 8(4) 825-828.
7. Dehgan, M., Balochi, H., Yadavi, A.R., & Safikhani, F.A. (2017). Effect of foliar application of brassinolide on grain yield and yield components of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cv. Sirvan under terminal drought stress conditions. *Iranian Journal of Crop Science*, 19(1), 40-56. (In Persian)
8. Desouky, S.A. (1995). *Effect of some organic additives on salinized Chlorella vulgaris*. Ph.D. Thesis, Assiut University, Egypt.
9. Dionisio-Sese, M. L., & Tobita, S. (1998). Antioxidant responses of rice seedlings to salinity stress. *Plant Science*, 135(1), 1-9.
10. El-Shazoly, R. M., Metwally, A. A., & Hamada, A. M. (2019). Salicylic acid or thiamin increases tolerance to boron toxicity stress in wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 42(7), 702-722.
11. Emam, Y. and Niknejad, M. (2011). *An introduction the physiology of crop yield*. Shiraz University Press. 571p. (In Persian)
12. Esfandiari, E., & Mahboob, S. (2013). *Plant biochemistry*. Amidi press. Tabriz. 243p. (In Persian)
13. Esfandiari, E., Shahabivand, S., & Javadi, A. (2016). *Physiology of environmental stresses in plants (abiotic stress)*. Maragheh University Press. 204p. (In Persian)
14. Fattahi Neysiani, F. (2007). *Effect of foliar application of pyridoxine (vitamin B6) on various physiological traits of maize under water stress*. M.Sc Thesis. Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Iran. (In Persian)
15. Friedrich, W. 1987. Thiamin (vitamin B1, aneurin). In: *Handbuch der vitamine*, (pp.240–258). Urban and schwartzenberg.
16. Ghaffar, A., Akram, N. A., Ashraf, M., Aharaf, Y., & Sadiq, M. (2019). Thiamin-induced variations in oxidative defense processes in white clover (*Trifolium repens* L.) under water deficit stress. *Turkish Journal of Botany*, 43(1), 58-66.
17. Goyer, A. (2010). Thiamine in plants: Aspects of its metabolism and functions. *Phytochemistry*, 71(14–15), 1615-1624.
18. Guttieri, M. J., Stark, J. C., O'Brien, K., & Souza, E. (2001). Relative sensitivity of spring wheat grain yield and quality parameters to moisture deficit. *Crop Science*, 41(2), 327-335.
19. Hamada, A. M., & Khulaef, E. M. (2000). Stimulative effects of ascorbic acid, thiamin or pyridoxine on *Vicia faba* growth and some related matabolic activities. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 3(8), 1330-1332.
20. Hammad, S. A. R., & Ali, O. A. M. (2014). Physiological and biochemical studies on drought tolerance of wheat plants by application of amino acids and yeast extract. *Annals of Agricultural Sciences*, 59(1), 133–145.
21. Heath, R. L., & Packer, L. (1968). Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 125(1), 189-198.
22. Huang, S., Zhang, J., Wang, L., & Huang, L. (2013). Effect of abiotic stress on the abundance of different vitamin B6 vitamers in tobacco plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 66, 63-67.
23. Jacobs, B. C., & Pearson, C. J. (1991). Potential yield of maize, determined by rates of growth and development of ears. *Field Crops Research*, 27(3), 281-298.
24. Jamshidi, A., Ahmadi, A., Karimi, M., Motesharezadeh, B. (2020). Evaluation of some growth and physiological responses of Chia (*Salvia hispanica* L.) to various moisture regimes. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 50(4), 99-110. (In Persian)
25. Kaya, C., Ashraf, M., Sonmez, O., Tuna, A.L., Polat, T., & Aydemir, S. (2015). Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. *Acta Physiol Plant*, 37, 1741-1752.
26. Khan, M., & Khan, N. A. (2001). Response of mustard and wheat to pre-sowing seed treatment with pyridoxine and basal level of calcium. *Indian Journal of Plant Physiology*, 6(3), 300- 305.

27. Kojić, D., Pajević, S., Jovanović-Galović, A., Purać, J., Pamer, E., Škondrić, S., Milovaca, S., Popović, Ž., & Grubor-Lajšić, G. (2012). Efficacy of natural aluminosilicates in moderating drought effects on the morphological and physiological parameters of maize plants (*Zea mays* L.). *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12, 113-123.
28. Leflon, M., Lecomte, C., Barbottin, A., Jeuffroy, M. H., Robert, N., & Brancourt-Hulmel, M. (2005). Characterization of environments and genotypes for analyzing genotype environment interaction: Some recent advances in winter wheat and prospects for GTL detection. *Journal of Crop Improvement*, 14(1-2), 249-298.
29. Lone, N. A., Khan, N. A., Hayat, S., & Azam, Z. M. (1999). Evaluation of effects of some B-vitamins on root development of mustard. *Annals of Applied Biology*, 134, 30-37.
30. Marco, F., Bitrián, M., Carrasco, P., Rajam, M. V., Alcázar, R., & Tiburcio, A. F. (2015). Genetic engineering strategies for abiotic stress tolerance in plants. In *Plant biology and biotechnology* (pp. 579-609). Springer Science.
31. Modares Sanavi, S.A., Panahi, M., Khatamian, A.S., & Ghanati, F. (2014). *Laboratory methods and modern techniques in crop sciences*. Zanjan University Jihad Publications. 196p. (In Persian)
32. Mooney, S., Leuendorf, J. E., Hendrickson, C., & Hellmann, H. (2009). Vitamin B6: A long known compound of surprising complexity. *Molecules*, 14(1), 329-351
33. Nikolaeva, M. K., Maevskaya, S. N., Shugaev, A. G., & Bukhov, N. G. (2010). Effect of drought on chlorophyll content and antioxidant enzyme activities in leaves of three wheat cultivars varying in productivity. *Russian Journal of Plant Physiology*, 57(1), 87-95.
34. Osborne, S. L., Schepers, V., Francis, D. D., & Schlemmer, M.R. (2002). Use of spectral radiance to estimate in-season biomass and grain yield in nitrogen and water-stressed crop. *Crop Science*, 42, 165-171.
35. Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations on a method of dosing free proline in plant extracts. *Canadian Journal of Botany*, 57(18), 1851-1854.
36. Proebsting, W. M., Maggard, S. P., & Guo, W. W. (1990). The relationship of thiamine to the Alt locus of *Pisum sativum* L. *Journal of Plant Physiology*, 136(2), 231-235.
37. Rao, P. G., & Mallikarjuna, K. (1978). Cytokinin-like behaviour of some b vitamins in bougainvillea spectabilis willd., and green gram (*phaseolus radiatus* L.). *Current Science*, 47(18), 686-688.
38. Rharrabtia, Y., Royo, C., Villegas, D., Aparicio, N., & García Del Moral, L.F. (2003). Durum wheat quality in Mediterranean environments I. Quality expression under different zones, latitudes and water regimes across Spain. *Field Crops Research*, 80, 123-131.
39. Rustioni, L., & Bianchi, D. (2021). Drought increases chlorophyll content in stems of *Vitis* interspecific hybrids. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 33(1), 69-78.
40. Sahu, M. P., Solanki, N. S., & Dashora, L. N. (1993). Effects of thiourea, thiamine and ascorbic acid on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 171(1), 65-69.
41. Sayed, S. A., & Gadallah, M. A. A. (2002). Effects of shoot and root application of thiamin on salt-stressed sunflower plants. *Plant Growth Regulation*, 36(1), 71-80.
42. Sharma, S., Villamor, J. G., & Verslues, P. E. (2011). Essential role of tissue-specific proline synthesis and catabolism in growth and redox balance at low water potential. *Plant physiology*, 157(1), 292-304.
43. Siani, H. S., & Aspinall, D. (1981). Effects of water deficit on sporogenesis in wheat. *Annals of Botany*, 43, 623-633.
44. Szabados, L., & Saviouré, A. (2010). Proline: A multifunctional amino acid. *Trends in Plant Science*, 15(2), 89-97.
45. Tunc-Ozdemir, M., Miller, G., Song, L., Kim, J., Sodek, A., Koussevitzky, S., Narayan Misra, A., Mittler Ron., & Shiantani, D. (2009). Thiamin confers enhanced tolerance to oxidative stress in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 151(1), 421-432.
46. Uzilday, B., Turkan, I., Sekmen, A. H., Ozgur, R. E. N. G., & Karakaya, H. C. (2012). Comparison of ROS formation and antioxidant enzymes in *Cleome gynandra* (C4) and *Cleome spinosa* (C3) under drought stress. *Plant Science*, 182, 59-70.
47. Walton, J. K., & Seddon, D. (1994). *Free markets and food riots: The politics of global adjustment*. John Wiley & Sons. 396p.
48. Wang, J. Y., Turner, N. C., Liu, Y. X., Siddique, K. H. M., & Xiong, Y. C. (2017). Effects of drought stress on morphological, physiological and biochemical characteristics of wheat species differing in ploidy level. *Functional Plant Biology*, 44(2), 219-234.
49. Zavarian, A., Yousefirad, M., & Asghari, M. (2013). Effect of seed preparation by pyridoxine on germination indices of Milk thistle (*Silybum marianum* L.) under drought stress. In: *The first national*

- conference on agricultural sciences with emphasis on abiotic stresses*, 18-19 Sep., Payam Noor University, Naqadeh, Iran, pp. 27-32. (In Persian)
50. Zhu, J. K., (2002). Salt and drought stress signal transduction on plants. *Annual Review of Plant Biology*, 53(1), 247–273.