تاثیر محلولپاشی پرولین بر برخی شاخص‌های فیزیولوژیک گیاه چغندرقند (*Beta vulgaris* L.) در شرایط کمبود آب

حمیده غفاری[۱]، محمودرضا تدین[۱*] و جمشید رزمجو[۲]

[۱]گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، [۲]گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۱۲/۱٤، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۱۱/۲٦)

چکیده

به منظور ارزیابی پاسخ‌های رشد گیاه چغندر قند به محلولپاشی پرولین و کم آبیاری در مراحل مختلف رشد، آزمایشی به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹٤ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهرکرد به اجرا در آمد. عامل اصلی: تیمار آبیاری در ۳ سطح (۱۰۰٪ (شاهد) ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری) و عامل فرعی ۳ سطح محلولپاشی پرولین (محلولپاشی با آب (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی مولار) بود. نتایج نشان داد تنش خشکی باعث کاهش شاخص پایداری غشا و میزان سبزینگی برگ شد و تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین، باعث افزایش تحمل گیاه و افزایش این دو صفت تحت تیمار کم آبیاری شد. تنش خشکی سبب کاهش شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، سرعت جذب خالص و وزن خشک اندام هوایی و ریشه چغندرقند در مقایسه با تیمار شاهد گردید. سرعت و زمان کاهش صفات در سطوح کم آبی بیشتر از تیمار شاهد بود و در تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین، سرعت و زمان کاهش مقادیر صفات کمتر بود. همچنین بین شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و وزن خشک اندام‌هوایی با وزن خشک ریشه بین تیمارهای مورد بررسی همبستگی بالایی وجود داشت. بنابراین، کاربرد پرولین به عنوان املاح سازگار در تنظیم اسمزی گیاه چغندرقند و نقش حفاظتی از طریق واکنش‌های فیزیولوژیکی تحت تنش خشکی موثر می‌باشد.

کلمات کلیدی: محلولپاشی برگی، سبزینگی برگ، شاخص پایداری غشا، شاخص‌های رشد.

مقدمه

تنش‌های محیطی، از عوامل مهم کاهش عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان هستند. خشکی در بین تنش‌های محیطی به عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان زراعی در اکثر نقاط جهان شناخته شده است. اگرچه شدت و تاثیر تنش خشکی بر حسب مقدار، زمان و توزیع بارندگی، ویژگی خاک و مدیریت مزرعه متغیر است اما گرم شدن کره زمین باعث افزایش شدت خشکی در بسیاری از مناطق شده است (Hojati *et al.*, 2011). تولید چغندرقند به عنوان گیاهی صنعتی در شرایط آب و هوای خشک و نیمه خشک اهمیت زیادی دارد و تولید آن تحت تاثیر محدودیت تامین آبیاری قرار می گیرید (Mohammadian *et al.*, 2001). چغندرقند از مراحل اولیه رشد و از مرحله چهار برگی به تنش آبی حساس است (FAO, 1977) اما اگر تنش خشکی در مراحل بعدی رشد اتفاق افتد گیاه قادر است از طریق فعالیت‌های فیزیولوژیک و سازگاری آن را تا حدی تحمل نماید (Shao *et al.*, 2008). تنظیم اسمزی، فرآیندی است که طی آن، پتانسیل آب سلول کاهش می یابد و با افزایش املاح

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: mrtadayon@yahoo.com

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

محلول در سلول ها آماس سلولی اتفاق می افتد (Shao *et al.*, 2008). گیاهان در شرایط کمبود آب، از طریق تجمع ترکیبات اسمزی از جمله پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ-های خود قادر به تنظیم اسمزی هستند (Moradshahi *et al.*, 2004). تنظیم اسمزی در افزایش تحمل گیاهان، به شرایط خشکی یکسان نیست و ویژگی‌های گیاه و به شرایط رشدی و محیطی بستگی دارد (Kocheva and Georgive, 2003). در برخی پژوهش‌ها ارتباط مثبتی بین تجمع پرولین و مقاومت به تنش کمبود آب گزارش شده است (Nakano and Asad, 1981)، با اینکه گزارش شده است چغندرقند، تا حدی متحمل به کمبود آب است اما جهت دستیابی به عملکرد بالا به کارگیری راهکارهائی که بتواند اثر تنش خشکی را کاهش دهد بسیار مورد توجه پژوهشگران بوده است (Hsiao, 2000). تنش زود هنگام خشکی سامانه ریشه چغندر قند را تحت تاثیر قرار می‌دهد همچنین، توسعه سایه انداز گیاهی آهسته شده و دریافت تابش کاهش می‌یابد که نتیجه آن، ریزش زود هنگام برگ‌ها وکاهش عملکرد و ماده خشک و کاهش درصد قند است (میرزایی و رضوانی، ۱۳۸٦).

اسیدهای آمینه به عنوان محرک زیستی اثرات مثبت بر رشد و عملکرد گیاهان دارند و به طور قابل توجهی باعث کاهش صدمات ناشی از تنش‌های غیر زنده می‌شوند (Kowalczyk and Zielony, 2008). پرولین محلولی سازگار است که باعث تنظیم فشار اسمزی و حفاظت پروتئین‌ها در طول مدت کمبود آب می‌شود (Rontein *et al.*, 2002). کاربرد خارجی پرولین باعث حفظ پتانسیل اسمزی در سلول گیاه می‌گردد (Ali *et al.*, 2007) و به عنوان عامل آنتی اکسیدانی از طریق افزایش توانایی گیاه به تنش مورد بررسی قرار گرفته است (Okuma *et al.*, 2004). مطالعات انجام شده توسط Gadallah (۱۹۹۵) نشان داده است پرولین به تنهایی یا در ترکیب با آبسیزیک اسید، محتوای کلروفیل را به طور قابل توجهی افزایش داد. همچنین شاخص ثبات کلروفیل، محتوای نسبی آب برگ و تجمع ماده خشک به ویژه در پتانسیل‌های کم آب را در گیاه پنبه افزایش داده است. بنابراین، می‌توان از پرولین به عنوان راه حلی برای مقابله با اثرات تنش خشکی متوسط و بالا استفاده کرد. همچنین Hua-long و همکاران (۲۰۱٤) نشان دادند کاربرد خارجی پرولین منجر به جذب بیشتر آب توسط ریشه‌ها می‌شود. خیساندن بذور در محلول پرولین اثرات تنش بر جوانه زنی برنج را کاهش داده است که احتمالا به دلیل حفظ ذخیره آب کافی تحت شرایط تنش بوده است. یکی از راهکارهای مهم در به نژادی، برای افزایش مقاومت به خشکی آن است که غشای سلولی پس از مواجه شدن با تنش آبی انسجام خود را حفظ کند و متلاشی نشود (Bewley, 1979). به همین لحاظ، پایداری غشا به عنوان شاخصی جهت اندازه‌گیری میزان خسارت به غشا در اثر پراکسیداسیون چربی‌ها توسط گونه های فعال اکسیژن و در نهایت تحمل به تنش مطرح شده است (Singh *et al.*, 1992). تجزیه و تحلیل رشد، روشی است برای توجیه روند رشد گیاه، نسبت به شرایط محیطی مختلف که گیاه در طول دوره حیات خود با آن مواجه می‌شود و به کمک این روش، شناخت بهتری از چگونگی انتقال مواد فتوسنتزی ساخته شده در طول فصل رشد گیاه به دست می‌آید (قاسمی گلوزانی و همکاران، ۱۳۷٦). روش‌هایی که برای تعیین اجزای رشد محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند تحت عنوان شاخص‌های رشد معرفی می‌شوند (Koller *et al.*, 1980). آنالیز رشد، روش بسیار مهمی در تجزیه و تحلیل کمی رشد و نمو گیاه و همچنین تولید محصول است. تاکنون مطالعات اندکی در مورد تاثیر محلولپاشی پرولین تحت شرایط کم آبیاری بر روی چغندر قند انجام گرفته است هدف از این مطالعه، بررسی اثر محلولپاشی سطوح مختلف پرولین بر شاخص‌های رشد چغندر قند تحت رژیم‌های کم آبیاری بوده است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارزیابی شاخص‌های رشد چغندرقند تحت تیمارهای کم آبیاری و کاربرد پرولین، این آزمایش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک

عمق خاک (cm)	pH	EC (dS/m)	OC (%)	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل جذب (mg/kg)	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت
۰-۳۰	۷/۸	۰/۳۸	۱/۱۳	۰/۱۱	۱۷/٦	٤۷۰	۲۸	۳٤	۳۸	لومی رسی

(با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی) انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل تیمار آبیاری در ۳ سطح (۱۰۰ ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبیاری گیاه) و محلولپاشی پرولین در ۳ سطح (محلولپاشی با آب مقطر (شاهد)، ۵ و ۱۰ میلی مولار) بود. نیاز کودی مزرعه بر حسب نتایج آزمون خاک (جدول ۱) صورت گرفت و عملیات مبارزه با علف‌های هرز و سله‌شکنی با دست انجام شد. آبیاری کرت‌های آزمایش تا قبل از کاربرد تیمار کم آبیاری برحسب شرایط آب و هوایی و تخلیه رطوبتی خاک، و براساس تخلیه آب سهل الوصول که میزان آن برابر ۵۵ درصدآب قابل دسترس بود انجام شد. نیاز آبی گیاه بر پایه اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک با دستگاه رطوبت سنج تتاپروب مدل SM300 و مطابق روش فرشی و همکاران (۱۳۸۲) برآورد شد. با استفاده از این دستگاه میزان رطوبت خاک تعقیب شده و زمان رسیدن به حد رطوبت تخلیه مجاز (Managment Available Defficit) مشخص گردید. تیمارهای ۷۵ و ۵۰ درصد به ترتیب به میزان ۷۵ و ۵۰ درصد آب مصرفی تیمار شاهد آب دریافت کردند. مقدار رطوبت MAD، طبق رابطه ۱ محاسبه شد.

رابطه ۱: $\Theta_{MAD} = \Theta_{FC} - (\Theta_{FC} - \Theta_{PWP}).\ MAD$

دراین رابطه : Θ_{FC} = رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی مزرعه (٪)، Θ_{PWP} = رطوبت حجمی درنقطه پژمردگی دائم(٪)، MAD = ضریب تخلیه مجاز

زمانی که رطوبت خاک به حد پایینی رطوبت سهل‌الوصول (θ_{MAD}) رسید، عمق آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک مطابق با رابطه ۲ اعمال شد.

رابطه۲: $d= (\Theta_{FC} - \Theta_{soil}).\ D$

رابطه ۳: $V= d \times A \times 1000$

دراین رابطه: d = عمق آب مورد نیاز(m)، D : عمق موثر ریشه گیاه (m)، Θ_{soil} رطوبت خاک پیش از آبیاری (m/m)، A سطح کرت (m^2)، V حجم آبیاری (L).

محلولپاشی پرولین با حفظ غلظت مورد نظر برای هر تیمار، بر روی اندام هوایی چغندر قند سه بار طی فصل رشد و در مراحل ۸-٦ برگی، ۱٦-۱۲ برگی و ۲٤-۲۰برگی و تیمار شاهد با آب انجام شد. اعمال کم آبیاری، از سه هفته پس از محلولپاشی اول و در مرحله ۲۰-۱٦ برگی صورت گرفت. به منظور بررسی چگونگی اثر تیمارها بر رشد گیاه و تعیین شاخص‌های رشد، در فواصل زمانی دو هفته یک بار نمونه-برداری از بوته‌های چغندرقند انجام شد. مساحت برگ بوته‌ها توسط عکس برداری و اسکن و محاسبه با نرم افزار Image processing اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه بافت‌های گیاهی به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفتند، با استفاده از اندازه‌گیری‌های فوق و رابطه‌های زیر، شاخص‌های سرعت رشد محصول (Crop Growth Rate) رابطه ٤، شاخص سطح برگ (Leaf Area Index) رابطه ۵ و سرعت آسمیلاسیون خالص (Net Assimilation Rate) رابطه ٦ محاسبه شد(امام و نیک نژاد، ۱۳۹۰).

رابطه ٤: $CGR =(W_2-W_1)/(T_2 -T_1)GA$

رابطه ۵: $LAI=LA/GA$

رابطه ٦: $NAR=CGR/LAI$

GA سطح زمین اشغال شده توسط گیاه، W وزن خشک گیاه و T زمان نمونه برداری

یک ماه قبل از برداشت ریشه‌ها، شاخص پایداری غشا (Membrane Stability Index) سلولی با اندازه‌گیری نشت الکترولیت (به عنوان معیاری از آسیب به سلول) طبق روش

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

Valentovic (۲۰۰۶) انجام گردید که در روز قبل از مرحله آبیاری، از هر کرت ۲۰۰ میلی‌گرم از جوان‌ترین برگ های توسعه یافته برداشت شد و به منظور شست‌وشوی الکترولیت-های سطحی، برگ‌ها سه بار، با آب دوبار تقطیر شده شسته شدند. سپس نمونه‌ها درون ویال‌های حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر قرار گرفتند، و به مدت ٦ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی (L_t) توسط دستگاه هدایت سنج (EC متر) (مدل Cyberscan Singapore) اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد نمونه‌ها در اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱۵ بار به مدت ۲۰ دقیقه قرار گرفتند تا غشا سلولی از بین رود و پس از سرد شدن، هدایت الکتریکی (L_0) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت MSI از رابطه ۷ به دست آمد:

رابطه ۷: $$MSI\% = (1 - \frac{L_t}{L_0}) \times 100$$

میزان سبزینگی برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل متر Hansatech (مدل CL-01) محاسبه شد. داده‌های حاصل از صفات اندازه‌گیری شده با نرم‌افزار آماری SAS و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد ارزیابی شد و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Sigmaplot و همبستگی بین صفات با نرم‌افزار SPSS انجام شدند.

نتایج و بحث

شاخص پایداری غشا و میزان سبزینگی برگ: اثر تیمارهای کم آبیاری و پرولین، بر شاخص پایداری غشا و میزان سبزینگی برگ (عدد کلروفیل متر) معنی‌دار شد (جدول ۲). شاخص پایداری غشا در تیمار کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل (شاهد) به ترتیب ۲۰ و ۳۰ درصد کاهش یافت و شاخص پایداری غشا در تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار افزایش ۸ درصدی نسبت به شاهد (محلولپاشی با آب) داشت (جدول ۳). میزان سبزینگی برگ در تیمارهای آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل (شاهد) به ترتیب ۱۸ و ۲٦ درصد کاهش داشت و میزان سبزینگی برگ در تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین، افزایش ۱۳ درصدی نسبت به تیمار شاهد (محلولپاشی با آب) را نشان داد (جدول ۳). اثر متقابل تیمار آبیاری و تیمار پرولین بر شاخص پایداری غشا و میزان سبزینگی برگ معنی‌دار شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین شاخص پایداری غشا به ترتیب مربوط به تیمار آبیاری کامل و تیمار آبیاری ۵۰ درصد و هر دو در سطح محلولپاشی با آب (شاهد) به دست آمد. نتایج نشان داد که با افزایش مقادیر پرولین، مقاومت گیاه به کم آبیاری افزایش یافته است (جدول ٤). بیشترین میزان سبزینگی برگ مربوط به تیمار آبیاری کامل و محلولپاشی ۱۰ میلی مولار پرولین و کمترین آن مربوط به تیمار ۵۰ درصد آبیاری و شاهد (محلولپاشی با آب) بود (جدول ٤). پژوهشگران گزارش کردند که مواد اسمزی به احتمال زیاد از طریق تشکیل باندهای هیدروژن‌دار با پلی-پپتیدهای قطبی و گروه‌های فسفولیپیدها منجر به پایداری پروتئین‌ها و غشا می‌شوند (Weiss, 2000).در مطالعه Bandurska (۲۰۰۱) مشخص شد که پرولین با فسفولیپیدهای غشا در ارتباط است و از طریق کاهش رادیکال‌های آزاد تشکیل شده طی تنش کمبود آب، از غشا محافظت می‌کند. تغییر در محتوای کلروفیل برگ، به عنوان یک واکنش کوتاه مدت به تنش کم آبی و یکی از عوامل مهم در حفظ ظرفیت فتوسنتزی و تولید ماده خشک در شرایط خشکی مطرح است (Ahmadi and Ceiocemardeh, 2004).

میزان کلروفیل برگ به عنوان شاخصی جهت بیان قدرت و توانایی فتوسنتز گیاهان می‌باشد (Gomes Sanchez *et al.*, 2000). کاهش غلظت رنگدانه‌ها در شرایط تنش خشکی شدید می‌تواند ناشی از اثر کلروفیلاز و در نتیجه تجزیه رنگدانه‌ها به وسیله گونه‌های فعال اکسیژن باشد (پورموسوی و همکاران، ۱۳۸٦). در مطالعه Yildiz Aktas و همکاران (۲۰۰۷) نشان داده شد کاربرد پرولین منجر به افزایش محتوای کلروفیل و کارتنوئید در برگ‌های گیاه *Laurus nobilis* L. تحت شرایط تنش خشکی شد. مطالعات انجام شده توسط Tsialtas و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که تنش خشکی باعث کاهش میزان سبزینگی برگ، شاخص سطح برگ، و کاهش وزن خشک اندام

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای آبیاری و پرولین از نظر شاخص پایداری غشا (MSI) و عدد کلروفیل‌متر(SPAD)

منابع تغییرات	درجه آزادی	MSI	SPAD
تکرار	۲	۲/۰٤ $^{ns^{\wedge}}$	٦/۱٤ ^{ns}
آبیاری	۲	۹٦۲/٥ **	۳۳۸/۸ **
خطای اصلی (آبیاری × تکرار)	٤	۱۰/٦۳	۲/٥۹
پرولین	۲	٤٦/۳۹ *	٦۹/۷۸ **
آبیاری × پرولین	٤	٤۹/۲۳ *	۳۱/۱۷ **
خطای فرعی	۱۲	۹/٥۸	۲/۹۰
ضریب تغییرات		٥/٤۳	٤/۲۳

$^{ns^{\wedge}}$، *و **به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطوح ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های اثر تیمارهای آبیاری و پرولین بر شاخص پایداری غشا(MSI) و عدد کلروفیل‌متر(SPAD)

عامل آزمایشی	MSI (%)	SPAD (units)
تیمارهای آبیاری		
۱۰۰ درصد آبیاری (شاهد)	٦۸/۲۱^{a}	٤٦/۹۲^{a}
۷۵ درصد آبیاری	٥٤/۸٤^{b}	۳۹/۱٦^{b}
۵۰ درصد آبیاری	٤۷/۸٥^{c}	۳٤/۸۱^{c}
LSD	٤/۲۷	۲/٥۹
محلولپاشی		
بدون محلولپاشی	٥٤/۹٥^{b}	۳۸/٤۹^{b}
محلولپاشی ۵ میلی مولار	٥٦/٥۲^{ab}	۳۸/۸۸^{b}
محلولپاشی ۱۰ میلی مولار	٥۹/٤۳^{a}	٤۳/٥۰^{a}
LSD	۳/۱۸	۲/۹۱

در هر ستون و برای هر واحد آزمایشی، میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارد.

هوایی و ریشه در گیاه چغندرقند شد که با نتایج این آزمایش مطابقت داشت.

شاخص‌های رشد: روند تغییرات شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول و سرعت جذب خالص بوته‌های چغندرقند نشان داد که قبل از اعمال تیمارها روند افزایش سطح برگ در همه تیمارها مشابه بود. از ٤٥ روز پس از سبزشدن و با افزایش دمای محیط، شاخص‌های رشد در همه تیمارها با سرعت بیشتری افزایش یافت (شکل‌های ۱، ۲ و ۳). در تیمارهای محلولپاشی پرولین، با کاهش میزان آبیاری، کاهش شاخص سطح برگ وجود داشت اما مقادیر این کاهش بین تیمارها یکسان نبود، به طوری که، کاهش شاخص سطح برگ در تیمار ۵۰ درصد آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و محلولپاشی با آب ٤۳ درصد بود. در حالی‌که این کاهش، در تیمار ۱۰ میلی مولار پرولین ۳۰ درصد بود در واقع محلولپاشی ۱۰ میلی مولار پرولین باعث افزایش ۲۵ درصدی شاخص سطح برگ در سطح تنش ۵۰ درصد نسبت به محلولپاشی با آب (شاهد) شده است (شکل ۱).

شاخص سطح برگ در ۹۰ روز پس از سبزشدن در همه

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری در پرولین بر شاخص پایداری غشا (MSI) و عدد کلروفیل‌متر(SPAD)

تیمارهای آبیاری	سطوح پرولین	MSI (%)	SPAD (units)
	عدم محلولپاشی	٦٩/٨٧^{a}	٤٥/٤٧^{b}
۱۰۰ درصد آبیاری (شاهد)	محلولپاشی ۵ میلی مولار	٦٨/٥٧^{a}	٤٦/٣٧^{ab}
	محلولپاشی ۱۰ میلی مولار	٦٦/١٨^{a}	٤٨/٩٢^{a}
	عدم محلولپاشی	٥٢/٥٠^{c}	٣٩/٧٧^{c}
۷۵ درصد آبیاری	محلولپاشی ۵ میلی مولار	٥١/٨٧^{c}	٣٣/٩٠^{e}
	محلولپاشی ۱۰ میلی مولار	٦٠/١٤^{b}	٤٣/٨٠^{b}
	عدم محلولپاشی	٤٢/٤٩^{d}	٣٠/٢٥^{f}
۵۰ درصد آبیاری	محلولپاشی ۵ میلی مولار	٤٩/١١^{c}	٣٦/٣٨^{de}
	محلولپاشی ۱۰ میلی مولار	٥١/٩٦^{c}	٣٧/٧٨^{cd}
LSD (5%)		٥/٤٣	٢/٩١

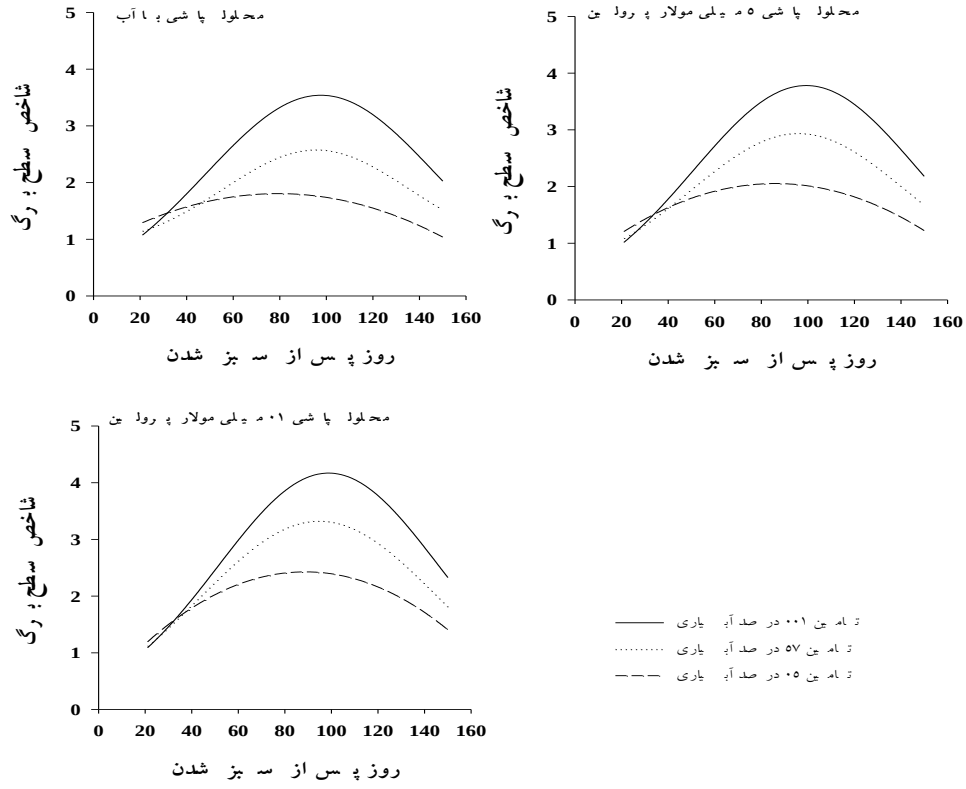
میانگین‌هایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

تیمارها به حداکثر مقدار خود رسید و پس از آن با نزدیک شدن به آخر فصل و ریزش برگ‌های مسن، شاخص سطح برگ کاهش یافت (شکل ۱). سرعت رشد محصول نیز در اوایل رشد کم و در ۹۰ روز پس از سبز شدن به دلیل افزایش تدریجی و جذب تابش خورشید همزمان با افزایش سطح برگ و در نتیجه افزایش سرعت تجمع ماده خشک در گیاهان افزایش یافت و پس از آن به دلیل مسن شدن برگ‌ها، خشک شدن برگ‌ها و احتمالا در سایه قرار گرفتن تعدادی از برگ‌ها و کاهش نفوذ نور به داخل سایه انداز گیاه، از سرعت رشد محصول کاسته شده و این روند نزولی تا پایان دوره رشد ادامه داشته است. از طرفی، در شرایط تنش خشکی، به علت کاهش توسعه و سطح برگ و کاهش میزان فتوسنتز و وقوع پیری زودرس، سرعت رشد محصول کاهش یافته است (شکل ۱). گزارش امیری ده احمدی و همکاران (۱۳۸۹) حاکی از آن است که در شرایط تنش خشکی و با کاهش پتانسیل آبی گیاه، سرعت رشد محصول به دلیل افزایش شدت تنفس و کاهش فتوسنتز کاهش می‌یابد.

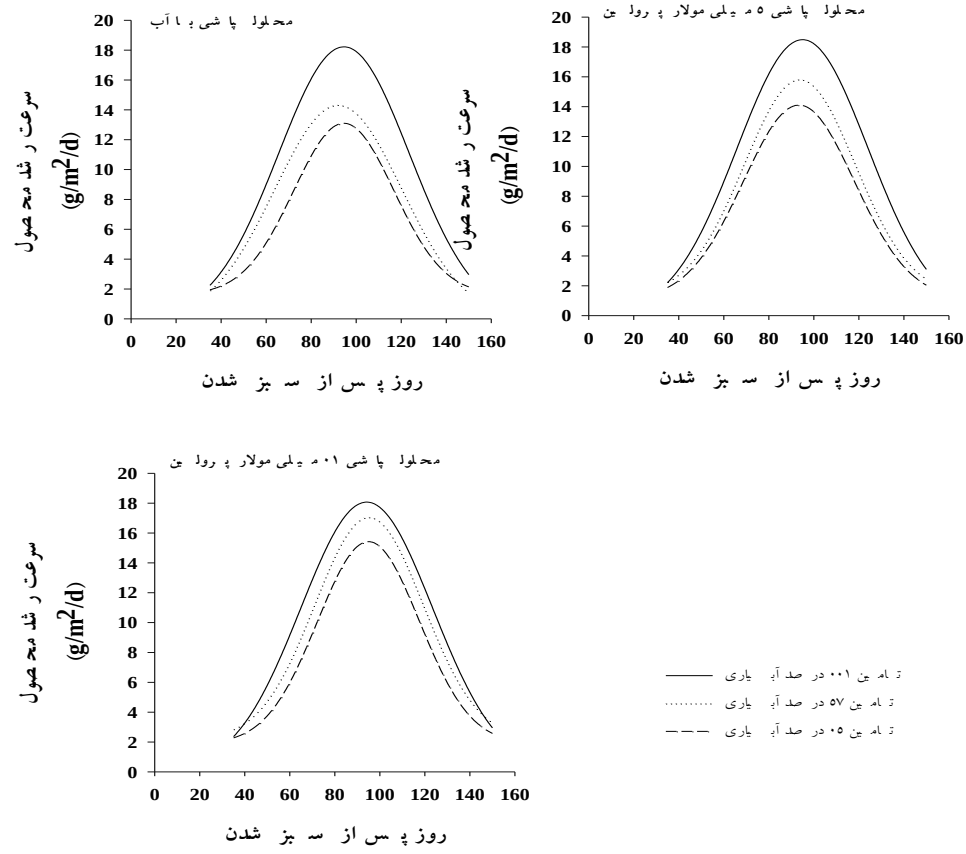
سرعت جذب خالص چغندرقند نیز، در ابتدای رشد به دلیل عدم سایه‌اندازی برگ‌ها افزایش داشته و در ادامه رشد با شیب تندی کاهش یافته است که این پدیده به علت افزایش سایه اندازی برگ‌ها بر روی یکدیگر و افزایش تنفس گیاهی در مقابل فتوسنتز در اواخر دوره رشد بوده است (شکل ۳). سرعت و زمان کاهش سرعت رشد محصول برای تیمارهای تنش کم آبیاری بیشتر از تیمار شاهد (آبیاری کامل) بود، اما در تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین، این سرعت و زمان کاهش کمتر بود (شکل ۲). این نتیجه، نشان از نقش پرولین در تحمل گیاه به خشکی و کاهش کمتر شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول می‌باشد. محلولپاشی با پرولین، به لحاظ تنظیم اسمزی آن و نقش مهم در تحمل گیاه به تنش خشکی، موجب حفظ بیشتر شاخص سطح برگ و به تاخیر انداختن مرحله پیری و ریزش برگ در اثر تنش شده است و بنابراین، امکان سرعت جذب خالص و سرعت رشد محصول بیشتر را فراهم می‌کند. در مطالعه Yildiz Aktas و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند پرولین، منجر به افزایش سطح برگ گیاه تحت شرایط تنش شد. با توجه به مشاهدات Diepenbrock (۲۰۰۰) کاهش شاخص سطح برگ در اثر اعمال تنش خشکی در کلزا مشاهده شده است و کاهش سرعت فتوسنتز، موجب برگ‌های کوچک‌تر در شرایط تنش خشکی از یک طرف و زوال برگ‌ها

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]



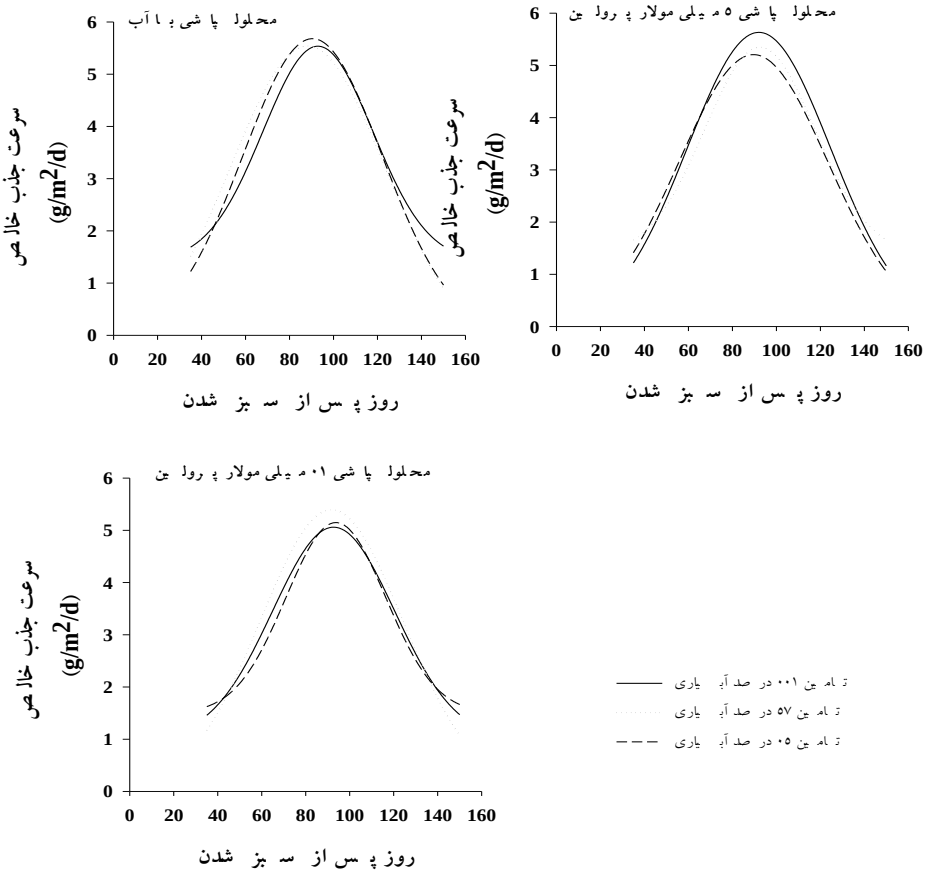
شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ چغندرقند در برهمکنش تیمارهای پرولین و آبیاری



شکل ۲- روند تغییرات سرعت رشد محصول چغندرقند در برهمکنش تیمارهای پرولین و آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]



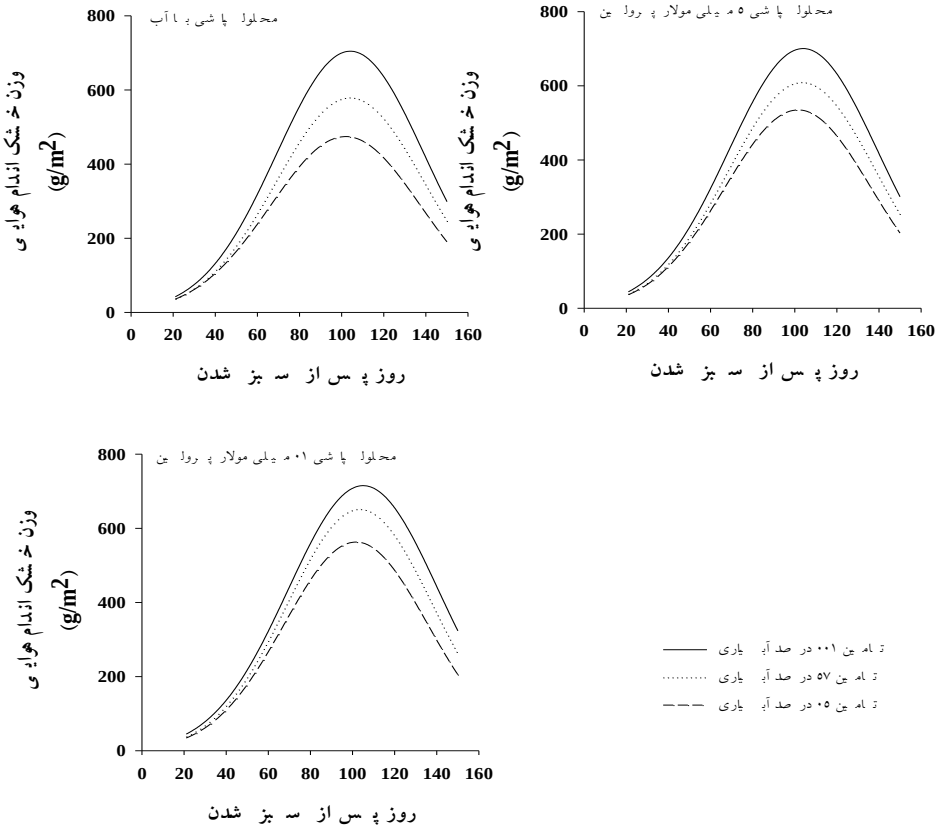
شکل ۳- روند تغییرات سرعت جذب خالص چغندرقند در برهمکنش تیمارهای پرولین و آبیاری

از طرف دیگر می‌شود.

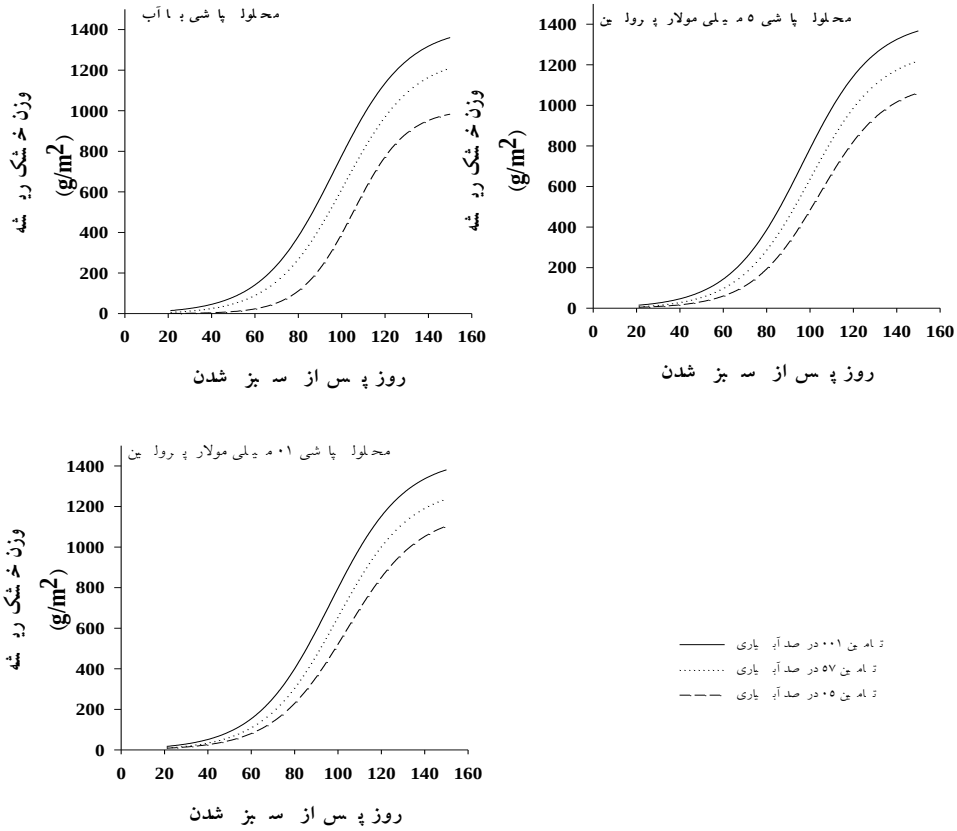
وزن خشک اندام هوایی و ریشه: وزن خشک اندام هوایی و ریشه چغندرقند در مراحل اولیه رشد، با سرعت کمتری افزایش یافتند و این سرعت افزایش برای اندام هوایی بیشتر از ریشه بود. وزن خشک اندام هوایی و ریشه چغندرقند در اواسط مراحل رشد، با سرعت بیشتری افزایش یافتند، که این روند برای وزن خشک ریشه تا پایان دوره‌ی رشد به صورت افزایشی بود، در حالی که، وزن خشک اندام هوایی، ۹۰ روز پس از سبزشدن به حداکثر رسید و پس از آن، به دلیل کاهش رشد رویشی و ریزش برگ‌های مسن، وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت (شکل٤ و٥). در این مرحله گیاه بیشتر مواد فتوسنتزی خود را، صرف افزایش وزن ریشه و تجمع قند کرده است. روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی و ریشه در تیمارهای آبیاری و پرولین نشان می‌دهد که در تمامی مقادیر پرولین، با کاهش میزان آبیاری، وزن خشک اندام هوایی و ریشه کاهش یافته است اما، شدت کاهش بین تیمارها یکسان نبود. باید توجه داشت که کم آبیاری، موجب کاهش وزن خشک اندام هوایی و ریشه نسبت به شرایط عدم تنش در مراحل پس از اعمال تنش تا پایان دوره رشد شده است (شکل های ٤ و ٥).

به طوری که وزن خشک اندام هوایی و ریشه، به ترتیب در تیمار۵۰ درصد آبیاری ۳٦ و ۳۱ درصد نسبت به تیمار آبیاری کامل (۱۰۰ درصد) و محلولپاشی با آب (شاهد) کاهش داشته است. مقادیر این کاهش در تیمار محلولپاشی ۱۰ میلی مولار پرولین نسبت به تیمار آبیاری کامل (۱۰۰درصد) و محلولپاشی با آب (شاهد) ۲۵ و ۲۲ درصد بود (شکل‌های ٤ و ٥). در واقع، محلولپاشی ۱۰ میلی مولار پرولین باعث افزایش ۱۸ و ۱۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه به ترتیب در تیمار تنش ۵۰ درصد نسبت به تیمار محلولپاشی با آب (شاهد) شد (شکل‌های ٤ و ٥). میزان حساسیت ریشه و اندام‌هوایی به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]
[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]



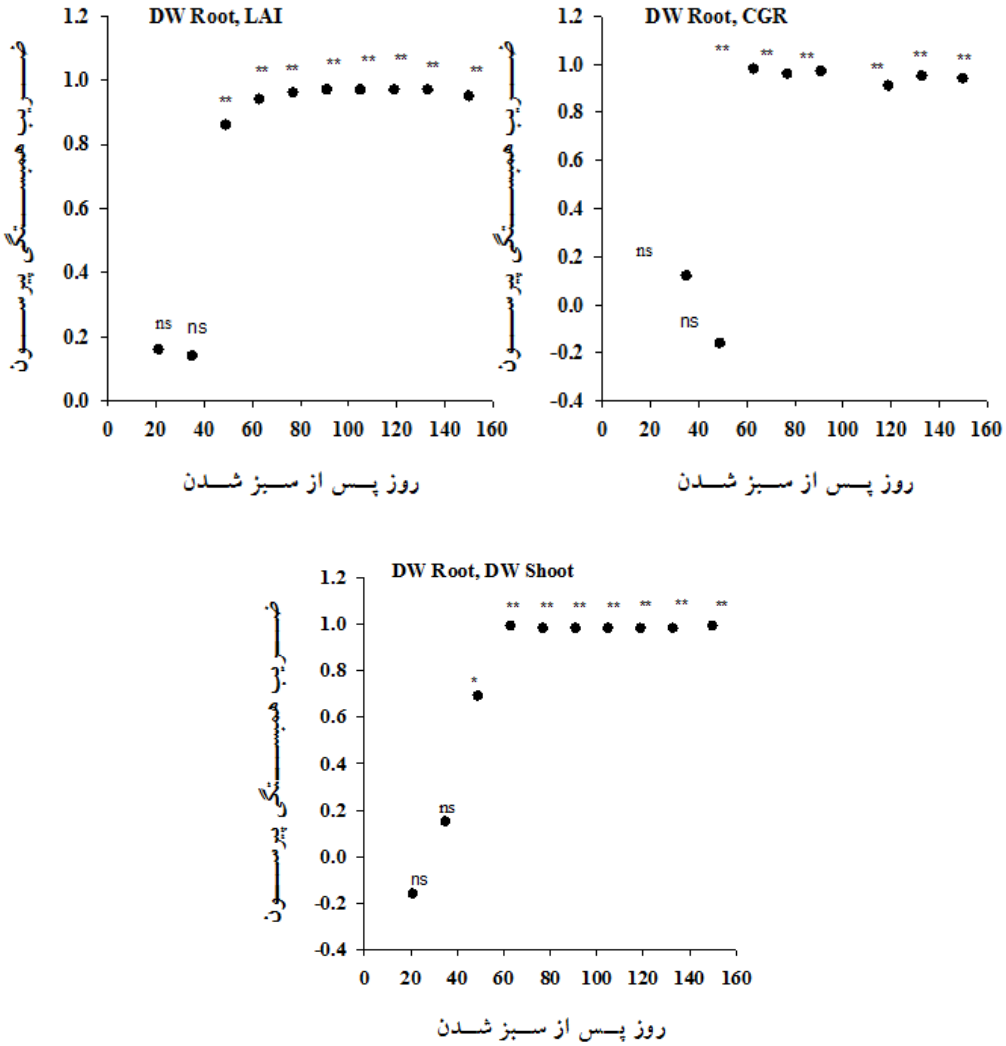
شکل٤- روند تغییرات وزن خشک اندام هوایی چغندرقند در برهمکنش تیمارهای پرولین و آبیاری



شکل ۵- روند تغییرات وزن خشک ریشه چغندرقند در برهمکنش سطوح پرولین در سطوح مختلف آبیاری

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]



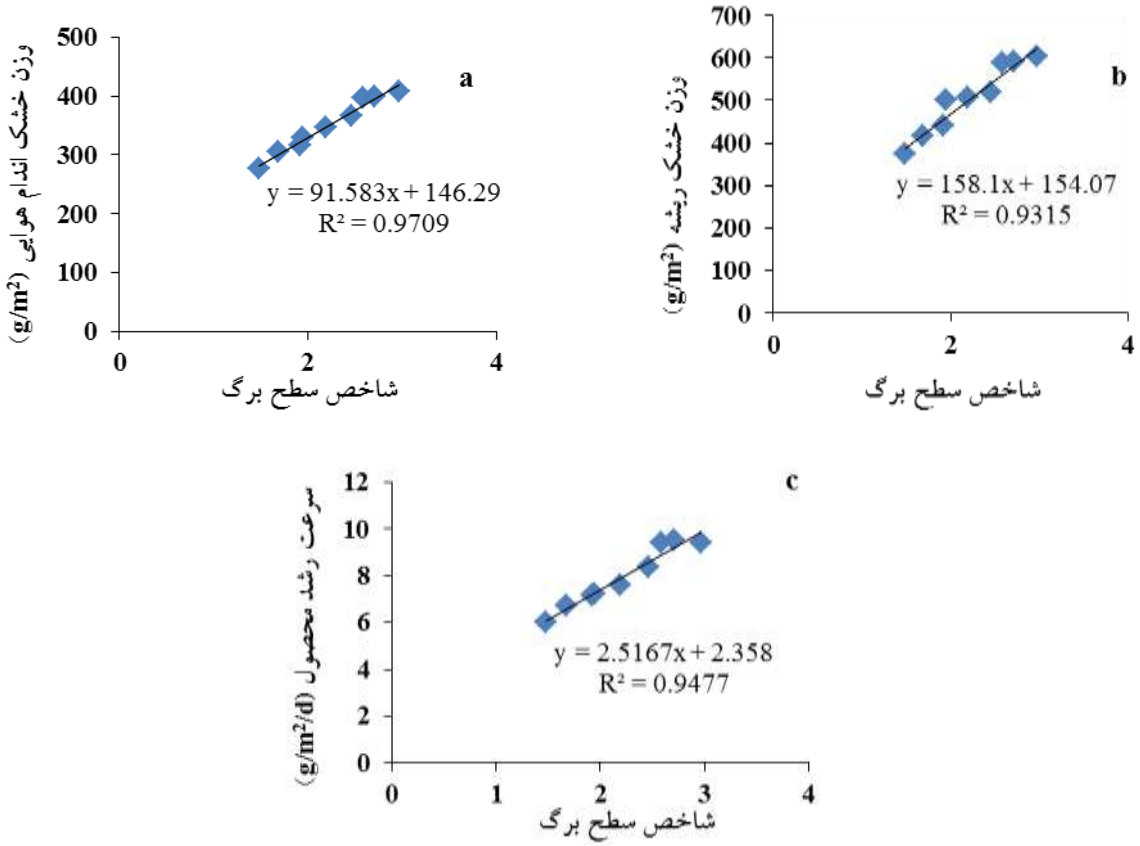
شکل ٦- ضرایب همبستگی پیرسون بین شاخص سطح برگ (LAI)، وزن خشک اندام هوایی (DW Shoot) و سرعت رشد محصول (CGR) با وزن خشک ریشه (DW Root). ^{ns}،*و**به ترتیب بیانگر معنی‌دار نبودن، معنی‌دار بودن در سطوح ۵ و ۱ درصد

تنش خشکی متفاوت است. اندام‌های هوایی، حساسیت بیشتری به محدودیت رطوبتی دارند و محدودیت نموی گیاه در اثر کمبود رطوبت خاک در قسمت‌های هوایی زودتر اتفاق می‌افتد (Sharp and Lenoble, 2002). نادری درباغشاهی و همکاران (۱۳۸٤) گزارش کردند که با کاهش میزان رطوبت قابل دسترس برای گیاه، کاهش سطح برگ اتفاق می‌افتد و جذب نور توسط سایه انداز کاهش یافته و در پی آن، ماده خشک تولیدی نیز کاهش می‌یابد.

کارکرد پرولین به عنوان املاح سازگار در تنظیم اسمزی گیاهان تحت تنش مهم است آنها نقشی حفاظت‌کننده اسمزی در واکنش‌های فیزیولوژیک دارند و گیاهان را قادر به تحمل بهتر تحت تنش‌های غیر زنده می‌کنند (Jasim *et al.*, 2012). نتایج نشان داد که در مراحل اولیه رشد، بین شاخص‌های رشد و وزن خشک اندام هوایی گیاه چغندرقند با وزن خشک ریشه همبستگی وجود نداشت اما با ادامه روند رشد گیاه، این همبستگی افزایش یافت. این روند نشان داد که با افزایش شاخص سطح برگ، وزن خشک اندام هوایی و سرعت رشد محصول و وزن خشک ریشه به عنوان معیار مهم چغندرقند افزایش یافتند (شکل ٦). نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ با وزن خشک اندام هوایی (R^2= ۰/۹۷) (شکل ۷، a)، وزن خشک ریشه (R^2 =۰/۹۳) (شکل ۷، b) و سرعت رشد محصول (۰/۹۵ =R^2) همبستگی بالایی داشت (شکل۷، c).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]



شکل ۷- ارتباط بین شاخص سطح برگ با وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه و سرعت رشد محصول درسطوح مختلف آبیاری و پرولین

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که کمبود آب و به عبارتی تنش خشکی، باعث کاهش شاخص‌های رشد و صفات فیزیولوژیک در گیاه چغندرقند شده است. از طرفی، محلولپاشی پرولین بر روی گیاه، باعث تعدیل یا تخفیف اثر بازدارنده و منفی تنش خشکی بر صفات فیزیولوژیک و شاخص‌های رشد چغندرقند شده است. این پدیده احتمالا به دلیل اثر پرولین بر بهبود پتانسیل اسمزی گیاه چغندرقند و توانایی حفظ ذخیره آب کافی تحت شرایط کم آبی بوده است. بنابراین محلولپاشی ۱۰ میلی‌مولار پرولین جهت کاهش اثرات منفی خشکی بر گیاه چغندرقند پیشنهاد می‌شود.

منابع

امام، ی. و نیک نژاد م. ۱۳۹۰. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۰ صفحه.

امیری ده احمدی، س. ر.، پارسا، م.، نظامی، ا. و گنجعلی، ع. ۱۳۸۹. تاثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشدی بر شاخص‌های رشد نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط گلخانه. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران. ۱(۲): ۸۴-۶۹.

پورموسوی، م.، گلوی، م.، دانشیا، ج.، قنبری، ا. و بصیرانی، ن. (۱۳۸۶) بررسی تاثیر تنش خشکی و کود دامی بر محتوای رطوبت، میزان پایداری غشای سلول و محتوای برگ سویا، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۴: ۹-۱.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

فرشی، ع.، سیادت، ح.، دربندی، ص.، انصاری، م.، خیرابی، ج.، میرلطیفی، م.، سلامت، ع. و سادات میری، م. ح. (۱۳۸۲) مدیریت آب آبیاری در مزرعه. چاپ اول، انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.

قاسمی گلوزانی، ک.، محمدی، س.، رحیم‌زاده، پ. و مقدم، م. (۱۳۷٦) رابطه کمی بین تراکم و عملکرد سه رقم نخود در تاریخ‌های مختلف کاشت. مجله فیزیولوژی گیاهی و اصلاح. ۷: ۷۳-۵۹.

میرزایی، م. ر. و رضوانی، س. م. ا. (۱۳۸٦) تاثیر تنش خشکی بر خصوصیات کیفی چغندرقند در مراحل مختلف رشد رویشی. چغندرقند ۲۳ (۱): ٤۲-۲۹.

نادری درباغشاهی، م. ر.، نور محمدی، ق.، مجیدی، ا.، درویش، ف.، شیرانی، ا. ح. مدنی، و ح. (۱۳۸٤) بررسی عکس العمل گلرنگ تابستانه به شدت‌های مختلف تنش خشکی در منطقه اصفهان، مجله علوم زراعی ایران ۷: ۲۲۵-۲۱۲.

Ahmadi, A. and Ceiocemardeh, A. (2004) Effect of drought stress on soluble carbohydrates, chlorophyll and proline in four adopted wheat cultivars with various climate of Iran. Journal of Agriculture Science 35: 753-763.

Ali, Q., Muhammad, A. and Habib-Ur-Rehman, A. (2007) Exogenously applied proline at different growth stages enhances growth of two maize cultivars grown under water deficit conditions. Pakistan Journal Botany 39(4): 1133-1144.

Bandurska, H. (2001) Does proline accumulated in leaves of water stressed barley plants confin cell membrane injury.1. Free proline accumulation membrane injury index in drought and osmotically stressed plant. Acta Physiologiae Plantarum 22: 409-415.

Bewley, J. D. (1979) Physiological aspects of desiccation tolerance. Annual Review of Plant Physiology. 30: 195-238.

Diepenbrock, W. (2000) Yield analysis of winter oil seed rape (*Brassica napus*): A review. Field Crops Research 67: 35-49.

FAO. (1977) Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 24. United Nations Food and Agriculture Organization (Rome).

Gadallah, M. A. A. (1995) Effect of water stress abscisic acid and proline on cotton plant. Journal of Arid Environments 30(3): 315-325.

Gomes Sanchez, D., Vannozzi, G. P., Baldini, M., Tahamasebe Enferadi, S. and Dell Vedove, G. (2000) Effect of soil water availability in Sunflower lines derived from interspecific Crosses. Italian Journal of Agronomy 371-387.

Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. M. A., Karimi, M. and Ghanati, F. (2011) Responses of growth and antioxidant systems in Carthamus tinctorius L. under water deficit stress. Acta Physiological Plantarum 33: 105-112.

Hsiao, T.C. (2000) Leaf and root growth in relation to water status. Horticultural Science 35: 1051-1058.

Hua-long, L., Han-jing, Sh., Jing-guo, W., Yang, L., De-tang, Z. and Hong-wei, Zh. (2014) Effect of Seed Soaking with Exogenous Proline on Seed Germination of Rice Under Salt Stress. Journal of Northeast Agricultural University 21(3):1-6.

Jasim, A. H., Abu Al- Timmen, W. M., Al- Alwani, B. A. (2012) Effect of salt stress, application of salicylic acid and proline on enzymes activity of sweet pepper (*Capsicum annum* L.). Protection of environment and water quality: the basis for agricultural production, Food Security and sustainable development 285- 297.

Kocheva, K. and Georgive, G. (2003) Evaluation of the reaction of two contrasting barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars in response to osmotic stress with PEG6000. Journal Plant Physiology 290-294.

Koller H. R., Nyguist W. E. and Chrouch I. S. (1980) Growth analysis of the soybean community. Crop Science 20: 407-413.

Kowalczyk, K. and Zielony, T. (2008) Effect of aminoplant and asahi on yield and quality of lettuce grown on rockwool. Conference of Biostimulators in Modern Agriculture, 7-8 February 2008, Warsaw, Poland.

Mohammadian, R., Khoyi, F.R., Rahimian, H., Moghaddam, M., Ghassemi-Golezani, K. and Sadeghian, S.Y. (2001) The Effects of Early Season Drought on Stomatal Conductance, Leaf-air Temperature Difference and Proline Accumulation in Sugar Beet Genotypes. Journal of Agricultural Science and Technology 3: 181-192.

Moradshahi, A., Salehi Eskandari, B. and Kholdebarin, B. (2004) Some physiological responses of canola (*Brassica napus* L.) to water deficit stress under laboratory conditions. Iran. Journal of Science and Technology 28: 43-49.

Nakano, Y. and Asada, K. (1981) Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. Plant Cell Physiology journal 22: 867-880.

Okuma E., Murakami, Y., Shimoishi, Y., Tada, M. and Murata, Y. (2004) Effect of exogenous application of proline and betaine on the growth of tobacco cultured cells under saline conditions. Soil Science and Plant Nutrition 50(8):1301-1305.

Rontein, D., Basset, G. and Hanson, A. D. (2002) Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. Metabolic Engineering 4: 49- 56.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]

Shao, H. B., Chu, L.Y., Shao, M.A., Abdul Jaleel, C. and Hong-Mei, M. (2008) Higher plant antioxidants and redox signaling under environmental stresses. Comptes Rendus Biologies 331: 433–441.

Sharp, R. E. and Lenoble, M. E. (2002) ABA, ethylene and the control of shoot and root growth under water stress. Journal of Experimental Botany 53: 33-37.

Singh, M., Srivastava, J. P. and Kumar, A. (1992) Cell membrane stability in relation to drought tolerance in wheat genotypes. Journal of Agronomy and Crop Science 168: 186-190.

Tsialtas, J. T., Soulioti, E., Maslaris, N. and Papakosta, D. (2009) Genotypic response to re-growth of defoliated sugar beets after re-watering in a water-limited environment: effects on yield and quality. International Journal of Plant Production 3(2): 1-18.

Valentovic, P., Luxova, M., Kolarovic, L. and Gasparikova, O. (2006) Effect of osmotic stress on compatible solutes content, membrane stability and water relations in two maize cultivars. Plant Soil and Environment 52(4): 186-191.

Weiss, E. A. (2000) Oilseed Crops, 2nd Edition. Blackwell Sc. Ltd., Bodmin, UK.

Yildiz Aktas, L., Turkyilmaz, B., Akca, H. and Parlak, S. (2007) Role of Abscisic Acid and Proline Treatment on Induction of Antioxidant Enzyme Activities and Drought Tolerance Responses of *Laurus nobilis* L. Seedlings. Fen Bilimleri Dergisi 28: 14-27.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2025-04-10]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1397.7.26.2.1]