نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۳، شماره ۲ ، تابستان ۱۳۹۴، ص. ۳۰۷-۲۹۸

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 13, No. 2, Summer. 2015, p. 298-307

مطالعه برخی شاخص‌های مورفو فیزیولوژیک گیاه دارویی نوروزک در شرایط تنش کمبود آب

مجید دشتی[1*]- محمد کافی[2]- حسین توکلی[3]- مهدی میرزا[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۴/۱۰

چکیده

به‌منظور بررسی تأثیر تنش کمبود آب بر خصوصیات رشد و محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی گیاه دارویی نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth.)، یک آزمایش گلخانه‌ای در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایش، پتانسیل‌های مختلف آب خاک شامل ۰/۰۳۵- (شاهد)، ۰/۱۳۸- (تنش ملایم)، ۰/۵۱۶- (تنش متوسط) و ۱/۹۲- مگاپاسکال (تنش شدید) در دو وضعیت تنش کمبود آب مداوم و موقت بودند. یک دسته از تیمارهای تنش، به‌طور ثابت در سطوح تنش فوق نگه داشته شدند (تیمارهای کمبود آب) و در دسته دیگر پس از تخلیه رطوبت خاک تا پتانسیل‌های فوق، تا حداکثر ظرفیت نگهداری آب آبیاری شدند (تیمارهای بازیافت). نتایج نشان داد که تنش ملایم کمبود آب منجر به کاهش معنی‌دار تعرق تجمعی، وزن خشک برگ‌های زرد و نیز افزایش میزان کلروفیل a، b و کل در مقایسه با شاهد گردید. کلیه صفات مورد مطالعه در تیمارهای تنش کمبود آب تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال (تنش متوسط) تفاوت معنی‌داری نداشتند. با افزایش شدت تنش به بیش از ۰/۵۱۶- مگاپاسکال تعداد برگ، سطح برگ و وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری ($P\leq 0/05$) کاهش یافت. بیشترین سطح ویژه برگ (SLA) به میزان ۱۳۵ سانتی‌متر مربع بر گرم در پتانسیل ۰/۱۳۸- مگاپاسکال حاصل گردید که تنها با تیمار تنش شدید تفاوت معنی‌دار داشت. تیمار تنش شدید، باعث افزایش غلظت کارتنوییدهای کل به میزان ۱۷ درصد و نسبت ریشه به اندام‌های هوایی به میزان ۳/۹ تا ۴/۳ برابر در مقایسه با شاهد شدند.

واژه‌های کلیدی: تنش آب، رشد، رنگیزه‌های فتوسنتزی، نوروزک

مقدمه

گیاهان در طبیعت به‌طور مداوم در معرض انواع تنش‌های زنده و غیر زنده قرار می‌گیرند. از بین این تنش‌ها، تنش خشکی یکی از نامطلوب‌ترین عوامل رشد و بهره‌وری و تهدیدی جدی برای تولید محصول پایدار و امنیت مواد غذایی در شرایط تغییر اقلیم به‌شمار می‌رود (۹).

خشکسالی طیف گسترده‌ای از پاسخ‌های گیاه را از متابولیسم سلولی تا تغییر در سرعت رشد و عملکرد محصول در برمی‌گیرد. رشد، عملکرد، تمامیت غشاء سلولی، محتوای رنگدانه‌ها، روابط آب، تنظیم اسمزی و فعالیت‌های فتوسنتزی به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر تنش کمبود آب قرار می‌گیرند. با وجود این حساسیت گیاهان به تنش خشکی بسته به شدت تنش، گونه‌های گیاهی و مراحل رشد و نمو متفاوت است (۱۴). تنش خشکی از طریق کاهش محتوای آب خاک منجر به کاهش پتانسیل آب برگ و کاهش آماس سلولی و در نهایت بسته شدن روزنه‌ها و کاهش سرعت رشد و نمو سلول‌ها می‌شود (۹).

کمبود آب، تعداد برگ در بوته، اندازه هر برگ و طول عمر برگ را به‌دلیل کاهش پتانسیل آب خاک کاهش می‌دهد. اثر مشترک نامطلوب تنش خشکی در گیاهان زراعی، کاهش وزن تر و خشک از طریق اختلال در تبادلات گازی برگ و نیز انتقال اسیمیلاتها و تخصیص ماده خشک است (۱۶).

با توجه به موقعیت ایران در منطقه خشک و نیمه خشک و نیز وجود بحران آب در این مناطق، انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که لازمه آن کاشت گیاهان مقاوم به خشکی و دارای نیاز آبی کم است. گیاه نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth) ازجمله گونه‌های با ارزش و چند ساله خانواده نعناعیان (Lamiaceae) بوده که به‌دلیل بهره‌برداری غیر علمی و غیر اصولی در گروه گیاهان در معرض خطر انقراض می‌باشد (۱۹). این گونه منحصربه فرد تنها در کشور ایران و مناطقی از افغانستان گزارش شده است. رویشگاه‌های این گونه منحصراً در کوه‌های سنگلاخی و مراتع

۱- دانشجوی سابق دکتری فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه فردوسی مشهد و استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
(*- نویسنده مسئول: Email: Majiddashti46@gmail.com)
۲- استاد دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی
۴- دانشیار مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع- بخش تحقیقات گیاهان دارویی

بیابانی با اقلیم خشک تا نیمه‌خشک سرد در استان‌های خراسان رضوی و خراسان جنوبی و بخش کوچکی از سمنان می‌باشد (۲۸). در سال‌های اخیر ترکیبات شیمیایی و اثرات فارماکولوژی اندام‌های مختلف این گیاه تعیین شده است. خواص دارویی همچون کاهش قند خون، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان، معالجه کم خونی، ضد تشنج و اضطراب، این گیاه را به‌عنوان گیاه دارویی ارزشمند معرفی ساخته است (۱۸).

علی‌رغم مطالعات گسترده‌ای که در مورد تأثیر تنش‌های محیطی بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی انجام شده، اطلاعات کمی در مورد واکنش گیاهان دارویی به این تنش‌ها موجود است (۳۳).

اثرات تنش کمبود آب بر کاهش ارتفاع، سطح برگ و وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی در گیاهان ریحان (*Ocimum basilicum* L.) (۳)، بادرشبویه (*Dracocephalum moldavica*) (۴)، بادرنجبویه (*Melissa officinalis*) (۱)، نعناع (*Mentha piperata*) (۲۵) مورد مطالعه قرار گرفته است. اسدی و همکاران (۱۱) نتیجه گرفتند که تنش خشکی به میزان ۳۰ درصد ظرفیت زراعی منجر به کاهش قطر ریشه، ارتفاع بوته، طول و عرض برگ سه جامعه مریم گلی کبیر (*Salvia sclarea*) شد. لباسچی و همکاران (۷) نیز با مقایسه شاخص‌های رشد چند گونه دارویی نتیجه گرفتند که گیاهان مریم گلی (*Salvia officinalis*) و بابونه (*Achillea millefolium*) در مقایسه با گیاهان بومادران، اسفرزه و همیشه بهار از بالاترین رشد در کلیه تیمارهای خشکی برخوردار بوده و قادر به حفظ رشد و شادابی خود در تیمار تنش شدید خشکی به میزان ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بودند.

تنش کمبود آب همچنین رنگیزه‌های فتوسنتزی در گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. غلظت‌های پایین رنگدانه‌های فتوسنتزی به‌طور مستقیم می‌تواند باعث کاهش پتانسیل فتوسنتز شده و از این رو تولید اولیه را محدود سازد. میسرا و همکاران (۲۵) نیز نشان دادند که تنش کم آبی در نعناع باعث شکسته شدن کلروپلاستها و تشکیل پلاستیدهای جدید، کاهش میزان کلروفیل a و b و نیز تغییر نسبت کلروفیل a به b می‌شود. نتایج مشابهی از کاهش میزان کلروفیل در گیاهان یونجه (*Medicago sativa*) (۱۰) و ذرت (*Zea mays*) (۱۵) گزارش شده است.

این تحقیق با هدف تأثیر تنش کمبود آب بر برخی شاخص‌های مورفولوژیک و نیز رنگدانه‌های فتوسنتزی و ارزیابی پاسخ‌های گیاه دارویی نوروزک انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۰ در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. بذور رسیده نوروزک (*Salvia leriifolia* Benth.) در تاریخ ۳۰ اردیبهشت ۱۳۹۰ از منطقه هلالی بجستان ("۳۴ '۲۹ °۳۶ شمالی و "۳۰ '۰۷ °۵۸ شرقی) جمع‌آوری شدند. بذور پس از ضدعفونی با پودر وتابل ۶۰٪ کاربندازیم به میزان ۱/۵ در ۱۰۰۰، به تعداد کافی در ظروف پتری ۹۰ میلی‌متری بین دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک و درجه حرارت مطلوب ۱± ۱۵ کشت شدند. پس از جوانه‌زنی، ۶ گیاهچه سالم با طول ریشه حداکثر ۱۰ تا ۱۵ میلی‌متر به گلدان‌های پلاستیکی به قطر دهانه ۱۴سانتی‌متر، ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر و گنجایش ۲۵۰۰ گرم خاک منتقل شدند. پس از استقرار کامل گیاهچه‌ها، سه بوته سالم و یکنواخت نگهداری و بقیه حذف شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه و درجه حرارت ۴ ± ۲۵ درجه سانتی‌گراد، رطوبت ۵±۶۵ درصد و شدت روشنایی ۵۰۰۰ لوکس و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی قرارگرفتند.

خاک مورد نیاز برای انجام آزمایش شامل مخلوطی از ماسه بادی، خاک مزرعه و خاکبرگ (۱:۲:۱) بود. به‌منظور تعیین منحنی رطوبتی خاک، نمونه‌هایی از مخلوط خاک مورد استفاده جهت گلدان‌ها گرفته و سپس در معرض فشارهای ۰/۰۳، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ مگاپاسکال توسط دستگاه صفحات فشاری در آزمایشگاه مهندسی آبیاری دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد قرار گرفتند. بر این اساس رطوبت وزنی در پتانسیل‌های فوق به‌ترتیب ۲۱/۷، ۱۹، ۱۴، ۱۰/۶، ۸ و ۶/۵ درصد تعیین شد. علاوه بر این حداکثر ظرفیت نگهداری آب[1] (WHC) برحسب درصد به روش وزنی تعیین گردید.

تیمارهای آزمایش عبارت بودند از: آبیاری کامل (شاهد، ۱۰۰درصد WHC)، تنش ملایم (۷۵ درصد WHC)، تنش متوسط (۵۰ درصد WHC) و تنش شدید (۲۵ درصد WHC). سطوح مختلف تنش رطوبتی به دو دسته تقسیم شدند. دسته اول به‌طور ثابت در سطوح مختلف تنش نگه داشته شده (تیمارهای کمبود آب[2]، کد تیمار D) و در دسته دیگر (تیمارهای بازیافت[3]، کد تیمار R) پس از تخلیه رطوبت خاک و رسیدن به پتانسیل‌های آب خاک مورد نظر، تا حداکثر ظرفیت نگهداری آب، آبیاری شدند.

با استفاده از معادله حاصل از منحنی رطوبت خاک (معادله ۱) و داشتن درصد رطوبت وزنی خاک، پتانسیل آب خاک در هر یک از سطوح تنش تعیین شد (جدول ۱).

$$y = ۷/۱۵۳۴ \, e^{-۰/۲۳۹ x} \quad (۱)$$

در این معادله y: پتانسیل ماتریکی آب خاک (مگاپاسکال)

x: رطوبت وزنی خاک (٪) e: پایه لگاریتم نپرین

1- Water Holding Capacity
2- Water Deficit Treatments
3- Recovery Treatments

جدول ۱- مقادیر پتانسیل ماتریکی و محتوای آب خاک در سطوح مختلف تنش آب

سطوح تنش	WHC (٪)	کد تیمار	پتانسیل ماتریکی خاک (MPa)	محتوای آب خاک (٪)
شاهد	۱۰۰	۱۰۰ R	-۰/۰۳۵	۲۲/۰
ملایم	۷۵	۷۵ R,D	-۰/۱۳۸	۱۶/۵
متوسط	۵۰	۵۰ R,D	-۰/۵۱۶	۱۱/۰
شدید	۲۵	۲۵ R,D	-۱/۹۲	۵/۵

تیمارهای تنش کمبود آب، یک ماه پس از انتقال گیاهچه‌ها اعمال گردید. در طول مدت تنش، برای کاهش خطای آزمایش و نیز یکنواخت نمودن شرایط رویش برای تمامی گیاهان، گلدان‌های هر تیمار به‌طور تصادفی جابه‌جا می‌شدند. در طول دوره رشد گلدان‌ها هر روز با ترازوی حساس (دقت یک گرم) توزین و در تیمارهای شاهد و تنش ثابت، هر روز و در سایر تیمارها در صورت نیاز آبیاری انجام می‌شد.

به‌منظور جلوگیری از تبخیر آب، سطح خاک با لایه‌ای به ارتفاع یک سانتی‌متر از ساچمه‌های پلی وینیل کلراید (ماده اولیه تهیه پلاستیک) پوشانده شد، با وجود این از هفت گلدان شاهد (معادل با تعداد تیمارهای تنش) بدون گیاه به‌منظور محاسبه تلفات تبخیر در طول دوره رشد استفاده شد.

در انتهای آزمایش، بوته‌ها به‌طور کامل از داخل گلدان خارج شدند و پس از شستشوی کامل ریشه‌ها، به تفکیک برگ (سبز، زرد) و ریشه جدا شدند. سپس سطح برگ‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (Delta-T Device MK2) برحسب سانتی‌متر مربع اندازه‌گیری شدند. نمونه‌ها جهت اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در داخل آون با حرارت ۷۰ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن خشک ثابت قرار گرفته و سپس توسط ترازوی آزمایشگاهی با دقت ۰/۰۰۱ گرم توزین شدند.

میزان تعرق تجمعی روزانه هر گیاه با اندازه‌گیری تفاوت بین وزن گلدان در روز اندازه‌گیری و وزن گلدان در روز قبل محاسبه شد. کارآیی مصرف آب در کل دوره رشد نیز با محاسبه نسبت وزن خشک کل هر گیاه (گرم) به آب تعرق شده (کیلوگرم) تعیین گردید. علاوه بر این میانگین تلفات تبخیر آب از گلدان‌های شاهد بدون گیاه در هر تیمار تنش از میزان تعرق محاسبه شده در طول فصل رشد کسر شد. شاخص سطح ویژه برگ[1] (SLA) با محاسبه نسبت مجموع سطح برگ هر گیاه به وزن خشک آنها بر حسب سانتی‌متر مربع بر گرم تعیین شد.

تغییرات سرعت رشد نسبی طول برگ در بازه زمانی ۹۰ تا ۱۲۰ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شد. برای این منظور آخرین برگ در حال تکامل از دو گیاه (ترجیحاً به طول کمتر از ۵ میلی‌متر) در هر واحد آزمایشی انتخاب و طول آن در دو بازه زمانی فوق اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین تغییرات سطح برگ به روش نیمه‌تخریبی، از ابتدای رشد و به فاصله هر ۱۵ روز، طول و عرض کلیه برگ‌ها به‌طور تجمعی اندازه‌گیری شدند. به‌منظور تعیین رابطه همبستگی طول برگ (سانتی‌متر) و نیز حاصلضرب طول در عرض برگ (سانتی‌متر مربع) با سطح برگ واقعی (معادلات ۲ و ۳)، در هر نوبت اندازه‌گیری دو برگ از هر واحد آزمایشی به‌طور تصادفی قطع و ضمن اندازه‌گیری طول و عرض آنها، سطح برگ واقعی آنها با دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه‌گیری شد.

سطح برگ واقعی = (۲/۰۰۱۹ × طول برگ) - ۲۵/۸ (۲)

R^2 =۰/۹۳۶۶

سطح برگ واقعی = ۰/۵۵۸۳ (عرض برگ×طول برگ) + ۷/۳۲ (۳)

R^2= ۰/۹۸۴۵

بر این اساس سرعت رشد نسبی سطح برگ[2] (RLER) برحسب سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مربع بر روز و سرعت رشد نسبی طول برگ[3] (RLLR) برحسب میلی‌متر بر میلی‌متر بر روز تعیین شد (۲۱).

برای اندازه‌گیری محتوای رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئیدکل، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ تازه با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰٪ در هاون چینی سائیده شد و محلول حاصل به مدت ۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس جذب محلول رویی در طول موج‌های ۶۴۷، ۶۶۴ و ۴۷۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان کلروفیل a، b،کلروفیل کل و کاروتنوئید کل بر حسب میکروگرم بر گرم وزن تر برگ محاسبه شد. شاخص پایداری کلروفیل با تقسیم غلظت کلروفیل کل در هر یک از تیمارهای تنش بر غلظت کلروفیل کل در تیمار شاهد محاسبه شد (۲۳). آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.1.3 و میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح آماری ۵٪ مورد مقایسه قرار گرفتند.

1- Specific Leaf Area

2- Relative Leaf Expansion Rate

3- Relative Leaf Length Rate

نتایج

تعداد، سطح و وزن برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که سطوح مختلف تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری (P≤۰/۰۱) بر تعداد، سطح و وزن خشک برگ نوروزک داشتند. علی‌رغم تخلیه محتوای رطوبت خاک گلدان‌ها به میزان ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب (تنش متوسط)، تعداد برگ در بوته تحت تأثیر قرار نگرفت، اما در این سطح تنش، سطح برگ در بوته به میزان ۴۰ درصد در مقایسه با شاهد کاهش یافت. با کاهش پتانسیل آب خاک به ۱/۹۲- مگاپاسکال (تنش شدید)، تعداد برگ در تیمارهای ۲۵R و ۲۵D به‌ترتیب با ۱۰/۸ و ۸/۹ برگ به میزان ۲۴ و۳۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. کمترین میانگین سطح برگ در تنش شدید (۲۵D) مشاهده شد که در مقایسه با تیمار شاهد ۸۶ درصد کاهش نشان داد. با وجود این گیاهانی که در این سطح تنش (۲۵R) تا ۱۰۰ درصد WHC آبیاری شده بودند، تنها ۶۰ درصد کاهش نسبت به شاهد داشتند (جدول ۲). تغییرات وزن خشک برگ‌های سبز تحت تأثیر تیمارهای مختلف تنش آب، روند مشابهی با سطح برگ نشان دادند (جدول ۲)، بیشترین میانگین وزن خشک برگ‌های زرد (۰/۴۸ گرم در گیاه) و نیز بالاترین نسبت وزن خشک برگ‌های زرد به سبز (۵۷ درصد) در تیمار ۵۰R حاصل گردید. نتایج همچنین نشان دادند بیشترین وزن خشک کل برگ‌ها در تیمار شاهد مشاهده گردید که علی‌رغم کاهش معنی‌دار میزان کلروفیل، تفاوت معنی‌داری با تیمارهای تنش ملایم نداشت. وزن خشک کل برگ‌ها در تیمارهای تنش شدید ۲۵R و ۲۵D به‌ترتیب به میزان ۵۰ و ۸۷ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت.

سطح ویژه برگ، سرعت رشد نسبی طول و سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس و میانگین مربعات نشان داد که صفات SLA، RLLR و RLER به‌طور معنی‌داری (P≤۰/۰۱) تحت تأثیر تیمارهای کمبود آب قرار گرفتند. مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که SLA تا ۵۰ درصد تخلیه رطوبت خاک تحت تأثیر قرار نگرفت اما بیشترین SLA به میزان ۱۳۵ سانتی‌متر مربع بر گرم در پتانسیل ۰/۱۳۸- مگاپاسکال حاصل گردید که تنها با تیمارهای تنش شدید (۱/۹۲- مگاپاسکال) تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۲).

سرعت رشد نسبی طول برگ به‌طور معنی‌داری تحت شرایط تنش کاهش یافت. این شاخص در تیمار شاهد به‌ترتیب به میزان ۲/۲ و ۳/۶ برابر تیمارهای تنش شدید ۲۵R و ۲۵D بود. با وجود این RLLR بین تیمارهای تنش ثابت و بازیافت تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. نتایج نشان داد که سرعت رشد نسبی سطح برگ تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال تنها به میزان ۲۵ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند، در حالی‌که با افزایش شدت تنش به میزان ۱/۹۲- مگاپاسکال، این شاخص به‌ترتیب به میزان ۲ و ۸ برابر در تیمارهای ۲۵R و ۲۵D کاهش یافت (جدول ۲).

شکل ۲ نشان می‌دهد که RLER بین تیمارهای شاهد و تنش ملایم از ابتدای رشد تا ۴۵ روز پس از اعمال تنش تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، علاوه بر این میانگین RLER در تیمار بازیافت گیاه پس از تنش شدید (۲۵R) تفاوت معنی‌داری را با تیمارهای تنش متوسط (۵۰R و ۵۰D) در بازه زمانی ۰ تا ۳۰ روز پس از اعمال تنش نشان ندادند. اما RLER در تیمار ۲۵D در بازه زمانی فوق با شیب تندی کاهش یافت. نتایج حاکی از همبستگی قوی بین وزن خشک برگ با شاخص‌های SLA (۰/۸۸*)، RLLR (۰/۹۷**) و RLER (۰/۹۸**) بود (جدول ۴).

ریشه و نسبت ریشه به برگ

سطوح مختلف تنش کمبود آب تأثیر معنی‌داری بر طول ریشه گیاه نوروزک نداشتند (جدول ۲). نتایج همچنین نشان دادند که وزن خشک ریشه‌ها و نیز قطر طوقه تا سطوح ملایم تنش رطوبتی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار نگرفت. با افزایش شدت تنش، درصد کاهش وزن خشک ریشه‌ها در تیمار شدید تنش (۲۵D) در مقایسه با شاهد تنها به میزان ۲۵ درصد بود، لذا کاهش بیشتر وزن خشک برگ در مقایسه با ریشه در این سطح تنش منجر به افزایش معنی‌دار نسبت ریشه به برگ به میزان ۴/۳ برابر شاهد گردید (جدول ۲).

کارآیی مصرف آب در طول دوره رشد[1] (WUE)

کاهش محتوای رطوبت خاک تا ۵۰ درصد WHC، منجر به افزایش معنی‌داری کارآیی مصرف آب نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۲)، اما این تفاوت در سطوح پایین تنش معنی‌دار نبود. کاهش قابل‌ملاحظه وزن خشک کل در مقایسه با تعرق تجمعی در تیمار ۲۵D، باعث شد تا این شاخص به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با وجود این WUE در گیاهانی که پس از قرار گرفتن در تنش‌های ملایم تا شدید، تا ۱۰۰ درصد WHC آبیاری شدند (تیمارهای بازیافت) به‌دلیل افزایش قابل‌ملاحظه میزان تعرق تجمعی در مقایسه با همین سطوح در تنش ثابت، تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند (جدول ۲). با کاهش رطوبت خاک، تعرق نیز به‌تدریج کاهش یافت و کمترین میزان تعرق در پتانسیل ۱/۹- مگاپاسکال تنش ثابت مشاهده شد (شکل ۲).

1- Water Use Efficiency

جدول ۲- مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در عکس‌العمل به تیمارهای مختلف تنش کمبود آب

صفات	تیمارهای بازیافت				تیمارهای کمبود آب			
	شاهد	تنش ملایم	تنش متوسط	تنش شدید	تنش ملایم	تنش متوسط	تنش شدید	LSD (۰/۰۵)
تعداد برگ	۱۴/۲	۱۳/۸	۱۲/۱	۱۰/۸	۱۲/۲	۱۱/۹	۸/۹	۲/۶
سطح برگ (cm^2)	۱۴۹/۲	۱۵۴	۸۹/۹	۵۸/۸	۱۶۱/۲	۸۷/۸	۲۱	۳۴/۹
وزن خشک برگ‌های سبز (g)	۱/۴۴	۱/۳۵	۰/۸۳	۰/۶۷	۱/۳۷	۰/۹۴	۰/۲۱	۰/۳۱
وزن خشک برگ‌های زرد (g)	۰/۳۷	۰/۲۲	۰/۴۸	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۰۳	۰/۱۲
وزن خشک کل (g)	۱/۸۱	۱/۵۷	۱/۳۱	۰/۹۰	۱/۶۴	۱/۱۱	۰/۲۴	۰/۳۶
سطح ویژه برگ(cm^{-2} g)	۱۲۹	۱۳۵	۱۳۰	۱۱۳	۱۳۶	۱۳۰	۱۰۵	۱۹
سرعت رشد نسبی طول برگ ($mm\ mm^{-1}\ day^{-1}$)	۰/۰۷۹	۰/۰۷۸	۰/۰۵۸	۰/۰۳۶	۰/۰۶۸	۰/۰۵۸	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷
سرعت رشد نسبی سطح برگ ($cm^2\ cm^{-2}\ day^{-1}$)	۰/۰۱۶	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۷	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
طول ریشه (cm)	۴۶/۱	۴۳/۳	۴۴/۴	۴۰/۰	۴۲/۲	۴۴/۸	۳۰/۶	۱۹/۲
وزن ریشه (g)	۵/۰۵	۵/۲۵	۳/۸۴	۳/۷۹	۴/۹۹	۳/۸۴	۰/۹۶	۰/۸۸
قطر طوقه (mm)	۱۰/۶	۱۰/۰	۸/۴	۸/۲	۹/۵	۸/۲	۴/۵	۱/۹
نسبت وزن ریشه به برگ	۲/۸	۳/۴	۳/۰	۳/۹	۳/۱	۳/۶	۴/۳	۱/۴
تعرق تجمعی ($kg\ H_2O\ plant^{-1}$)	۱/۹۸	۱/۵۷	۱/۰۳	۰/۸۴	۱/۵۱	۰/۸۶	۰/۶۲	۰/۱۵
کارآیی مصرف آب ($g\ kg^{-1}$)	۰/۹۱	۱/۰۰	۱/۲۷	۱/۱	۱/۰۹	۱/۲۹	۰/۳۹	۰/۳۳

محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی

اختلاف غلظت کلروفیل a، b، مجموع کلروفیل a و b و نیز کارتنوئیدهای کل در بین سطوح مختلف تیمارهای تنش معنی‌دار بود (جدول ۳). تنش ملایم موجب افزایش معنی‌دار کلروفیل a، b، مجموع کلروفیل a و b در مقایسه با شاهد گردید. به‌نظر می‌رسد کاهش رنگیزه‌های فتوسنتزی در شاهد به‌دلیل حساسیت گیاه به محتوای بالای آب خاک باشد. نتایج همچنین نشان داد مجموع کلروفیل a و b تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال (تنش متوسط) افزایش یافته و تفاوت معنی‌داری با شاهد داشتند، اما با افزایش شدت تنش به ۱/۹۲- مگاپاسکال، محتوای رنگیزه‌های فوق به‌ترتیب به‌میزان ۸ و ۱۲/۶ درصد در مقایسه با شاهد کاهش نشان دادند. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود نسبت کلروفیل a به b در سطوح مختلف تنش تحت تأثیر قرار نگرفت، اما تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار غلظت کارتنوئیدهای کل و نیز نسبت کارتنوئید کل به مجموع کلروفیل a و b به‌ترتیب به میزان ۱۷ و ۳۲ درصد نسبت به شاهد شد. شاخص پایداری کلروفیل (CSI) تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال نه تنها کاهش نیافت بلکه در تیمار بازیافت (۵۰R) به‌طور معنی‌داری بیشتر از شاهد بود. با کاهش پتانسیل آب خاک به ۱/۹۲- مگاپاسکال، CSI به‌ترتیب در تیمارهای ۲۵R و ۲۵D تنها به میزان ۶ و ۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافتند. نتایج همچنین بیانگر همبستگی قوی CSI با محتوای کلروفیل a، b و نیز غلظت کارتنوئید کل بود (جدول ۴).

بحث

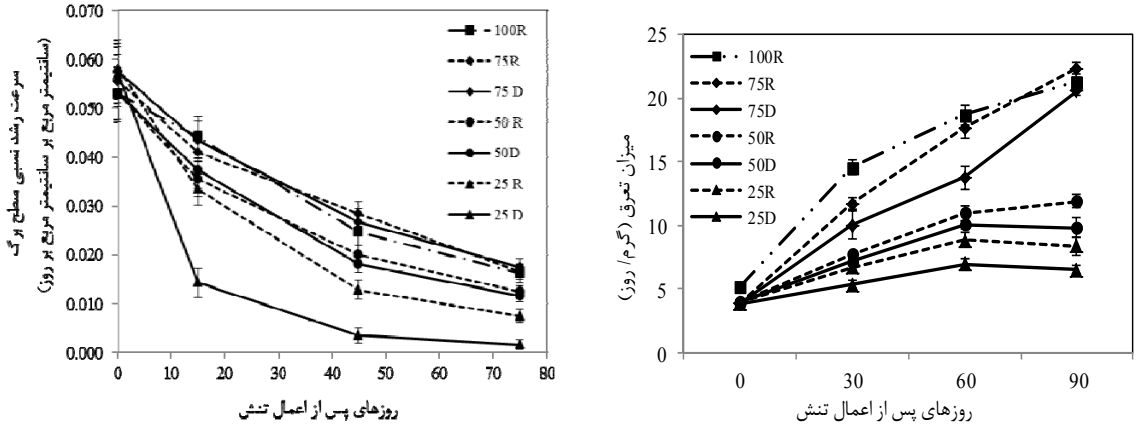
نتایج نشان داد که تنش کمبود آبیاری تأثیر معنی‌داری بر کلیه صفات مورد مطالعه در مقایسه با تیمار شاهد داشت. با وجود این صفات مورد بررسی بین تیمارهای تنش رطوبتی ثابت و تیمارهای بازیافت تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال (تنش متوسط) تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. با کاهش پتانسیل آب خاک به ۱/۹۲- مگاپاسکال، این تفاوت در اکثر صفات معنی‌دار شد. تنش ملایم خشکی تنها منجر به کاهش معنی‌دار تعرق تجمعی، وزن خشک برگ‌های زرد و نیز افزایش میزان کلروفیل a، b و کل در مقایسه با شاهد گردید و در سایر صفات این تفاوت معنی‌دار نبود. با افزایش شدت تنش به بیش از ۰/۵۱۶- مگاپاسگال تعداد و سطح برگ، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه به‌طور معنی‌داری ($P\leq 0/05$) کاهش یافت که شاید دلیل آن کاهش قابل‌ملاحظه سرعت رشد گیاه و کاهش سطح فتوسنتزی باشد (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های کیرناک و همکاران (۲۱) و خلید (۲۰) مطابقت دارد.

کاهش تعداد برگ به‌دلیل افزایش تجمع اتیلن و پیری زودرس گیاه در زمان بروز تنش می‌تواند به‌عنوان راهکاری در کاهش تعرق و فرار از تنش باشد. علاوه بر این کاهش سطح برگ نیز از نظر تئوری مکانیسم سازگاری مهمی است که گیاهان با کاهش تقسیم و توسعه سلولی در مواجهه با محدودیت دسترسی به آب اتخاذ می‌کنند (۳۲). ترحمی و همکاران (۲) نشان دادند که با کاهش پتانسیل آب خاک از ۲- به ۸- بار، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی نوروزک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. لباسچی و شریفی عاشور آبادی (۷) نیز نتیجه گرفتند که بیشترین وزن خشک اندام‌های هوایی گیاه مریم گلی (*Salvia officinalis*) به میزان ۴/۱۸ گرم در شرایط آبیاری کامل و کمترین آن را با ۰/۳۳ گرم در تیمار ۲۵ درصد ظرفیت زراعی بود که در مقایسه با شاهد ۹۲ درصد کاهش یافت. سیمون و همکاران (۳۰) نیز گزارش کردند که با کاهش پتانسیل آب برگ از ۰/۳- مگاپاسکال متوسط وزن خشک برگ و ساقه گیاه ریحان به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.

طبق یافته‌های این تحقیق، کاهش بیشتر وزن خشک اندام‌های هوایی در مقایسه با ریشه در سطوح بالای تنش، منجر به افزایش معنی‌دار نسبت ریشه به اندام‌های هوایی به میزان ۴/۳ برابر شاهد گردید. بالا بودن این نسبت در تیمارهای تنش بیانگر این واقعیت است که گیاه در شرایط تنش خشکی و به‌ویژه در سال‌های اول رشد، سهم بیشتری از تولید بیوماس را به‌منظور استقرار به ریشه اختصاص می‌دهد. این صفت در مناطق خشک و نیمه‌خشک راهکاری برای مواجهه با تنش‌های کوتاه و دراز مدت است (۳، ۵، ۶ و ۲۱). لباسچی و شریفی عاشورآبادی (۷) با مطالعه تأثیر تنش کمبود رطوبت روی گیاه مریم گلی نتیجه گرفتند که طول و وزن خشک ریشه‌ها تا تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی تحت تأثیر قرار نگرفتند اما با افزایش تنش به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند.

جدول ۳- مقایسه میانگین محتوای رنگیزه‌های کلروفیل و کارتنوئید کل گیاه نوروزک در تیمارهای مختلف تنش کمبود آب

تیمارهای تنش	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید کل	نسبت کلروفیل a به b	نسبت کارتنوئید کل به کلروفیل کل	شاخص پایداری کلروفیل
	($\mu g\ gFW^{-1}$)						
تیمارهای بازیافت							
شاهد	۸۹۲	۳۷۷	۱۲۶۹	۱۹۰	۲/۳۷	۰/۱۴۹	۱/۰۰
تنش ملایم	۹۲۲	۳۹۵	۱۳۱۶	۱۹۲	۲/۳۳	۰/۱۴۵	۱/۰۴
تنش متوسط	۸۹۹	۴۰۶	۱۳۰۵	۲۰۱	۲/۲۱	۰/۱۵۴	۱/۰۳
تنش شدید	۸۳۲	۳۶۶	۱۱۹۸	۲۱۲	۲/۲۷	۰/۱۷۷	۰/۹۴
تیمارهای کمبود آب							
تنش ملایم	۹۲۵	۴۰۶	۱۳۳۱	۱۹۳	۲/۲۸	۰/۱۴۵	۱/۰۵
تنش متوسط	۸۷۸	۴۰۵	۱۲۸۴	۲۰۵	۲/۱۷	۰/۱۶۰	۱/۰۱
تنش شدید	۸۰۹	۳۵۴	۱۱۶۳	۲۲۹	۲/۲۹	۰/۱۹۷	۰/۹۲
LSD (۰/۰۵)	۲۰/۷	۱۱/۴	۱۳/۷	۱۰	۰/۲	۰/۰۰۸	۰/۰۱۲



شکل ۲- تغییرات سرعت رشد نسبی سطح برگ و میزان تعرق در سطوح مختلف تنش آب گیاه نوروزک

جدول ٤- ضرایب همبستگی بین شاخص‌های رشد مورد مطالعه در گیاه نوروزک

	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥
۱- تعداد برگ	-														
۲- سطح برگ	۰/۸۹**	-													
۳- وزن برگ	۰/۹۳ **	۰/۹۸***	-												
۴- سطح ویژه برگ	۰/۸۴ **	۰/۸۹ **	۰/۸۸ **	-											
۵- سرعت رشد نسبی طول برگ	۰/۹۷***	۰/۹۵***	۰/۹۷***	۰/۹۱**	-										
۶- سرعت رشد نسبی سطح برگ	۰/۹۲**	۰/۹۸***	۰/۹۸***	۰/۹۵***	۰/۹۷***	-									
۷- نسبت ریشه به برگ	-۰/۸۳**	- ۰/۸۰*	- ۰/۸۱*	- ۰/۸۱*	- ۰/۸۴*	- ۰/۸۳*	-								
۸- تعرق تجمعی	۰/۹۱**	۰/۸۸**	۰/۸۹**	۰/۶۴ns	۰/۸۹**	۰/۸۲*	-۰/۷۸*	-							
۹- کارایی مصرف آب	۰/۵۰ns	۰/۴۷ns	۰/۵۱ns	۰/۷۲ns	۰/۵۱ns	۰/۶۴ns	-۰/۵۸ns	۰/۱۷ns	-						
۱۰- کلروفیل a	۰/۸۳*	۰/۹۲**	۰/۸۹**	۰/۹۸***	۰/۹۱**	۰/۹۵***	-۰/۸۲*	۰/۶۹ns	۰/۶۴ns	-					
۱۱- کلروفیل b	۰/۵۴ns	۰/۶۱ ns	۰/۵۹ ns	۰/۸۹ **	۰/۶۴ ns	۰/۷۲ ns	-۰/۶۵ ns	۰/۲۵ ns	۰/۸۵ **	۰/۸۴ *	-				
۱۲- کارتنوئید کل	-۰/۹۵***	-۰/۹۶***	-۰/۹۷***	-۰/۹۱**	-۰/۹۷***	-۰/۹۹***	-۰/۸۸**	-۰/۸۶**	-۰/۶۲ ns	-۰/۹۲**	-۰/۶۷ ns	-			
۱۳- نسبت کلروفیل a به b	۰/۳۸ ns	۰/۴۱ ns	۰/۳۸ ns	۰/۰۲ ns	۰/۳۳ ns	۰/۳۴ ns	-۰/۱۸ ns	۰/۶۹ ns	-۰/۵۲ ns	۰/۱۰ ns	-۰/۳۵ ns	-۰/۳۹ ns	-		
۱۴- کلروفیل کل	۰/۷۶*	۰/۸۵**	۰/۸۲*	۰/۹۹***	۰/۸۵*	۰/۹۱**	-۰/۷۹*	۰/۵۷ ns	۰/۷۴ ns	۰/۹۸***	۰/۹۳**	-۰/۸۷**	-۰/۰۹ ns	-	
۱۵- نسبت کارتنوئید به کلروفیل	-۰/۹۰**	-۰/۹۳**	-۰/۹۴***	-۰/۹۸***	-۰/۹۵***	-۰/۹۸***	۰/۸۷**	-۰/۷۵*	-۰/۷۲ ns	-۰/۹۷***	-۰/۸۱*	-۰/۹۷***	-۰/۱۰ ns	-۰/۹۵***	-
۱۶- شاخص پایداری کلروفیل	۰/۷۵*	۰/۸۲*	۰/۸۰*	۰/۹۸***	۰/۸۵**	۰/۹۰**	-۰/۷۹*	۰/۵۷ ns	۰/۷۱ ns	۰/۹۸ ***	۰/۹۲ **	-۰/۸۵**	-۰/۰۷ ns	۰/۹۹***	-۰/۹۳***

ns غیر معنی‌دار * معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ ** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۱ *** معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۰۱

کاهش معنی‌دار سطح ویژه برگ (SLA) در تیمار ۲۵D به‌دلیل کاهش بیشتر سطح برگ در مقایسه با وزن خشک و در نتیجه افزایش ضخامت برگ‌ها در این سطح تنش می‌باشد. ژانگ و همکاران (۳۵) نیز با مطالعه تأثیر توأم درجه حرارت و تنش کمبود آب در دو واریته گندم (*Triticum aestivum*)، کاهش بیشتر SLA را در شرایط کمبود آب در مقایسه با حرارت بالا گزارش کردند. عباسی (۵) نیز نشان داد که با افزایش شدت تنش از شاهد تا ۵- بار، SLA در گیاه *Aeluropus* spp. کاهش می‌یابد. نتایج مشابهی از کاهش SLA در اثر تنش خشکی در گیاه ریحان (۳)، نعناع (۲۷)، کاکوتی (*Ziziphora clinopodioides*) و آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) (۶) گزارش شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش شدت تنش به ۱/۹۲- مگاپاسکال سرعت رشد نسبی سطح برگ به‌ترتیب به میزان ۲ و ۸ برابر در تیمارهای ۲۵R و ۲۵D کاهش یافت. کیرناک و همکاران (۲۱) نیز نشان دادند که در بادنجان، RLER در ۴۰ درصد ظرفیت نگهداری گلدان به میزان ۷۵ درصد نسبت به شاهد کاهش می‌یابد. آنها معتقدند کاهش رشد گیاه، عملکرد کیفی و کمی میوه بادنجان در اثر تنش کمبود آب، مرتبط با کاهش RLER و تعرق بود. نتایج این تحقیق نشان داد که کارآیی مصرف آب با افزایش شدت تنش تا پتانسیل ۰/۵۱۶- مگاپاسکال به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و پس از آن با کاهش قابل‌ملاحظه وزن خشک کل کاهش یافت. با وجود این لیو و استوزل (۲۰۰۴) نتیجه گرفتند که کارآیی مصرف آب در گونه‌های مختلف تاج خروس (*Amaranthus spp.*) تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. آنها همچنین همبستگی منفی بین SLA و WUE در شرایط بدون تنش گزارش کردند (۲۴).

وجود همبستگی معنی‌دار بین سرعت رشد نسبی سطح برگ (* ۰/۸۲) و نسبت ریشه به برگ (*۰/۷۸-) با میزان تعرق تجمعی (جدول ۴) نشان می‌دهد که میزان تعرق گیاه در تنش کمبود شدید آب به‌دلیل کاهش سطح فتوسنتزی و به تبع آن کاهش جذب آب کاهش یافت (شکل ۲). این نتایج موافق با یافته‌های سالیندرا و مینزر (۲۹) مبنی بر افزایش گرادیان فشار هیدرواستاتیکی بین خاک و آوندهای ریشه و در نتیجه کاهش تعرق و هدایت روزنه‌ای در اثر تنش خشکی است. تریلو و فرناندز (۳۱) نیز نشان دادند که خشکی شدید (۲۵ درصد آب قابل دسترس خاک)، هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه (ریزوسفر و ریشه) در گندم را به میزان ۸۰ درصد کاهش داد.

محتوای کلروفیل نسبی یک رابطه مثبت با نرخ فتوسنتز دارد. کاهش محتوای کلروفیل برگ تحت تنش خشکی یک علامت معمول از تنش اکسیداتیو بوده و ممکن است در نتیجه اکسیداسیون نوری رنگدانه و تخریب کلروفیل باشد. تنش‌های ملایم تا متوسط در گیاه نوروزک باعث تخریب ساختار کلروفیل نشد، اما در سطوح شدید تنش (پتانسیل ۱/۹۲- مگاپاسکال) محتوای کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. با وجود این ترحمی و همکاران (۱۳۸۹) نتیجه گرفتند که با کاهش پتانسیل آب خاک به کمتر از ۰/۲- مگاپاسکال مقدار کلروفیل a و b در گیاه نوروزک به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که با یافته‌های این تحقیق در سطوح ملایم و متوسط تنش مغایرت داشت. گزارشات متعددی مبنی بر کاهش غلظت کلروفیل تحت تنش خشکی در گیاهان ریحان (۳)، بادرشبویه (۴)، کنجد (*Sesamum indicum* L.) (۱۷) و بادنجان (*Solanum melongena*) (۲۱) ارائه شده است.

نتایج نشان دادند که نسبت کلروفیل a به b در سطوح مختلف تنش تحت تأثیر قرار نگرفت. با وجود این افزایش این نسبت در لوبیا سودانی (*Cajanus cajan*) (۲۲) و کاهش آن در کنجد (۱۷) گزارش شده است. آنتولین و همکاران (۱۰) نیز گزارش نمودند که با افزایش تنش خشکی میزان کلروفیل برگ در یونجه کاهش، ولی نسبت کلروفیل a به b افزایش یافت. آنها اظهار داشتند افزایش این نسبت موجب تیره شدن برگ‌ها و افزایش عدد کلروفیل‌متر خواهد شد. معصومی (۸) نیز نشان داد تنش خشکی باعث افزایش رنگیزه‌های فتوسنتزی در کوشیا (*Kochia scoparia*) شده و بالابودن میزان کلروفیل را به کاهش محتوای آب سلولی در تیمارهای تنش مربوط دانست. محتوای کلروفیل کل برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری با SLA (** ۰/۹۹) و نیز سرعت رشد نسبی سطح برگ (** ۰/۹۱) نشان داد، اما همبستگی منفی و معنی‌دار بین SLA و غلظت کارتنوئید کل (** ۰/۹۱-) ثابت می‌کند که گیاه در شرایط تنش علی‌رغم کاهش سطح و سرعت رشد برگ به‌منظور مقابله با تنش خشکی، محتوای کارتنوئیدهای خود را افزایش می‌دهد (جدول ۴). لذا چنین به‌نظر می‌رسد که گیاه در این شرایط مکانیسمی جهت مقابله با اکسیداسیون نوری و محافظت از کلروفیل‌ها در برابر تنش اکسیداتیو اتخاذ نموده است. نتایج آزمایش حاکی از آن است که محتوای آب خاک در سطح ۱۰۰ درصد WHC می‌توانند منجر به کاهش معنی‌داری در غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی شود. کولاکو و هاریسون (۱۳) کاهش محتوای کلروفیل را در اثر تنش غرقابی در گندم گزارش کردند. نتایج مشابهی روی ذرت (۲۶) و *Vigna sinensis* (۳۴) گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج نشان دادند که افزایش قابل‌ملاحظه نسبت ریشه به اندام‌های هوایی و شاید وجود کرک فراوان در برگ‌ها باعث گردید تا علی‌رغم کاهش پتانسیل ماتریکی تا ۵۰ درصد ظرفیت نگهداری آب خاک (۰/۵۱۶- مگاپاسکال) صفات مورد مطالعه در

تیمارهای تنش رطوبتی ثابت تفاوت معنی‌داری با تیمارهای بازیافت نداشته باشند. با وجود این حساسیت گیاه در شرایط فراهمی آب قابل دسترس منجر به کاهش برخی از شاخص‌های رشد گردید. به‌نظر می‌رسد که افزایش غلظت کلروفیل در سطوح ملایم تا متوسط تنش و نیز افزایش کارتنوئیدهای کل در شرایط تنش شدید خشکی (پتانسیل ۱/۹۲- مگاپاسکال) می‌توانند مکانیسم‌هایی جهت مقابله با اکسیداسیون نوری و محافظت از کلروفیل‌ها در برابر تنش اکسیداتیو باشند.

منابع

۱- اردکانی، م.، ب. عباس زاده، الف. شریفی عاشورآبادی، م. ح. لباسچی، و ف. پاک نژاد. ۱۳۸۶. بررسی اثر کمبود آب بر کمیت و کیفیت گیاه بادرنجبویه (*Melissa officinalis* L.). فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۳ (۲): ۲۶۱-۲۵۱.

۲- ترحمی، گ.، م. لاهوتی، و ف. عباسی. ۱۳۸۹. بررسی اثرات ناشی از تنش خشکی بر روی تغییرات قندهای محلول، میزان کلروفیل و پتاسیم در گیاه نوروزک (*Salvia leriifolia Benth.*). فصلنامه علوم زیستی دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان ۹(۲): ۷-۱.

۳- حسنی، ع. ، و ر. امیدبیگی. ۱۳۸۱. اثرات تنش آبی بر برخی خصوصیات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و متابولیکی گیاه ریحان. مجله دانش کشاورزی ۳: ۵۹- ۴۷.

۴- صفی خانی، ف.، ح. حیدری شریف آباد، س. ع. سیادت، الف. شریفی عاشورآبادی، س. م. سید نژاد، و ب. عباس زاده. ۱۳۸۶. تأثیر تنش خشکی بر درصد و عملکرد اسانس و ویژگیهای فیزیولوژیک گیاه دارویی بادرشبو (*Dracocephalum moldavica* L). فصلنامهٔ تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۳(۱) : ۹۹-۸۸.

۵- عباسی، ف. ۱۳۸۲. مطالعه اثرات سطوح مختلف شوری و خشکی بر خصوصیات رشد و جنبه های فیزیولوژیکی گیاه *Aeluropus* spp.. رساله دکتری زیست شناسی گیاهی (فیزیولوژی گیاهی). دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

۶- کوچکی، ع.، م. نصیری محلاتی، و گ. عزیزی. ۱۳۸۳. تاثیر تنش خشکی و برگ زدایی بر برخی خصوصیات کمی آویشن شیرازی، کاکوتی، آویشن باغی و کلپوره. مجله پژوهشهای زراعی ایران ۲(۱). ۱۰۵-۸۹.

۷- لباسچی، م. ح.، و الف، شریفی عاشور آبادی. ۱۳۸۳. شاخص های رشد برخی گونه های گیاهان دارویی در شرایط مختلف تنش خشکی. فصلنامه تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران ۲۰(۳): ۲۶۱-۲۴۹.

۸- معصومی، ع. ۱۳۸۹. اثر تنش خشکی بر پارامترهای مورفوفیزیولوژیک دو توده بومی کوشیا (*Kochia scoparia*) در شرایط مزرعه و گلخانه. پایان نامه دکتری رشته زراعت، گرایش فیزیولوژی گیاهان زراعی. دانشگاه فردوسی مشهد.

9- Anjum, S. A., X. Y. Xie, L. C. Wang, M. F. Saleem, C. Man, and W. Lei. 2011. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. African Journal of Agricultural Research 6 (9): 2026-2032.

10- Antolin, M. C., J. Yoller, and M. Sanchez- Diaz. 1995. Effect of temporary drought on nitrate – fed and nitrogen – fixing alfalfa plants. Plant Science 107: 159-165.

11- Asadi, S., M. H. Lebaschy, A. Khourgami, and A. H. Shirani Rad. 2012. Effect of drought stress on the morphology of three Salvia sclarea populations. Annals of Biological Research 3 (9): 4503-4507.

12- Begg, J. E., and N. C. Turner. 1976. Advance Agronomy 28: 161-217.

13- Collaku, A., and S. A. Harrison. 2002. Losses in wheat due to waterlogging. Crop Science 42: 444-450.

14- Demirevska, K., D. Zasheva, R. Dimitrov, L. Simova-Stoilova, M. Stamenova, and U. Feller. 2009. Drought stress effects on Rubisco in wheat: changes in the Rubisco large subunit. Acta Physiologiae Plant 31: 1129-1138.

15- Efeoğlu, B., Y. Ekmekçi, and N. Çiçek. 2009. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. South African Journal of Botany 75: 34-42.

16- Farooq, M., A. Wahid, N. Kobayashi, D. Fujita, and S. M. A. Basra. 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Agronomy for Sustainable Development 29: 185-212.

17- Hassanzadeh, M., A. Ebadi, M. Panahyan-e-Kivi, A. G. Eshghi, S. H. Jamaati-e-somarin, M. Saeidi, and R. Zabihie- Mahmoodabad. 2009. Evaluation of drought stress on Relative water content and chlorophyll content of Sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes at early flowering stage. Research Journal of Environmental Science 3 (3): 345-360.

18- Hosseinzadeh, H., H. R. Sadeghnia, M. Imenshahidi, and B. S. Fazly Bazzaz. 2009. Review of the Pharmacological and Toxicological Effects of *Salvia leriifolia*. Iranian Journal of Basic Medical Sciences 12 (1): 1-8.

19- Jalili, A. and Z. Jamzad. 1999. Red Data Book of Iran. Research Institute of Forest and Rangeland. No. 215.

20- Khalid, K. H. A. 2006. Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of Herb (*Ocimum sp.*). Agrophysics 20: 289-296.

21- Kirnak, H., C. Kaya, I. Tas, and D. Higgs. 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. Bulgarian Journal of Plant Physiology 27 (3-4): 34-46.

22- Kumar, R. R., K. Krishna, and G. R. Naik. 2011. Effect of polyethylene glycol induced water stress on physiological and biochemical responses in Pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). Recent Research in Science and Technology 3 (1): 148-152.
23- Lichtenthaler, H. K., and A. R. Wellburn, 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b in leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions 11: 591-592.
24- Liu, F., and H. Stützel. 2004. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable Amarant (*Amaranthus spp*.) in response to drought stress. Scientia Horticulturae 102: 15-27.
25- Misra, A., and N. K. Sricastatva, 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants 7: 51-58.
26- Prasad, S., P. C. Ram, S. Uma. 2004. Effect of waterlogging duration on chlorophyll content, nitrate reductase activity, soluble sugars and grain yield of maize. Annals of Plant Physiology 18 (1): 1-5.
27- Ram, M., D. Ram, and S. Singh. 1995. Irrigation and nitrogen requirement of Bergamot mint on a sandy soil under sub-tropical conditions. Journal of Horticultural Science 27: 45-54.
28- Rechinger. K. H. 1982. Flora Iranica, No. 150.: Akademische Druk-U. Verlag sustalt Gratz. Page 439.
29- Saliendra, N. Z., and F. C. Meinzer, 1989. Relationship between root soil hydraulic properties and stomatal behaviour in Sugarcane. Australian Journal of Plant Physiology 16: 241-250.
30- Simon, J. E., R. D. Bubenheim, R. J. Joly, and D. J. Charles. 1992. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research 4: 71-75.
31- Trillo, N., and R. J. Fernandez. 2005. Wheat plant hydraulic properties under prolonged experimental drought: Stronger decline in root-system conductance than in leaf area. Plant and Soil 277: 277-284.
32- Xia, M. Z. 1994. Effects of soil drought during the generative development phase of Faba bean (*Vicia faba*) on photosynthetic characters and biomass production. The Journal of Agicultural Science 122: 67-72.
33- Yaniv, Z., and D. Palevitch. 1982. Effect of drought on secondary metabolites of medicinal and aromatic plants- a review. In: Cultivation and utilization of medicinal plants. Atal, C.K. and Kapur, B.M. eds. Jammu, Regional Research Laboratory (CSIR), 1-12.
34- Younis, M. E., O. A. El-Shahaby, M. M. Nemat Alla, Z. M. Bastawisy, and K. Kinetin. 2003. Alleviates the influence of waterlogging and salinity on growth and affects the reduction of plant growth regulators in *Vigna sinensis* and *Zea mays*, Agronomie 23: 277-285.
35- Zhang, B., W. Liu, S. X. Chang, A. O. Anyia. 2010. Water-deficit and high temperature affected water use efficiency and Arabinoxylan concentration in spring wheat. Journal of Cereal Science 52: 263-269.