مجله زیست فناوری گیاهان دارویی
سال ششم، شماره اول، بهار و تابستان، ۱۳۹۹

اثر رژیم کم آبیاری بر شاخص های زیستی دوتوده بومی گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi* L.)

مجید جامی الاحمدی[۱*]، علی شهیدی[۲]، راضیه کلاته بجدی[۳]

چکیده

کم‌آبیاری یکی از شیوه‌های جدید برای کاهش میزان اثرات تنش خشکی است چراکه میزان آب در دسترس را می‌توان به‌صورت مدیریت‌شده در طول دوره رشد در اختیار گیاه قرار داد. به‌منظور بررسی تأثیر کم‌آبیاری بر دو توده بومی گیاه دارویی زنیان، آزمایش فاکتوریلی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند انجام شد. فاکتورهاي موردمطالعه شامل کم‌آبیاری در سه سطح کمبود رطوبت خاک (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و دو توده زنیان بیرجند و سیستان بود. در این آزمایش صفات رویشی شامل ارتفاع بوته، سطح برگ، اجزای عملکرد (تعداد چتر در بوته و وزن هزار دانه) و عملکرد کمی و کیفی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بین دو توده موردمطالعه تفاوت بسیار معنی‌داری برای صفات موردبررسی وجود داشته است. همچنین نتایج نشان داد که با تغییر سطوح کم‌آبیاری از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد دانه، عملکرد اسانس، عملکرد بیولوژیک، وزن هزار دانه و تعداد چتر در بوته با کاهش همراه بوده است. بررسی اثرات متقابل نیز نشان داد که خصوصیات رشدی زنیان توده سیستان و همچنین عملکرد کمی و کیفی آن نسبت به توده بیرجند کمتر تحت تأثیر سطوح پایین کم‌آبیاری قرار گرفته است. در کل با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت توده سیستان در برابر کم‌آبیاری وضعیت بهتری دارد، هرچند درنهایت تفاوت معنی¬داری در عملکرد دانه، و نیز عملکرد اسانس، این دو توده مشاهده نشد.

کلمات کلیدی: کم‌آبیاری، زنیان، ارتفاع، وزن خشک، سطح برگ.

[۱]. * نویسنده مسئول: دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. ایمیل: mjamialahmadi@birjand.ac.ir

[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

[۳] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران

مقدمه

زنیان[1] (*Trachyspermum ammi* L.) گیاهی علفی و یک‌ساله از تیره چتریان[2] است که بومي مصر بوده و در نواحی مدیترانه و کشورهاي جنوب غربي آسیا نظیر ایران، عراق، افغانستان، پاکستان و هند کشت می‌شود (فرهی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳). در اسانس روغنی زنیان بیش از ۳۴ ترکیب (۹۹/۹۹ درصد) ازجمله تیمول، پاراسیمن، آلفاپینن، گاماترپینن و کارواکرول وجود دارد. این گیاه در طب نوین به‌عنوان ضدعفونی‌کننده قوي، تقویت جهاز هاضمه و در مصارف خارجي براي درمان رماتیسم و برخی بیماری‌های دیگر (مجنون حسینی و دوازده‌امامی، ۱۳۸۸؛ غفاری و همکاران، ۱۳۹۲) به کار مي‌رود.

تنوع آب و هوایي و شرایط اکولوژیك مختلف در ایران موجب گردیده است که کشورمان در زمره غنی‌ترین کشورهاي داراي منابع ارزشمند گیاهان دارویي و مستعد براي کشت و پرورش این گیاهان قرار گیرد که می‌توانند ارزش‌افزوده زیادی را در بخش کشاورزی ایجاد کنند، به‌ویژه که در حال حاضر کشور ایران به دلیل شرایط اقلیمی حاکم و خشک‌سالی‌های متوالی و بهره‌برداری نامناسب از منابع آبی، با کمبود آب در بخش کشاورزی مواجه است که پیش‌بینی می‌شود تداوم این امر طی چند دهه آینده به دلیل کاهش تولید اگرواکوسیستم‌های کشور، سبب بروز و تشدید معضلاتی همچون فقر، بیکاری، افزایش واردات، بحران امنیت غذایی و اجتماعی در کشور شود (Rhoades et al., 1992).

تنش خشکي مهم‌ترین عاملي است که در بیشتر مراحل رشد گیاهان زراعي در مناطق خشک و نیمه‌خشک با ایجاد محدودیت در رشد، دستیابي به عملکرد بالا را دشوار مي‌سازد. خشکی تقریباً همه فرایندهای رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، هرچند که پاسخ به تنش بستگی به‌شدت، سرعت و دوره در معرض قرار داشتن مرحله رشدی گیاه دارد (Brar et al., 1990). تنش آبی باعث ایجاد تغییرات زیادی در گیاهان می‌شود که در این بین رشد و توسعه سلولی به دلیل کاهش فشار تورگور در شرایط کم‌آبی یکی از حساس‌ترین فرایندهای فیزیولوژیکی به‌شمار می‌رود. معمولا اولین اثر ظاهري کم‌آبی بر روي گیاهان، کاهش سطح و تعداد برگ، ارتفاع گیاه و وزن خشک اندام هوایی است (Ahmad, 2016; Faroogh et al., 2009).

عموماً عقیده بر این است که متابولیت‌های ثانویه می‌توانند به محافظت گیاهان در برابر تنش‌های غیرزنده کمک نموده و مقادیر آن‌ها در شرایط نامساعد محیطی افزایش می‌یابد (Ramakrishna and Ravishankar, 2011)، ازاین‌رو شاید کاهش آب مصرفی در زراعت گیاهان دارویی از طریق کم‌آبیاری بتواند به‌عنوان روشی جهت افزایش سطوح متابولیت‌های ثانویه و درصد اسانس گیاهان دارویی و از طرف دیگر کاهش مصرف آب در مصارف کشاورزی بکار گرفته شود؛ گرچه چنین تیمارهایی می‌توانند تأثیرات منفی بر عملکرد نیز بگذارند. به‌طور مثال در گیاه دارویی بابونه آلمانی (*Matricaria recutita* L.) دیده شده است که تنش خشکی گرچه سبب کاهش معنی‌دار میانگین تمام صفات مورفولوژیک به‌جز طول ریشه گیاه گردید، اما بااین‌حال عملکرد اسانس در شرایط تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه) کاهش معنی‌داری نشان نداد (قائدی جشنی و موسوی نیک، ۱۳۹۴). هرچند در خصوص رازیانه، اعمال تنش خشکي در مرحله گلدهي و پر شدن دانه منجر به کاهش عملکرد دانه و راندمان مصرف آب براي تولید دانه نسبت به تیمار

[1] Ajowan
[2] Apiaceae

آبیاري مطلوب شد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۱). در خصوص زنیان نیز گزارش شده است که افزایش فواصل آبیاری از ۷ به ۱۴ روز منجر به کاهش تمامی صفات عملکردی گیاه زنیان، به‌جز درصد اسانس، در منطقه بیرجند شد، به‌نحوی‌که عملکرد دانه ۲۸/۵۹ درصد کاهش نشان داد و بر این اساس توصیه شده است که برای تولید بهینه زنیان بهتر است از آبیاری کامل استفاده گردد (وحیدی‌پور و برادران، ۱۳۹۱). در تحقیق دیگری در خصوص تأثیر سطوح مختلف تنش خشکی بر صفات رشدی، فیزیولوژیکی و متابولیت‌های ثانویه گیاه زنیان نیز دیده شد که با افزایش سطوح خشکی صفات رشدی و فیزیولوژیکی گیاه زنیان کاهش یافت، اما میزان کلروفیل و اسانس آن رو به افزایش گذاشت (Azhar et al., 2011). قراردهی گیاه دارویی بادرشبویه در معرض سطوح رطوبتی ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نشان داد که بیشترین میزان پرولین و کاهش رشد در تیمار ۴۰% ظرفیت زراعی حاصل شد. همچنین در طی بروز تنش از مقدار کلروفیل a کاسته وبر مقدار کلروفیل b افزوده شد (صفي‌خاني و همکاران، ۱۳۸۶). نتایج یک آزمایش گلخانه‌ای در خصوص تأثیرگذاری کمبود آب بر شاخص‌هاي مورفولوژيك و فیزیولوژیك گیاه زنیان نیز نشان داد که با افزایش تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته، تعداد شاخه جانبي، وزن خشك اندام رویشي و عملکرد بذر کاهش نشان داد، اما عملکرد اسانس، درصد اسانس، میزان پرولین و کربوهیدرات افزایش داشت. بیشترین میزان پرولین و کربوهیدرات در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعي (تنش شدید) و بیشترین عملکرد اسانس و درصد اسانس در ۷۰ درصد ظرفیت زراعي (تنش متوسط) مشاهده شد. همچنین تعداد ۲۱ ترکیب شیمیایي در هر دو اسانس بذر زنیان شناسایي شد که میزان ترکیب‌های اصلي اسانس تیمول، گاماترپینن و پاراسیمن در هر تیمار تغییر یافته بود (رضوي‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳).

متخصصین به‌نژادی گیاهی برای دستیابی به نمونه‌های ژنتیکی متحمل به دنبال تنوع ژنتیکی در منابع ژنی محصولات می‌باشند. توده‌ها منابع ژنتیکی مهمی برای بهبود محصولات در مناطق خشک هستند، زیرا مجموعه‌ای از سازگاری‌ها به شرایط ناملایم را طی مدت‌زمان طولانی کسب کرده‌اند (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۱۳۹۵). صادق‌زاده اهری و همکاران (۱۳۹۵) در دو شرایط بهینه و تنش آبی، تنوع ژنتیکی و وراثت‌پذیری چندین صفت زراعی را در ۲۰ توده شنبلیله ایرانی موردبررسی قرار داده گزارش کردند که تفاوت معنی‌داری در بین توده‌ها برای تمامی صفات، به‌جز شاخص برداشت، در شرایط تنش و تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در بوته و بیومس خشک در شرایط آبیاری وجود دارد. آن‌ها همچنین بیان داشتند که بیشترین میزان وراثت‌پذیری در هر دو شرایط برای صفات وزن هزار دانه، روز تا گلدهی و تیپ گیاهی وجود داشت.

استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی آب کشور، می‌تواند کمک شایان توجهی به صرفه‌جویی مصرف منابع آب کشور نماید. دراین‌بین تلفیق رهیافت‌های کم‌آبیاری، که مبتنی بر مصرف عامدانه و عالمانه کمتر آب به‌منظور بهینه‌سازی تولید در سامانه‌های زراعی است، با گیاهان کم‌توقع و باارزشی همچون گیاهان دارویی، می‌تواند کمک مؤثری در رسیدن به پایداری کشاورزی در مناطق گرم‌وخشک کشور باشد. با توجه به این‌که زنیان یکی از گیاهان دارویی مهم صادراتي کشور محسوب می‌شود، انجام پژوهش درباره واکنش این گیاه به سطوح مختلف رطوبتی به جهت دستیابی به حداکثر عملکرد با کمترین میزان آب مصرفی

حائز اهمیت است و بر همین اساس هدف اصلی پژوهش حاضر مطالعه پاسخ کمی و کیفی دو توده گیاه دارویی زنیان به سطوح رطوبتی بر عملکرد در شرایط بیرجند است.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۶ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزیِ دانشگاه بیرجند که در فاصله ۵ کیلومتریِ غرب شهر بیرجند در مسیر جاده بیرجند- طبس، مجاور روستای امیرآباد با عرض جغرافیایی ´۵۳ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ´۱۳ ° ۵۵ شرقی و با ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا واقع‌شده، اجرا گردید. خاک مزرعه دارای بافتی لومی با pH برابر ۷/۶ و هدایت الکتریکی (EC) معادل ۱/۸ دسی زیمنس بر متر بود. آب مورداستفاده برای آبیاری نیز دارای pH برابر ۸، با هدایت الکتریکی معادل ۱/۷ دسی زیمنس بر متر و SAR برابر ۴/۶۸ بود.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل سطوح مختلف آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک (در سه سطح ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی) و توده بومی گیاه زنیان در دو سطح (شامل توده بیرجند و سیستان) بود. هر کرت آزمایش شامل ۶ ردیف کشت با فاصله بین ردیف ۵۰ سانتي‌متر بود. فاصله بین کرت‌ها ۱ متر و فواصل بین بلوک‌ها دو متر در نظر گرفته شد.

برای محاسبه حجم آب آبیاری هر کرت ابتدا نیاز خالص آبیاری به دست آمد و سپس برای توزیع حجم آب آبیاری بین کرت‌ها و تنظیم دقیق توزیع آب از پمپ و کنتور آب برای اندازه‌گیری حجم دقیق آبیاری استفاده شد. برای اعمال سطوح مختلف آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش آبی و اعمال ضرایب هر تیمار از رابطه (۱) استفاده شد (Allen et al., 1998):

$$SMD = (W_{fc} - W_i).A_s.D.C \qquad [۱]$$

که در آن SMD = کمبود رطوبت خاک (mm)، W_{fc}= درصد وزنی رطوبت در ظرفیت مزرعه، W_i= درصد وزنی رطوبت موجود در خاک قبل از آبیاری، A_s= وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3)، D= عمق توسعه ریشه (mm) و C= ضرایب هر تیمار به درصد (۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱) هستند. برای کنترل رطوبت خاک به‌صورت روزانه از منطقه ریشه به‌وسیله نمونه‌گیر خاک (اوگر) نمونه‌برداری انجام شد. همچنین عمق توسعه ریشه ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این آزمایش برای آبیاری واحدهای آزمایشی در سه هفته ابتدایی برای حصول اطمینان از سبز شدن و تراکم موردنیاز گیاهان، تیمارهای رطوبتی همه به‌صورت ۱۰۰ درصد ظرفیت زارعی اعمال گردید. در طول فصل رشد نیز آبیاری بر اساس تیمارهای موردنظر با استفاده از سیستم پمپ و کنتور صورت گرفت.

کود مصرفی معادل ۱۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تریپل و ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار اوره در نظر گرفته شد که تمامی کودهای پتاس و فسفات و یک‌سوم کود نیتروژن قبل از کاشت به خاک اضافه شد و مابقی کود نیتروژن در دو مرحله به نسبت مساوی در طی فصل رشد در اختیار گیاه قرار داده شد. کاشت به‌صورت دستي در نیمه اسفندماه سال ۱۳۹۶ و در عمق ۰/۵ سانتی‌متری انجام گرفت. تراکم نهایی ۵۰ بوته در مترمربع با فاصله هردو گیاه روی ردیف ۴ سانتی‌متر بود. وجین علف‌های هرز نیز به‌صورت دستی صورت گرفت. درنهایت برداشت نیز در ۲۰ مرداد و ۱۰ شهریورماه ۱۳۹۶ صورت گرفت.

برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، سه بوته از هر کرت به‌صورت تصادفی انتخاب و علامت‌گذاری شده و ارتفاع آن‌ها طی ۵ مرحله در طول فصل رشد اندازه‌گیری شد. برای محاسبه شاخص سطح برگ از دو هفته پس از کاشت به فاصله هر ۱۵ روز یک‌بار ۳ بوته از هر کرت انتخاب و از سطح زمین قطع شدند. سطح برگ توسط دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌های برگی در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شده و سپس توزین شدند و آنگاه سطح ویژه برگ به‌صورت نسبت سطح برگ به وزن خشک برگ تعیین شد.

در زمان ۵۰ درصد گل‌دهی، مقدار کلروفیل a ، کلروفیل b و کاروتنوئیدها در برگ‌های شماره ۴ و ۵ به روش آرنون (Arnon, 1967) اندازه‌گیری شد

در زمان رسیدگي کامل در هر کرت تعداد ۱۰ بوته زنیان به‌طور تصادفی برداشت‌شده و اجزای عملکرد در آن‌ها موردانداز‌ه‌گیری قرار گرفت. در زمان رسیدگي کامل برداشت از سطحي معادل ۲ مترمربع در هر کرت صورت گرفت و عملکرد دانه و کاه و کلش آن جداگانه برداشت و وزن شد. استخراج اسانس نیز با استفاده از دستگاه کلونجر صورت گرفت.

داده‌ها با استفاده از ماکرو DSSASTAT در محیط نرم‌افزار اکسل مورد تجزیه واریانس قرار گرفتند. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۵% صورت گرفت. برای دیگر محاسبات و رسم اشکال نیز از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

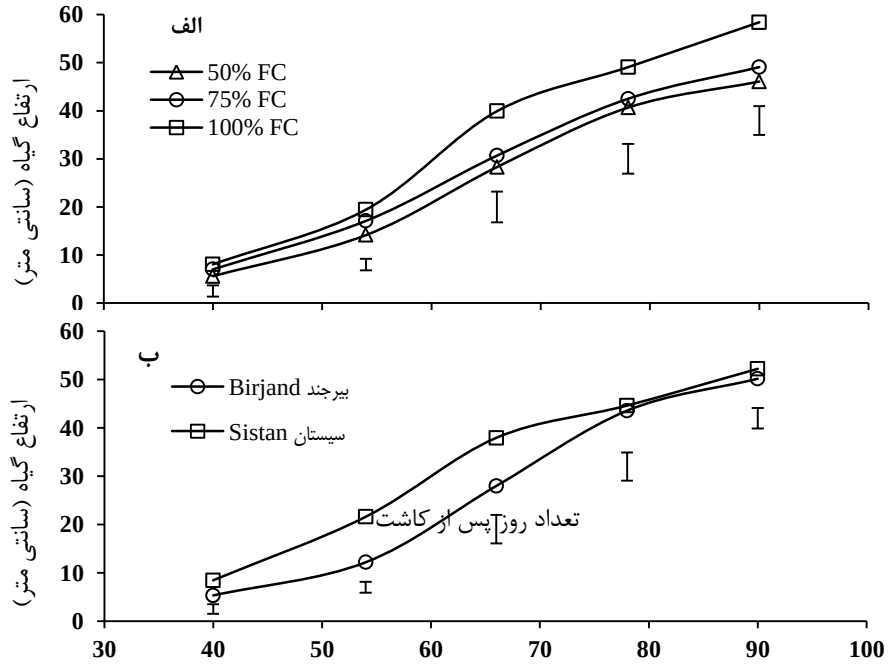
ارتفاع بوته

روند کلی تغییرات ارتفاع بوته زنیان در طی فصل رشد به‌صورت افزایشی بود اما میزان این افزایش در بین توده‌ها و سطوح مختلف رطوبتی متفاوت بود (شکل ۱) که نشان می‌دهد خصوصیات توده و نیز عوامل محیطی همچون خشکی تأثیر زیادی در ارتفاع نهایی بوته این گیاه دارد. به‌طورکلی در اوایل دوره رشدی گیاه دارویی زنیان این تغییرات ارتفاع با شیب نسبتاً کندی صورت گرفت، اما بعدازآن (از ۵۴ روز پس از کاشت) رشد طولی ساقه گیاه نیز شدت گرفته و به‌سرعت افزایش پیدا کرد.

ارتفاع بوته در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در تمام مراحل نمونه‌برداری نسبت به سطوح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بیشتر بود (شکل ۱الف). آب نقش اساسی در بیشتر واکنش‌های گیاهی دارد و درنتیجه کمبود آب، اکثر فرآیندهای گیاه، دچار نقصان می‌شوند. با افزایش میزان کم‌آبیاری، رشد اندام هوایی نیز کاهش می‌یابد که منجر به کاهش فاصله بین میانگره‌ها و کاهش ارتفاع بوته می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۵). نتایج دیگر تحقیقات نیز نشان‌گر کاهش ارتفاع دیگر گیاهان دارویی ازجمله بابونه (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲) و شنبلیله (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۱۳۹۵) با افزایش تنش خشکی است. چنین کاهشی می‌تواند حاصل کاهش فشار تورژسانس و متعاقب آن کاهش تقسیم و بزرگ شدن سلولي در شرایط تنش خشکي باشد (امید بیگي و همکاران، ۱۳۸۹). در تحقیق دیگری روی گیاه زنیان نیز گزارش شد بیشترین ارتفاع بوته در سطح آبیاری ۹۰ درصد ظرفیت زراعي برابر با ۵۳/۶۶ سانتی‌متر و کمترین آن در تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعي برابر با ۳۱/۶۶ سانتی‌متر بوده است (رضوي‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. هرچند ارتفاع گیاه در

تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، با گذشت ۹۰ روز پس از کاشت نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) به ترتیب ۷۲۵، ۶۰۱ و ۶۲۶ درصد افزایش داشته است که نشان‌دهنده خوپذیری و تلاش برای جبران در گیاهان مواجه با کمبود رطوبت (۵۰ درصد ظرفیت زراعی) است.

نتایج همچنین نشان داد که تفاوت بین توده‌های مورد ارزیابی در این تحقیق در مورد ارتفاع بوته مربوط به سه مرحله اول نمونه‌برداری (۴۰، ۵۴ و ۶۶ روز پس از کاشت) بوده است. توده سیستان در اوایل دوره رشدی توانایی بیشتری برای افزایش رشد طولی خود داشته و دارای ارتفاع بوته بیشتری بود (شکل ۱ب)، ولی با گذشت ۹۰ روز پس از کاشت ارتفاع دو توده سیستان و بیرجند نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) به ترتیب به میزان ۵۱۸، ۸۶۵ درصد افزایش داشته است. بنابراین اگرچه رشد طولی بوته توده بیرجند در مراحل ابتدایی بسیار کم بوده اما با گذشت زمان توانسته رشد طولی را جبران نماید. در این راستا صادق زاده اهری و همکاران (۱۳۹۵) نیز گزارش کردند بین ۲۰ توده مختلف شنبلیله تفاوت معنی‌داری برای صفت ارتفاع بوته وجود داشته است. گرچه اختلاف ارتفاع در اغلب گیاهان ناشی از ویژگی‌های ژنتیکی است، ولی تغییر شرایط محیطی به‌ویژه میزان رطوبت در دسترس می‌تواند با تأثیرگذاری بر تقسیم و رشد سلولی از طریق تغییر در تورژسانس سلولی، رشد طولی ساقه را تحت تأثیر قرار دهد (Patel et al., 1996).



شکل ۱. تغییرات ارتفاع بوته زنیان در طی فصل رشد در (الف) سطوح رطوبتی مختلف (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و برای (ب) دو توده بومی مختلف (بیرجند و سیستان). خطوط عمودی زیر هر مرحله نمونه‌برداری مقدار LSD را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد.

جدول ۱. میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس صفات ارتفاع، سطح برگ و سطح ویژه برگ بوته زنیان در پنج مرحله نمونه‌برداری

ارتفاع گیاه

منابع تغییر	درجه آزادی	روزهای مختلف پس از کاشت				
		۴۰	۵۴	۶۶	۷۸	۹۰
بلوک	۲	۵/۱۹۷	۱۴/۳۸۵	۳۶/۳۸۵	۵۳/۲۹۱	۶/۰۱۳
توده	۱	۴۴/۳۳۶**	۳۹۹/۰۳۱**	۴۴۷/۵۰۳**	۵/۰۱۴	۱۹/۰۱۴
سطوح کم‌آبیاری	۲	۹/۱۳۵	۴۲/۱۹۷**	۲۲۶/۳۴۳**	۱۱۷/۵۴۱*	۲۴۸/۲۲۲**
توده * آبیاری	۲	۱/۰۶۵	۱/۳۲۲	۳/۰۶۵	۴/۸۴۷	۵۱/۷۲۲
خطا	۱۰	۳/۷۳۹	۴/۵۴۳	۲۸/۲۹۳	۲۷/۱۷	۱۸/۴۱۳

سطح برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	روز پس از کاشت				
		۴۰	۵۴	۶۶	۷۸	۹۰
بلوک	۲	۲۴/۹۵۶	۲۱۵۲/۲۲۷	۱۰۱۶۸/۱۴۸	۶۴۵۷/۳۰۴	۸۱۰۷/۳۳
توده	۱	۳۷۵/۲۲۰	۶۱/۷۹۰۱	۲۰۷۴۶/۶۷۵	۱۳۳۶۳/۲۶	۲۷۰۱/۱۲
سطوح کم‌آبیاری	۲	۳۴۳۵/۳۱۲**	۱۷۴۳۶/۵۶۳**	۳۲۶۳۱/۴۷۲*	۸۱۹۶۲/۵۲۶**	۱۵۰۱۶۶۶/۷۲**
توده * آبیاری	۲	۳۲۷/۷۹۶	۶۲۵۶/۵۲۲۱**	۳۰۷۱/۴۹۵**	۷۰۲۵/۱۶۹	۲۸۴/۷۲۷
خطا	۱۰	۱۹۲/۱۵۹	۶۶۶/۶۷۵	۳۹۳۴/۴۲۷	۴۳۳۸/۹۴۹	۱۳۹۳۴/۹۱

سطح ویژه برگ

منابع تغییر	درجه آزادی	روز پس از کاشت				
		۴۰	۵۴	۶۶	۷۸	۹۰
بلوک	۲	۸۳۸۳/۱۰	۱۳۴۶۰/۳۹	۱۰۱/۴۶	۳۴۹۴/۴۲۸	۲۱/۵۶۹
توده	۱	۱۸۴۹۳/۳۶	۲۳۳۶۷/۸۹	۲۱۱۸۱/۷۰**	۱۶۲۷۲/۱۳*	۱۱۶۴۶/۰۹*
سطوح کم‌آبیاری	۲	۷۵۹۹۹/۴۳	۸۰۲۸۴/۹۳**	۲۲۶۶۰/۱۶۲**	۸۹۱۹/۱۵۹**	۸۸۹۰/۸۴**
توده * آبیاری	۲	۱۲۳۳۹/۲۴	۳۴۸۱۶/۶۲*	۹۰۶۰/۷۲**	۵۱۹۸/۹۹	۱۱۳۵/۵۹
خطا	۱۰	۲۵۰۴۶۰/۷	۶۷۵۵/۸۴	۸۱۲/۵۹	۱۵۸۶/۱۱۱	۵۲۵/۰۸۶

** و * به ترتیب نشان از معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

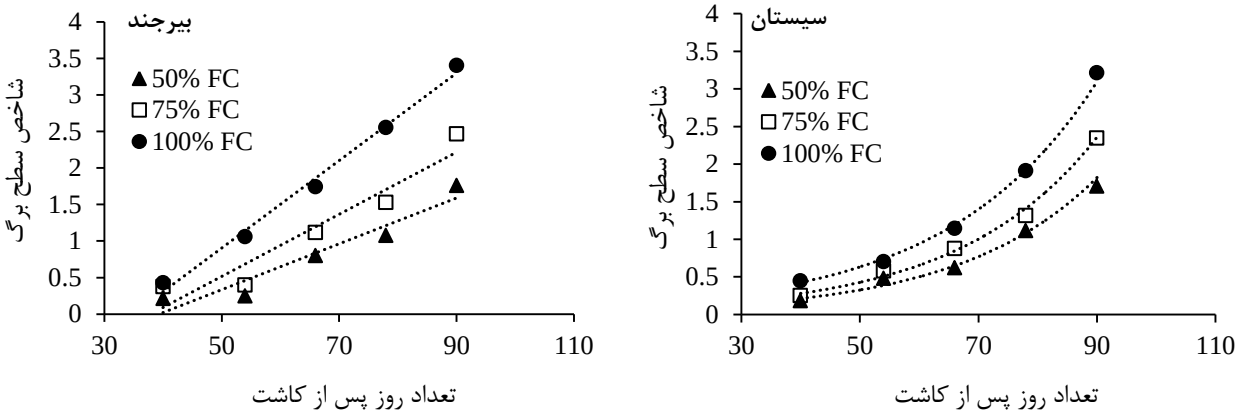
شاخص سطح برگ

تغییرات سطح برگ بوته زنیان در طی فصل رشد به‌صورت افزایشی بود هرچند روند آن در دو توده متفاوت بود. درحالی‌که سطح برگ توده بیرجند از همان ابتدا به‌طور خطی افزایش پیدا کرد، ولی افزایش سطح برگ توده سیستان در ابتدا بطئی‌تر بوده و در دو مرحله انتهایی افزایش نمائی را نشان داد. بااین‌وجود درنهایت دو توده سطح برگ نسبتاً یکسانی داشتند (شکل ۲). در ابتدای رشد، در توده سیستان، تفاوت کمتری در سطح برگ گیاهان قرارگرفته در معرض سطوح مختلف رطوبتی مشاهده شد. هرچند با پیشرفت فصل این اختلاف‌ها به تدریج بیشتر نمایان شد. برای مثال با کاهش سطح رطوبتی از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، سطح برگ توده سیستان در ۵۴ روز پس از کاشت به ترتیب ۱۷/۹ و ۳۱/۹ درصد کاهش نشان داد که مقدار این کاهش در ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب به ۲۷/۰۹ و ۴۶/۸۶ درصد رسید. این در حالی است که در توده بیرجند واکنش مخالفی دیده شد. در این توده میزان کاهش سطح

برگ گیاهان با کاهش رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد زراعی در ۵۴ روز پس از کاشت به ترتیب ۶۲/۳۴ و ۷۶/۱۷ درصد بود که در ۹۰ روز پس از کاشت به ۲۷/۵۳ و ۴۸/۲۹ درصد رسید.

به طور میانگین در بین دو توده، میزان شاخص سطح برگ گیاهان در سطوح رطوبتی ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی در اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) به ترتیب برابر با ۰/۲، ۰/۳۱ و ۰/۴۴ بود که این شاخص در ۹۰ روز پس از کاشت به ترتیب به ۱/۷۴، ۲/۴۱ و ۳/۳۱ رسید که به ترتیب نشان دهنده ۷۷۱، ۶۶۴ و ۶۵۵ درصد افزایش در سطح برگ در سطوح ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری است. افزایش نسبی بیشتر سطح برگ در سطح ۵۰% ظرفیت زراعی می‌تواند نشانگر یک تلاش جبرانی در راستای خوپذیری در گیاهان مواجه با سطح تنش ۵۰ درصد ظرفیت زراعی باشد. این امر احتمالا ناشی از افت کمتر سطح برگ‌ویژه در سطح رطوبتی ۵۰ درصد نسبت به سایر سطوح رطوبتی بوده است (شکل ۳ الف).

به‌طورکلی با کاهش آب از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، سطح برگ در آخرین نمونه‌برداری به ترتیب ۲۷/۳ و ۴۷/۵ درصد کاهش یافته است. کاهش سطح برگ در واکنش به محدودیت رطوبتی یک واکنش عمومی است که در اغلب گیاهان ازجمله گیاهان دارویی همچون ریحان (جهان و همکاران، ۱۳۹۴)، آویشن (بحرینی‌نژاد و رزمجو، ۱۳۹۳) و بومادران (شریفی عاشورآبادی و همکاران، ۱۳۸۸) گزارش شده است. رشد سلولی در گیاه فعالیتی است که نسبت به کمبود آب بسیار حساس است. کاهش پتانسیل آب بافت‌های مریستمی در طول روز غالباً موجب نقصان پتانسیل فشاري به حدي کمتر از میزان لازم براي بزرگ شدن سلولی می‌گردد. این امر به‌نوبه خود موجب کاهش سنتز پروتئین یا سنتز دیواره سلولی و بزرگ شدن سلول می‌شود. اثر کمبود آب در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگ‌ها می‌گردد، شاخص سطح برگ (LAI) را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه را نیز کاهش می‌دهد. کلروفیل سازي در کمبودهاي شدیدتر آب متوقف می‌گردد (عمادی، ۱۳۸۸). کاهش سطح برگ در اثر کمبود آب به علت انتقال مواد از ساقه و برگ است که بخشی از نیتروژن برگ نیز انتقال می‌یابد و کاهش سطح برگ زودتر رخ می‌دهد. سرعت پیری هر یک از برگ‌ها در اثر تنش خشکی و نبود آب کافی افزایش می‌یابد و نتیجه آن کاهش سطح برگ است (Passarkli, 2010).



شکل ۲. روند تغییرات شاخص سطح برگ دو توده زنیان (سیستان و بیرجند) در طی فصل رشد تأثیر سطوح مختلف آبیاری. معادلات مربوط به‌خصوص رگرسیونی در جدول زیر آورده شده‌اند.

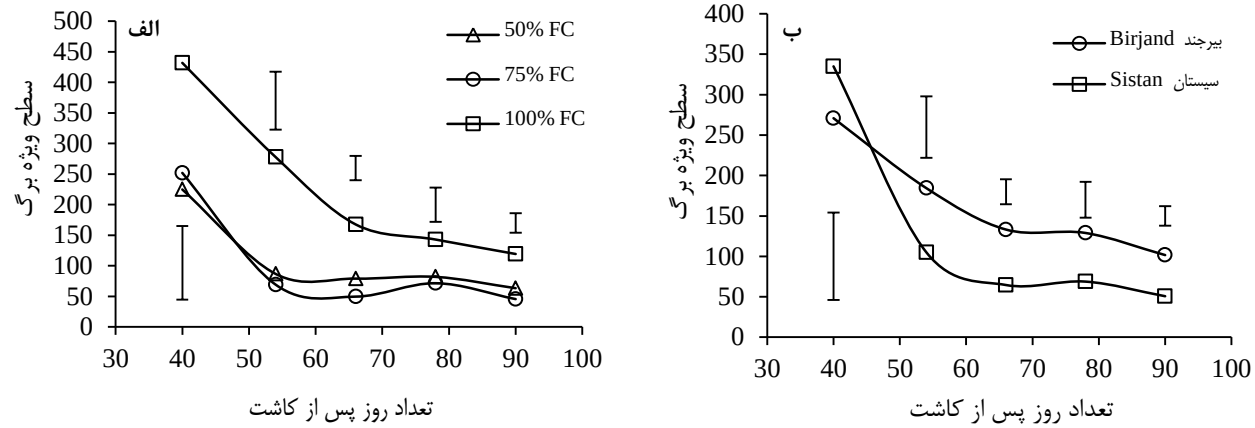
سطوح آبیاری	بیرجند		سیستان	
(درصد ظرفیت زراعی)	معادله	ضریب تبیین	معادله	ضریب تبیین
۵۰	y = 0.0314x - 1.2345	0.9213	$y = 0.0378e^{0.043x}$	0.9744
۷۵	y = 0.0425x - 1.6076	0.9127	$y = 0.0504e^{0.0427x}$	0.9881
۱۰۰	y = 0.0599x - 2.0936	0.9913	$y = 0.0867e^{0.0397x}$	0.9965

تغییرات سطح ویژه برگ بوته زنیان طی فصل رشد

تغییرات سطح ویژه برگ بوته زنیان در طی فصل رشد به‌صورت کاهشی بود. گرچه در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک در تمام مراحل نمونه‌برداری سطح ویژه برگ بوته زنیان نسبت به دو سطح ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی خاک بیشتر بود، اما با گذشت ۹۰ روز پس از کاشت سطح ویژه برگ بوته زنیان در تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به ترتیب ۳۶/۷، ۵۱/۹ و ۱۳۲/۷ درصد نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) کاهش نشان داد (شکل ۳). در ۹۰ روز پس از کاشت، بیشترین سطح ویژه برگ زنیان در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به دست آمد و با کاهش آب به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، سطح ویژه برگ کاهش معنی‌داری به ترتیب معادل ۶۱/۸ و ۴۶/۸ درصد نشان داد (شکل ۳). بیان‌شده که اعمال تدریجی تنش خشکی با کاهش ارتفاع گیاه، کاهش وزن خشک ساقه، کاهش سطح برگ و نیز کاهش سطح ویژه برگ همراه است. این کاهش اندازه سایه‌انداز گیاهی، با کوچک کردن سطح تعریق کننده، توانایی گیاه را جهت حفظ بقاء در شرایط تنش آب افزایش می‌دهد اما از طرف دیگر سبب کاهش عملکرد از طریق کاهش سطح فتوسنتز کننده می‌شود (Coleman, 2008).

در دو توده بیرجند و سیستان، با گذشت ۹۰ روز پس از کاشت نسبت به اولین مرحله نمونه‌برداری (۴۰ روز پس از کاشت) سطح ویژه برگ بوته زنیان به ترتیب ۱۸/۴ و ۱۰۷ درصد کاهش یافت. به‌جز مرحله اول، توده سیستان

در سایر مراحل دارای سطح ویژه برگ کمتری بود (شکل ۴-۷). کمتر بودن سطح ویژه برگ به معنی ضخیم‌تر بودن برگ بوده و عموماً ژنوتیپ‌های با برگ‌های ضخیم‌تر برای شرایط تنش مناسب‌ترند، زیرا برگ‌های ضخیم دارای تعداد لایه‌های مزوفیلی بیشتری در واحد وزن برگ بوده و همچنین به دلیل غلظت بالاتر کلروپلاست در واحد سطح، عبور نور از آن‌ها کمتر بوده و در نتیجه دارای فتوسنتز بیشتری در واحد سطح خواهند بود. همچنین کاهش سطح ویژه برگ خود یک استراتژی برای کاهش سطح تعرق کننده گیاه است (Lambers et al., 2008)



شکل ۳- تغییرات سطح ویژه برگ زنیان در طی فصل رشد در (الف) سطوح مختلف آبیاری (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و برای (ب) دو توده بومی مختلف (سیستان و بیرجند). خطوط عمودی در هر مرحله نمونه‌برداری مقدار LSD را در سطح احتمال ۵ درصد نشان می‌دهد

کلروفیل a،کلروفیلb و کارتنوئید

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که میزان کلروفیل a (P>۰/۰۵) و میزان کارتنوئید (P>۰/۰۱) برگ زنیان تحت تأثیر نوع توده قرار گرفته است. اثر سطوح مختلف رطوبتی نیز روی کلروفیل a و b اثرگذار بوده است (P>۰/۰۱). اثر متقابل توده زنیان و سطوح مختلف رطوبتی نیز روی میزان کلروفیل a (P>۰/۰۱) و کارتنوئید (P>۰/۰۵) برگ زنیان معنی‌دار بود. نسبت کلروفیل a به b نیز فقط تحت تأثیر سطوح مختلف کم‌آبیاری قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها و نسبت کلروفیل a به b دو توده زنیان تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		کلروفیل a	کلروفیل b	کارتنوئید	کلروفیل a/b
بلوک	۲	۱۴۱/۴۹۲	۹۲/۹۸۶	۱۴۲۶۴۶۵/۱۷	۰/۱۷۶
توده	۱	۴۲۵/۴۳۵*	۳۰/۲۶۲	۲۷۴۷۲۵۹۰/۴۸**	۰/۱۴۵
سطوح کم‌آبیاری	۲	۶۴۴/۷۱۶**	۲۲۸۵/۰۹۲**	۸۵۹۲۴۸/۱۰	۰/۴۹۵*
توده * آبیاری	۲	۷۹۰/۶۴۶**	۱۹۶۰/۲۷۳**	۶۶۷۶۰۰۸۲/۰۴۳*	۰/۲۲۷
خطا	۱۰	۵۶/۳۳۸	۷۷/۱۴۰	۱۳۳۲۳۵۱/۰۷	۰/۰۵۶

** و * به ترتیب نشان از معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

بیشترین میزان کلروفیل‌های a و b برای توده بیرجند در سطح ۷۵ و برای توده سیستان در سطح ۵۰ درصد ظرفیت زراعی مشاهده شد. میزان کلروفیل a تنها در توده سیستان در سطح ۵۰% ظرفیت زراعی اختلاف معنی‌داری با دیگر ترکیبات تیماری نشان داد. توده سیستان در کل دارای میزان کلروفیل a و b و میزان کارتنوئید بیشتری نسبت به توده بیرجند بود و با کاهش سطح رطوبتی میزان کارتنوئید در توده بیرجند روند افزایشی و در توده سیستان روند کاهشی نشان داد (جدول ۳). در بین این رنگیزه‌ها، بیشترین تفاوت بین دو توده در میزان کارتنوئید بود. در کل با کاهش محتوای آب خاک از ۱۰۰ به ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، میزان کلروفیل افزایش نشان داد، هرچند بیشترین میزان کلروفیل b در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی حاصل شد که باعث کاهش معنی‌دار نسبت کلروفیل a/b در این سطح شد. بیان شده است که افزایش غلظت کلروفیل تحت تأثیر تنش می‌تواند ناشی از کاهش محتوای آب برگ باشد، نه لزوماً به دلیل افزایش محتوای کلروفیل (Schlemmer et al., 2005)، به ویژه اینکه در این آزمایش میزان کلروفیل بر مبنای وزن تر برگ اندازه-گیری شده است و احتمالا تحت تاثیر محتوی رطوبت برگ نیز بوده است. کاهش بیشتر سطح ویژه برگ (افزایش ضخامت، شکل ۳) نیز می‌تواند سبب تمرکز سلول‌های کلروفیل در واحد سطح کمتر شده و احتمالاً گیاه در این شرایط سبزتر نیز دیده می‌شود.

حفظ کلروفیل در شرایط تنش خشکی یکی از شاخص‌هاي مهم فیزیولوژیکی مقاومت به تنش خشکی محسوب می‌شود (Passarkli, 2010). اصولاً بیان شده است که کمبود ملایم آب باعث افزایش و کمبود شدید آب سبب کم شدن میزان کارتنوئیدها می‌شود (Jeyaramraja et al., 2005). در این آزمایش نیز دیده شد که با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ درصد ظرفیت زراعی، میزان کارتنوئیدها افزایش و با کاهش بیشتر محتوی رطوبتی، میزان آن کاهش یافت (جدول ۳). کارتنوئیدها انرژی زیادی را از فتوسیستم I و II به‌صورت گرما یا واکنش‌های شیمیایی بی‌ضرر دفع می‌کنند و می-توانند غشاهای کلروپلاستی را حفظ کنند در شرایط تنش، میزان کاروتنوئیدها که به‌عنوان حمایت‌کننده کلروفیل‌ها در برابر اکسیداسیون نوری به شمار می‌روند افزایش می-یابد تا مانع تخریب بیشتر کلروفیل‌ها گردد (Hopkins and Huner, 2004). به‌طور خاص در توده سیستان به‌وضوح مشاهده می‌شود که در سطح پایین رطوبتی توانایی افزایش میزان کارتنوئید، و به دنبال آن حفظ بالای میزان کلروفیل، را دارد (جدول ۳). بررسی دلایل تفاوت واکنش این دو توده نیاز به تحقیقات بیشتری دارد، و ممکن است توانایی بالاتر توده سیستان برای تولید بیشتر کارتنوئید و حفظ سطوح بالاتر کلروفیل حاصل نوعی سازگاری اقلیمی این توده باشد.

جدول ۳. تغییرات محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کارتنوئیدها و نسبت کلروفیل a به b برگ دو توده زنیان تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

توده	کمبود رطوبت خاک (درصد از ظرفیت زراعی)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)	نسبت کلروفیل a به b	کارتنوئیدها (میلی‌گرم بر گرم وزن تر برگ)
بیرجند	۵۰	۴۳/۴۰ b	۳۸/۶۶ c	-	۲۴۳۸/۵۷ c
	۷۵	۵۲/۷۱ b	۸۴/۱۴ a	-	۴۰۳۸/۱۷ bc
	۱۰۰	۴۰/۷۷ b	۴۳/۲۹ c	-	۴۱۰۱/۱۲ bc
سیستان	۵۰	۷۹/۳۵ a	۸۲/۸۹ a	-	۷۱۵۱/۹۳ a
	۷۵	۴۵/۹۹ b	۶۳/۴۳ b	-	۶۲۰۵/۲۷ ab
	۱۰۰	۴۰/۷۱ b	۲۷/۵۴ c	-	۴۶۳۳/۱۶ b
بیرجند		۴۵/۶۲ b	۵۵/۳۶ a	۰/۹۰ a	۳۵۲۵/۹۵ b
سیستان		۵۵/۳۵ a	۵۷/۹۵ a	۱/۰۸ a	۵۹۹۶/۷۸ a
	۵۰	۶۱/۳۷ a	۶۰/۷۷ b	۱/۰۵ a	۴۷۹۵/۳۴ a
	۷۵	۴۹/۳۵ b	۷۳/۷۸ a	۰/۶۷ b	۵۱۲۱/۷۲ a
	۱۰۰	۴۰/۷۳ b	۳۵/۴۱ c	۱/۲۴ a	۴۳۶۷/۱۴ a

در هر ستون و برای هر اثر اصلی و متقابل، حروف نامشابه نشان‌دهنده وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵% هستند.

عملکرد و اجزای عملکرد

درحالی‌که همه شاخص‌های عملکردی تحت تأثیر معنی‌دار سطوح آبیاری قرار گرفتند، تنها تعداد چتر در بوته، وزن هزار دانه و عملکرد بیولوژیک تفاوت معنی‌داری را بین دو توده نشان دادند و اثر متقابل توده و سطح آبیاری بر هیچ-یک از شاخصه‌های عملکردی معنی‌دار نشد (جدول ۴).

تعداد چتر در بوته

مقایسه تعداد چتر در بوته دو توده بیرجند و سیستان نشانگر برتری ۲۰ درصدی توده بیرجند است (جدول ۵) که این می‌تواند به دلیل این باشد که توده بیرجند بومی و سازگار به شرایط محل آزمایش بوده و توانایی بهتری برای تولید چتر بیشتر داشته است. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، تعداد چتر در بوته نیز به ترتیب ۸/۱ و ۱۲ درصد کاهش نشان داد، هرچند این کاهش در بین تیمارهای ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبوده است (جدول ۵). کاهش تعداد گل و اندام‌های زایشی می‌تواند یکی از اثرات مستقیم تنش خشکی بر کاهش میزان سطح برگ و میزان فتوسنتز باشد. نتایج همبستگی نیز نشان داد که تعداد چتر در بوته همبستگی مثبتی با سطح برگ در طی دوره رشد داشته است (جدول ۶) که نشان می‌دهد گیاهان در شرایطی که توانایی بیشتری برای تولید و حفظ سطح برگ خود در طول فصل داشته‌اند، دارای توانایی تولید تعداد چتر بیشتری در بوته بوده‌اند. کاهش تعداد چتر در زنیان با کاهش سطح رطوبتی توسط رضوی زاده و همکاران (۱۳۹۳) نیز مشاهده شده است. همچنین کاهش تعداد گل گیاه بابونه (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۲) و تعداد نیام در بوته گیاه شنبلیله (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۱۳۹۵) در پاسخ به کاهش میزان آبیاری گزارش شده است.

وزن هزار دانه زنیان

اگرچه توده بیرجند در این تحقیق دارای تعداد بیشتری چتر در بوته بود اما توده سیستان دانه‌هایی با حدود ۳۵/۴ درصد وزن بیشتر تولید کرد (جدول ۵). عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد دانه بین دو توده نیز نشان می‌دهد که دو ویژگی تعداد و وزن دانه قابلیت جبران‌کنندگی دارند که درنهایت باعث عدم تفاوت معنی‌دار عملکرد هر دو توده شده است.

همچنین نتایج نشان داد که با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی نیز وزن هزار دانه زنیان به ترتیب با ۱۳/۲ و ۲۲/۱ درصد کاهش به میزان ۱/۰۹، ۰/۸۵ و ۰/۹۵ گرم رسید، به‌گونه‌ای که وزن هزار دانه در تیمار ۷۵ درصد ظرفیت زراعی با دیگر سطوح تنش تفاوت معنی‌دار نداشته و فقط بین تیمار ۵۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌دار بوده است (جدول ۵). کاهش وزن هزار دانه تحت تنش خشکی در شنبلیله نیز توسط صادق زاده اهری و همکاران (۱۳۹۵) گزارش شده است.

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد و عملکرد کمی و کیفی دو توده زنیان تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری

		میانگین مربعات					
منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد چتر در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	شاخص برداشت	عملکرد اسانس
بلوک	۲	۳۲/۵۹۷**	۰/۰۴۹۸	۴۳۵۳۸۴/۸	۱۳۱۰/۳۳۹	۲۲/۷۶۶	۰/۷۴۲
توده زنیان	۱	۲۸۴/۰۱۳**	۰/۳۷۳**	۱۱۲۳۷۲۵*	۶۲۳۴/۷۲۲	۴۶/۷۸۸	۲/۵۲۰
سطوح کم‌آبیاری	۲	۴۵/۸۴۷**	۰/۰۸۹۷*	۲۳۴۲۹۴۷**	۱۷۸۴۹۹/۱۶**	۷۰/۶۲۷	۷۴/۰۵۴**
توده * آبیاری	۲	۲/۶۸۰	۰/۰۲۵۲	۴۵۸۰۷/۶۲	۱۷۰۳۶/۱۵	۱۹/۲۸۶	۷/۲۲۷
خطا	۱۰	۳/۶۴۷	۰/۰۱۵۱	۱۹۰۷۲۳/۳	۱۲۵۶۸/۱۵	۲۳/۴۲۱	۵/۳۴۱

** و * به ترتیب نشان از معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

جدول ۵. مقایسه میانگین اثرات اصلی توده و سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد دو توده زنیان

	تعداد چتر در بوته	وزن هزار دانه (گرم)	عملکرد بیولوژیک (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد اسانس (کیلوگرم در هکتار)
توده					
بیرجند	۴۵/۹	۰/۸۲	۲۷۸۷/۱۷	۶۶۷/۰۴	
سیستان	۳۸	۱/۱۱	۳۲۸۶/۸۸	۷۳۷/۷	
کمبود رطوبت خاک (درصد از ظرفیت زراعی)					
۵۰	۳۹/۵۸ b	۰/۸۶ b	۲۳۶۲/۱۲ b	۵۸۷/۹۶ b	۱۲/۰۳ b
۷۵	۴۱/۳۳ b	۰/۹۵ ab	۳۱۵۳/۷۵ a	۶۱۹/۴۴ b	۱۲/۵۵ b
۱۰۰	۴۵/۰۰ a	۱/۱۰ a	۲۵۹۵/۳۲۵ a	۹۰۱/۲۰ a	۱۸/۳۶ a

عملکرد بیولوژیک

نتایج مقایسه میانگین نشان داد عملکرد بیولوژیک توده بیرجند زنیان با اختلاف ۱۵ درصدی کمتر از عملکرد بیولوژیک توده سیستان بوده است. توده سیستان نسبت به بیرجند دارای سطح برگ و ارتفاع بیشتری در اوایل دوره رشدی بوده است (شکل‌های ۱ و ۲) و نتایج همبستگی نیز نشان داد که ارتفاع اندازه گیری شده در روز ۴۰ (r=۰/۵۱۰ و P<۰/۰۵)، روز ۵۴ (r=۰/۶۸۷ و P<۰/۰۱)، روز ۶۶ (r=۰/۶۳۴ و P<۰/۰۱)، روز۷۸ (r=۰/۵۰۴ و P<۰/۰۵) و روز ۹۰ پس از کاشت و همچنین سطح برگ اندازه گیری شده در ۴۰ (r=۰/۵۰۶ و P<۰/۰۵) و ۵۴ (r=۰/۵۸۴ و P<۰/۰۵) روز پس از کاشت رابطه مثبت و معنیداری با عملکرد بیولوژیک داشته است. بنابراین وجود عملکرد بیولوژیک بیشتر در توده سیستان امری منطقی به نظر می‌رسد چراکه با افزایش ارتفاع و سطح برگ، بخصوص در مراحل ابتدایی رشد گیاه توانایی بیشتری برای فتوسنتز داشته و تجمع ماده خشک بیشتری در اندام‌های مختلف صورت گرفته است.

همچنین نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد بیولوژیک زنیان در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شده و با کاهش میزان رطوبت به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی، عملکرد بیولوژیک به ترتیب ۱۲ و ۳۲ درصد کاهش نشان داد، هرچند میزان عملکرد بیولوژیک بین سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی معنی‌دار نبود (جدول ۵). رضوی زاد و همکاران (۱۳۹۳) نیز کاهش معنی‌داری را برای ماده خشک زنیان با افزایش میزان تنش خشکی گزارش دادند. کاهش تجمع ماده خشک طي افزایش میزان کم‌آبیاري می‌تواند مربوط به افت تورژسانس سلولي در اثر کمبود آب و درنتیجه کاهش رشد و توسعه سلولی، کاهش رشد اندام هوایی و اختصاص بیشتر مواد پرورده به ریشه، کاهش سطح برگ و محتوی رنگیزه‌ها و به دنبال آن کاهش جذب نور و ظرفیت فتوسنتزي، و همچنین انحراف مواد پرورده به سمت مکانیسم‌های مقاومت همچون تنظیم اسمزی باشد (۳، Benjamin and Nielsen, 2006). چنین کاهشی در وزن اندام‌های هوایی و نیز ارتفاع بوته در واکنش به افزایش شدت تنش خشکی (کاهش سطح رطوبتی خاک از ۱۰۰ به ۲۵ درصد ظرفیت زراعی) در گیاهان دارویی اسفرزه، مریم‌گلی، بومادران، همیشه‌بهار و بابونه نیز گزارش شده است (لباسچي و شريفي عاشورآبادي، ۱۳۸۳)

عملکرد دانه

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد دانه زنیان نیز همانند عملکرد بیولوژیک در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شده است. با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد دانه به ترتیب با ۳۱ و ۳۴ درصد کاهش به میزان ۶۱۹/۴۴ و ۵۸۷/۹۶ کیلوگرم در هکتار رسید، همچنین نتایج نشان داد که عملکرد دانه زنیان در بین سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۵). کاهش عملکرد دانه گیاهان دارویی زنیان (رضوي‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳) و شنبلیله (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۱۳۹۵) نیز با کاهش میزان آب خاک گزارش شده است که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد. عموماً توان فتوسنتزی گیاه در اثر افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد (Byrd et al., 1992) که نتیجه آن کاهش اجزای عملکرد شامل تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و وزن هزار دانه می‌باشد؛ نتایج همبستگی نیز نشان داد که عملکرد دانه زنیان در این تحقیق همبستگی مثبت معنی

داری با ارتفاع نهایی (r=۰/۶۷۹ و P<۰/۰۱)، سطح برگ نهایی (r=۰/۶۷۷ و P<۰/۰۱)، وزن هزار دانه (r=۰/۶۲۵ و P<۰/۰۱) و عملکرد بیولوژیک (r=۰/۴۸۸ و P<۰/۰۵) داشته است که در نهایت هرگونه کاهشی در این صفات منجر به کاهش عملکرد دانه می گردد.

عملکرد اسانس زنیان

نتایج مقایسه میانگین نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس زنیان نیز همانند عملکرد بیولوژیک و دانه زنیان در این تحقیق در سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی حاصل شده است. با کاهش میزان رطوبت از ۱۰۰ به ۷۵ و ۵۰ درصد ظرفیت زراعی عملکرد اسانس زنیان به ترتیب با ۳۱/۶ و ۳۴/۴ درصد کاهش به میزان ۱۲/۵۵ و ۱۲/۰۳ کیلوگرم در هکتار رسیده است که میزان عملکرد اسانس در بین سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۵). از آنجایی درصد اسانس زنیان در این تحقیق تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار نگرفته است وجود تفاوت بین میزان و تولید اسانس مرتبط با میزان عملکرد دانه است که در تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی از دیگر تیمارهای رطوبتی بیشتر بوده است. بیشتر تحقیقات به این نکته اشاره داشته‌اند که با افزایش تنش‌های محیطی درصد اسانس افزایش می‌یابد که در این تحقیق تفاوتی بین سطوح رطوبتی مشاهده نشد که این می‌تواند نشان از دخیل بودن عوامل دیگری همچون آب‌وهوا و عوامل خاکی و تغذیه‌ای در میزان اسانس و عملکرد اسانس می‌باشد. در گیاه گل مکزیکی (*Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze) نیز میانگین عملکرد اسانس در تیمارهاي آبیاري کامل و آبیاري نیمه‌کامل نسبت به شاهد که آبیاري نشده بود افـزایش نـشان داد (امیدبیگی و محمودی سورستانی، ۱۳۸۹).

جدول ۶. ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده زنیان

	ارتفاع	سطح برگ	تعداد چتر در بوته	وزن هزار دانه	عملکرد بیولوژیک	عملکرد دانه	عملکرد اسانس
ارتفاع	۱						
سطح برگ	۰/۵۳۹*	۱					
تعداد چتر در بوته	۰/۱۰۳	۰/۴۷۸*	۱				
وزن هزار دانه	۰/۴۷۵*	۰/۲۴۵	-۰/۴۵۸	۱			
بیولوژیک	۰/۶۵۴**	۰/۳۵۲	-۰/۰۹۹	۰/۵۸۸*	۱		
عملکرد دانه	۰/۶۷۹**	۰/۶۷۷**	۰/۲۷۶	۰/۶۲۵**	۰/۴۸۸*	۱	
عملکرد اسانس	.۰/۶۷۹**	۰/۶۶۶**	۰/۲۷۵	۰/۶۲۱**	۰/۴۷۷*	۰/۹۹۹**	۱

** و * به ترتیب نشان از معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری.

به‌طورکلی نتایج نشان داد که دو توده بیرجند و سیستان تفاوت چندانی ازنظر ارتفاع و شاخص سطح برگ نهایی نداشتند، هرچند توده بیرجند دارای سطح ویژه برگ بالاتری بود که نشانگر این است که این توده تخصیص کمتر مواد به برگ را با نازک‌تر کردن برگ‌ها (نسبت به توده سیستان) جبران نموده است. از سوی

دیگر محتوی رنگ‌دانه‌های برگ ، به‌ویژه کارتنوئیدها در توده سیستان بالاتر بود که می‌تواند بازتابی از سازگاری اقلیمی این توده باشد. افزایش تعداد چتر در بوته توده بیرجند، که می‌تواند به‌منزله تعداد دانه بیشتر تعبیر شود، با وزن بالاتر دانه در توده سیستان جبران شد به‌نحوی‌که علی‌رغم عملکرد بیولوژیک بالاتر توده سیستان، تفاوت معنی‌داری در عملکرد دانه، و نیز عملکرد اسانس، این توده‌ها مشاهده نشد. با توجه به اینکه هر توده دارای ویژگی‌هایی است که سبب بهترین نمود در شرایط اقلیمی سازگار یافته با آن می‌شود، مقایسه این دو توده در هر دو منطقه بیرجند و سیستان می‌تواند به درک مکانیسم‌های تطابقی این دو گونه بیشتر کمک نماید.

هر دو توده واکنش خوبی به سطح بالای رطوبتی (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی خاک) نشان دادند، به‌نحوی‌که به‌جز محتوی رنگ‌دانه‌ها، سایر صفات اندازه‌گیری شده در این سطح رطوبتی در بالاترین حد خود بودند و درنهایت با کاهش محتوی رطوبتی خاک، عملکرد دانه و اسانس هر دو توده به‌شدت کاهش نشان داد و در این خصوص تفاوت معنی‌داری بین سطوح ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت زراعی وجود نداشت. ازاین‌جهت، و با در نظر گرفتن شرایط آبی موجود در این مناطق شرقی کشور، می‌توان پیشنهاد داد تا در تحقیقات بعدی شاخص‌های اقتصادی آب به‌عنوان ارزش اقتصادی مرتبط با افت محصول و کاهش مصرف آب نیز موردبررسی قرار گیرد.

منابع

امیدبیگی، ر. و محمودی سورستانی، م. (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی بر برخی صفات مرفولوژی، میزان و عملکرد اسانس گیاه گل مکزیکی *Agastache foeniculum* [Pursh] Kuntze. نشریه علوم باغبانی ایران، ۴۱(۲)، ۱۶۱-۱۵۳.

بحرینی‌نژاد، ب. و رزمجو، ج. (۱۳۹۳). اثرات تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد و خصوصیات فنولوژیک گیاه آویشن کوهی. ..(*Thymus kotschyanus* Boiss) مجله فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳(۷)، ۸۰-۶۷

جهان، م.، قلعه‌نویی، ش.، خاموشی، ا. و امیری، م.ب. (۱۳۹۴). بررسی ویژگی‌های اگرواکولوژیکی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) تحت تأثیر کاربرد سوپرجاذب رطوبت، اسیدهیومیک و دورهای آبیاری. نشریه علوم باغبانی، ۲۹(۲)، ۲۴۰-۲۵۴.

رحیمی، ت.، حسن پور دشتی، ح. نورالوندی، ت. و مظفری، ح. (۱۳۹۲). اثر تنش خشکي بر اسانس و خصوصيات مورفولوژيکي توده‌هاي بومي گياه بابونه ايران در شرايط آبياري با زه آب فاضلاب خانگي. توليد گياهان زراعي در شرايط تنش‌هاي محيطي، ۵(۱)، ۵۵-۴۷.

رضوي‌زاده، ر.، شفقت، م. و نجفي، ش. (۱۳۹۳). اثر تنش کمبود آب بر شاخص‌هاي مورفولوژيك و فيزيولوژيك گياه زنيان (*Carum copticum*). فصلنامه زيست‌شناسي گياهي ايران. ۶(۲۲)، ۳۸-۲۵.

شریفی عاشورآبادی، ا.، لباسچی، م.ح.، متین، ا.، نادری، ب.، رضایی، م.، گلی پور، م.، الهوردی ممقانی، ب. و علیزاده انارکی، ک. (۱۳۸۸). تأثیر آبیاری و کشت دیم بر شاخص‌های فیزیولوژیک رشد بومادران (*Achillea millefoliun* L.) در منطقه کرج. مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۵(۳)، ۳۶۳-۳۴۷.

صادق‌زاده اهری، د.، حسندخت، م.ر.، کاشی، ع. و عمری، ا. (۱۳۹۵). اثر تنش خشـکي بر برخي صفـات زراعي و فيزيولوژيکي توده‌هاي شنبليله بومي ايـران. خشک بوم، ۶(۱)، ۱۰۱-۹۵.

صفي‌خاني، ف.، حيدري شريف‌آبادي، ح.، شريفي عاشورآبادي، ا.، سيادت، س.ع.، سيدنژاد، س.م. و عباس‌زاده، ب. (۱۳۸۶). تأثير تنش خشکي بر درصد و عملکرد اسانس و ويژگی‌های فيزيولوژيک گياه دارويي بادرشبو (*Dracocephalum*

moldavica L.). تحقیقات گیاهان دارویي و معطر ایران، ۲۳(۱)، ۹۹-۸۶.

عمادی، ع.ر. (۱۳۸۸). آب ، گیاه و اثرات کمبود آب بر بعضی صفات و رفتارهاي فیزیولوژیک گیاه (مطالعه موردي: گندم). همایش ملی مدیریت بحران آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، اسفندماه ۱۳۸۸. مرودشت، شیراز، ایران.

غفاری، ز.، علیزاده، ا. و بابادائی سامانی، ر. (۱۳۹۲). بررسی ترکیبات تشکیل‌دهنده و خاصیت ضد میکروبی اسانس گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum copticum* L.). اولین همایش ملی الکترونیکی کشاورزی و منابع طبیعی پایدار. ۱۰ بهمن. موسسه آموزش عالی مهر اروند، گروه ترویجی دوستداران محیط‌زیست، تهران.

فرهی‌نیا، پ.، سادات نوری، س.ا. و مرتضویان، س.م.م. (۱۳۹۳). بررسي تأثير تنش خشكي ناشي از پلی‌اتیلن گلیکول بر مؤلفه‌های جوانه‌زني برخي از توده‌هاي زنیان (*Carum copticum* L.). اولین کنگره بین‌المللی و سیزدهمین کنگره ملی علوم زراعت و اصلاح نباتات و سومین همایش علوم و تکنولوژی بذر ایران. ۶-۴ شهریور، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، کرج. ایران.

قائدی جشنی، م. و موسوی نیک، س.م. (۱۳۹۴). تأثیر تنش خشکی و کودهای فسفر و روی بر صفات زراعی مورفولوژیکی و میزان اسانس بابونه آلمانی. تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۸(۱)، ۷۲-۶۵.

لباسچي، م.ح. و شریفي عاشورآبادي، ا. (۱۳۸۳). شاخص‌های رشد برخي گونه‌های گیاهان دارویي در شرایط مختلف تنش خشكي. تحقیقات گیاهان دارویي و معطر ایران. ۲۰(۳)، ۲۶۱-۲۴۹

مجنون حسینی، ن. و دوازده‌امامی، س. (۱۳۸۸). زراعت و تولید برخی گیاهان دارویی و ادویه‌ای. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۲۰ صفحه.

محمدی، ع.، مجیدی، ا.، بی‌همتا، م. ر. و حیدری شریف‌آباد، ح. (۱۳۸۵). ارزیابی تنش خشکی بر روی خصوصیات زراعی مورفولوژیکی در تعدادی از ارقام گندم. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۷۳: ۱۹۲-۱۸۵.

موسوی، س.غ.، ثقه‌الاسلامی، م.ج. و موسوی، س.م. (۱۳۹۱). تأثیر تنش خشکی و مقادیر نیتروژن بر عملکرد و راندمان مصرف آب رازیانه (*Foenicolum vulgare* Mill.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۵(۲)، ۱۴۵-۱۳۵.

وحیدی‌پور، ط.ج. و برادران ر. (۱۳۹۱). اثر دور آبیاری و کود نیتروژن بر عملکرد دانه و اجزاء آن بر گیاه دارویی زنیان. سومین همایش ملی علوم کشاورزی و صنایع غذایی. ۱۵ آذر ۱۳۹۱. دانشگاه آزاد اسلامی واحد فسا.

Ahmad, P. (2016). Water Stress and Crop plants: a Sustainable approach. John Wiley & Sons, Ltd. pp. 343-355

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.

Arnon, A.N. (1967). Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal, 23, 112-121.

Ashraf, M. and Foolad, M.R. (2007). Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany, 59, 206-216.

Azhar, N., Hussain, B., Ashraf, M.Y. and Abbasi, K.Y. (2011). Water stress mediated changes in growth, physiology and secondary metabolites of desi ajwain (*Trachyspermum ammi* L.). Pakistan Jouranl of Botany, 43(1), 15-19.

Benjamin, J.G. and Nielsen, D.C. (2006). Water deficit effects on root distribution of soybean, field pea and chickpea. Field Crops Research, 97, 248-253.

Brar, G.S., Kar, S. and Singh, N.T. (1990). Photosynthetic response of wheat to soil water deficits in the tropics. Agronomy Journal, 164, 343-348.

Byrd, G.T., Sage, R.F. and Brown, R.H. (1992). A comparison of dark respiration between C3 and C4 plants. Plant Physiology, 100, 191–198.

Coleman, W.K. (2008). Evaluation of wild *Solanum* species for drought resistance. 1. *Solanum gandarillasii* Cardenas. Environmental and Experimental Botany, 62(3), 221-230.

Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., Basra, S.M.A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanismsand management. Agronomy for Sustainable Development, 29(1), 185-212.

Hopkins, W.G. and Huner, N.P. (2004). Introduction to Plant Physiology (3rd ed.). John Wiely & Sons, New York. 560p.

Hsiao, T.C. (1973). Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Physiology, 24, 519-570.

Jeyaramraja, P.R., Meenakshi, S.N., Kumar, R.S., Joshi S.D. and Ramasubramanian B. (2005).

Ramakrishna, A. and Ravishankar, G.A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior, 6(11), 1720-1731.

Rhoades, J.D., Kandiah, A. and Mashali, A.M. (1992). The Use of Saline Waters for Crop Production. FAO Irrigation and Drainage, FAO, Rome, 48p.

Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan J.F. and Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. Agronomy Journal, 97, 106-112.

Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camelia sinensis*) plants. Plant Physiology, 162, 413-419.

Lambers, H., Stuart Chapin III, F. and Pons, T.L. (2008). Plant Physiological Ecology (2nd ed.). Springer-Verlag, New York, 605p.

Passarkli, M. (2010). Handbook of Plant and Crop Stress. (3rd edition). CRC press, Boca Raton, USA. 1245p.

Patel, B.S., Sadaria, S.G. and Patel, J.C. (1996). Influence of irrigateion, nitrogen and phosphorus on yield, nutrient uptake and water use efficiency of blond pysllium (*Plantago ovata*). Indian Journal of Agronomy, 41, 136-139.

Journal of Medicinal Plants Biotechnology
Vol 6, No 1, Spring & Summer 2020

The effect of low irrigation regime on biomarkers of two local variety of ajwain (*Trachyspermum ammi* L.)

Majid Jami Al-Ahmadi[*1], Ali Shahidi[2], Razieh Kelatehbojdi[3]

Abstract

Deficit irrigation is one of the new ways to reduce the effects of drought stress because crops can be supplied with available water in a controlled manner throughout the growing season. In order to investigate the effects of deficit irrigation on two local variety of ajwain, a factorial experiment was conducted based on a randomized complete block design with three replications in 2017 in the Research Farm of University of Birjand, Iran. The factors included three levels of soil moisture deficit (SMD: 50, 75 and 100 percent of field capacity), and two landraces of ajwain (Birjand and Sistan). Vegetative traits including plant height, leaf area and weight, yield components and quantitative and qualitative yield were measured. Resutls revealed that a reduction in the irrigation level, from 100 to 50% of field capacity, caused the grain yield, essential oil yield, biological yield, seed weight and number of umbels per plant to be reduced significantly. Sistan landrace had a higher chlorophyll a and b and carotenoid contents than Birjand, which may reflect an increase in the special leaf area (increased thickness) of Sistan landrace. Two landraces showed a different response to reduced irrigation. The growth characteristics and quantitative and qualitative yields of Sistan landrace were less affected by low irrigation levels, compared to Birjand landrace. In general, it can be said that the local variety of Sistan has a better compatability with deficit irrigation; however there was no significant difference between grain yield and essential oil yield of these two landraces.

Keywords: Ajwain, Deficit irrigation, Dry matter, Leaf area, Plant height

[1] * Corresponding Author: Associated Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran. E-Mail: mjamialahmadi@birjand.ac.ir
[2] Associated Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.
[3] Former MSc. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran.