

اثر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس *Ocimum americanum* L. و *Ocimum basilicum* L. دو گونه

دیاکو رسولی^{۱*} و براتعلی فاخری^۲

*۱- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترا، رشته بیوتکنولوژی کشاورزی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، ایران

پست الکترونیک: diakorasouli@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه اصلاح نباتات و بیوتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، ایران

تاریخ پذیرش: بهمن ۱۳۹۴

تاریخ اصلاح نهایی: بهمن ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۴

چکیده

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس دو گونه *O. basilicum* L. و *O. americanum* L. آزمایشی در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با ۳ تکرار در شرایط گلخانه اجرا شد. تیمارهای خشکی شامل ۱۰۰ (بدون تنش خشکی)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی بر دو گونه ریحان در نظر گرفته شدند. صفات اندازه‌گیری شده شامل وزن تر و خشک شاخ و برگ، اسانس، عملکرد اسانس، هیدرات‌کربن، پرولین، نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم بودند. نتایج نشان داد که در هر دو گونه ریحان مورد مطالعه با افزایش سطوح تنش خشکی از شاهد به ۴۰٪ ظرفیت زراعی بر درصد اسانس، هیدرات‌کربن و پرولین (۲۸، ۴۶ و ۵۰ درصد) افزوده و از میزان وزن تر و خشک شاخ و برگ، عملکرد اسانس، نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم (۵۸، ۵۸/۷، ۴۴، ۱۹، ۱۶، ۳۹ و ۲۳ درصد) کاسته شد. در گونه *O. americanum* تحت تنش خشکی، وزن تر و خشک شاخ و برگ، هیدرات‌کربن، پرولین، نیتروژن، پروتئین و فسفر افزایش معنی‌داری نشان داد، در حالی‌که در گونه *O. basilicum* فقط درصد اسانس افزایش معنی‌داری داشت. در این پژوهش مشخص شد که بیشتر مؤلفه‌های رشد در تنش ملایم (۸۰٪ ظرفیت زراعی) بیشترین عملکرد را داشتند. از طرفی درصد اسانس در تنش بالا با افزایش معنی‌داری مواجه گردید، به طوری که در گونه *O. basilicum* بیشترین میزان اسانس در تنش ۶۰٪ ظرفیت زراعی حاصل شد. نتایج کلی حاصل از این تحقیق بیانگر این مطلب بود که در تنش متوسط، عملکرد رویشی گیاه و در تنش نسبتاً شدید، درصد اسانس افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، اسانس، پرولین، *Ocimum basilicum* L.، *Ocimum americanum* L.

مقدمه

علمی *Ocimum basilicum* L. مهمترین گونه اقتصادی جنس *Ocimum* است. منشأ این گیاه هند، ایران و افغانستان گزارش شده‌است اما تقریباً در تمام مناطق گرم و معتدل کشت شده و

ریحان گیاهی علفی از تیره نعناعیان است که بین ۵۰ تا ۱۵۰ گونه برای آن معرفی شده‌است. ریحان معمولی با نام

تشکیل دهنده اسانس نیز متفاوت است، اما به طور کلی لینالول، متیل کایوکول، سیترال، اوژنول، سینئول، ژرانیول، کامفور و متیل سینامات از اجزاء مهم اسانس ریحان می‌باشند (Ozek *et al.*, 1995). در گیاهان دارویی تولید متابولیت‌های ثانویه تحت کنترل ژنتیکی است، ولی عوامل محیطی به‌ویژه شرایط تنش‌زا، مانند خشکی و شوری نقش عمده‌ای در کمیت و کیفیت این مواد به عهده دارند (Alishah *et al.*, 2006). تنش خشکی شایع‌ترین تنش محیطی است که به طور تقریبی موجب محدودیت تولید در ۲۵٪ زمین‌های دنیا شده است (Hashemi-Dezfouli *et al.*, 1995). این تنش باعث کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، بیوماس، رشد و در نهایت عملکرد گیاه می‌شود (Abdul Jaleel *et al.*, 2009؛ Bhatt & Srinivasa, 2005). در واقع، کمبود آب به‌عنوان یکی از عوامل اقلیمی عمده‌ای که توزیع و پراکنش گیاهان را در سرتاسر دنیا مشخص می‌کند، ممکن است باعث تغییرات مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی متعددی در گیاهان گردد (Chalker-Scott, 2002). کشور ما نیز در بخشی از کره زمین قرار گرفته است که نزولات جوی در بسیاری از نقاط آن نیاز آبی گیاهان زراعی، باغی و دارویی را تأمین نمی‌کند (Omidbaigi, 1997). با وجود اینکه در رابطه با تنش آبی بر روی محصولات زراعی تحقیقات وسیعی انجام شده است اما متأسفانه رفتار گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط کمبود آب به خوبی مطالعه نشده است. مطالعات نشان داده‌اند که تنش ناشی از کمبود آب در گیاهان باعث تخریب غشای سلولی، تخریب و کاهش پروتئین‌ها، انباشت پرولین و سایر اسیدهای آمینه، تخریب آنزیم‌ها، تولید مواد سمی و اختلالات هورمونی از جمله افزایش اسید آبسزیک و کاهش تحریک‌کننده‌های رشد، آسیب به رنگیزه‌ها و پلاستیدها، کاهش مقدار و سنتز کلروفیل، کاهش رشد ریشه و گل‌های تلقیح شده می‌شود (Chalker-Scott, 2002). کاهش آبیاری تا حد ۳۰٪ ظرفیت زراعی در طی ده روز

در بیشتر فارماکوپه‌ها به‌عنوان یک گیاه دارویی مهم معرفی شده است (Omidbaigi, 1997). از برگ‌ها و اسانس آن برای معالجه برخی بیماری‌ها مانند سردرد، سرماخوردگی، اسهال و نارسایی کلیه استفاده می‌شود. مواد مؤثره پیکر رویشی این گیاه حاوی مواد اشتهاآوری است که برای درمان نفخ، تقویت دستگاه گوارش و تسکین حس خستگی استفاده می‌شود (Chalchat & Ozcan, 2008). گونه‌ای *O. americanum* دیگر از ریحان است که بسیار معطر، علفی، یک‌ساله، منشعب و دارای گل‌های سفید مایل به ارغوانی بوده که اسانس برگ‌ها و گل‌آذین آن حاوی خواص ضد قارچی و ضد باکتریایی قوی می‌باشد. این گونه به نسبت گونه *basilicum* کمتر مصرف خوراکی داشته و به دلیل وجود خواص ضد میکروبی در مواد مؤثره آن بیشتر مصرف درمانی دارد. با وجود اسم گمراه‌کننده، این گونه بومی آفریقا، شبه قاره هند، چین و آسیای جنوب‌شرقی است (Khalid, 2006). *O. americanum* در برزیل برای درمان بیماری‌های کلیوی و روماتیسم و در سودان و هند برای مقابله با انگل‌های پوستی مورد استفاده قرار گرفته است (Small, 1997). در ایران بیشترین سطح زیر کشت *O. basilicum* در استانهای فارس، اصفهان، کرمان و تهران می‌باشد (Omidbaigi, 1997)، اما کشت *O. americanum* تاکنون در کشور به صورت تجاری و در سطح وسیع گزارش نشده است. ریحان مانند سایر گیاهان تیره نعناع منبع ترکیب‌های حلقوی و اسانس است، که دافع حشرات بوده و عملکرد ضد باکتری، ضد قارچ، ضد ویروس و ضد اکسایشی دارد. مقدار اسانس آن با توجه به شرایط اقلیمی محل رویش، بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد متغیر است. همچنین حاوی طیف وسیعی از ترکیب‌های فنلی مانند فلاونوئیدها، آنتوسیانین‌ها و فنیل پروپانوئیدها است (Juliani & Simon, 2002). البته برخی از گونه‌های ریحان از نظر قابلیت ژنتیکی، تولید اسانس بیشتری دارند و تنوع ترکیب‌هایی که در کرک‌ها تجمع می‌یابد نیز بیشتر است (Iijima *et al.*, 2004). ترکیب‌های

در سال ۹۳-۱۳۹۲ در شرایط گلخانه دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل اجرا شد، آزمایش در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی، با ۳ تکرار اجرا گردید. تیمارهای آبیاری مورد استفاده برای اعمال تنش آبی، شاهد یا ۱۰۰٪ (نگهداری رطوبت در حد ظرفیت گلدان)، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد ظرفیت زراعی تعیین گردید. بافت خاک مورد استفاده در گلدانها از نوع لومی تعیین شد. بذر گیاهان مورد نظر از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه گردید و پس از اطمینان از سالم بودن قوه نامیه بذرها، در داخل گلدانهای پلاستیکی با قطر دهانه ۲۲/۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی متر در ۱۵ اردیبهشت کشت گردید. در مجموع ۲۴ گلدان برای کشت استفاده شد. بعد از سبز شدن، بوته‌ها در طی چند مرحله تنک گردیدند و در نهایت داخل هر گلدان ۸ بوته به فاصله ۳ سانتی متر از یکدیگر نگهداری شدند. تا ۲۰ روز پس از کاشت (مرحله ۴ تا ۶ برگی شدن بوته‌ها)، گلدانها به مقدار مساوی آبیاری گردیدند و از این مرحله به بعد، تیمارهای آبیاری با کمک پروب P3 دستگاه TDR اعمال شد. درصد حجمی رطوبت در ظرفیت زراعی ۳۲/۵٪ و در نقطه پژمردگی ۱۲/۵٪ تعیین گردید. آبیاری برای شرایط عادی در ظرفیت زراعی و برای شرایط تنش به ترتیب در ۸۰٪ ظرفیت زراعی (۲۶٪ حجمی)، ۶۰٪ ظرفیت زراعی (۱۹/۵٪ حجمی) و ۴۰٪ ظرفیت زراعی (۱۳٪ حجمی) انجام شد. به منظور اندازه‌گیری وزن تر شاخ و برگ، ابتدا اندام هوایی گیاه برای هر نمونه جدا شده و اندازه‌گیری شد، سپس نمونه‌ها داخل پاکت‌های کاغذی به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد در آون قرار داده شده و در نهایت وزن خشک آنها اندازه‌گیری گردید (Kumar & Singh, 1998). برای اندازه‌گیری هیدرات‌کربن، با استفاده از اتانول ۹۵٪ و براساس روش اسید سولفوریک، هیدرات‌کربن برگ استخراج شد (Lrigoyen & Emerich,

موجب کاهش توان بالقوه آبی برگ از ۰/۵ تا ۰/۸۷ مگاپاسکال در گیاه لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) شد (Ramos & Gordon, 1999). Simon و همکاران (۱۹۹۲) اثر رژیم‌های مختلف آبی را بر روی گیاه ریحان بررسی کرده و گزارش کردند که با کاهش قابلیت آب برگ از ۰/۳- مگاپاسکال (شاهد) به ۱/۱۲- مگاپاسکال (تنش آبی متوسط) مقدار اسانس برگها از ۳/۱ به ۶/۲ میکرولیتر در گرم وزن خشک برگ افزایش و وزن خشک برگ و ساقه با تشدید کمبود آب کاهش یافتند. اثر دور آبیاری (فواصل ۷، ۱۴ و ۲۸ روز) بر روی گیاه ریحان نشان داد که با طولانی شدن دور آبیاری، با وجود اینکه رشد گیاه و عملکرد اسانس کاهش یافت، ولی درصد اسانس افزایش یافت (Charles & Refaat, 1997). Charles و همکاران (۱۹۹۰) گزارش کردند که در گیاه نعناع میزان ماده خشک و عملکرد اسانس با انجام آبیاری بیشتر، افزایش می‌یابد. بنابراین واضح است که برای فهم و درک موجودیت و ادامه حیات گیاهان دارویی در نواحی خشک، ارزیابی عملکرد و تعیین شرایط بهینه برای کشت آنها نیاز به اطلاعات بیشتری در مورد واکنش آنها نسبت به کمبود آب وجود دارد (Letchamo & Gosselin, 1996). با توجه به اهمیت جنس *Ocimum* و همچنین موقعیت جغرافیایی ایران از لحاظ شرایط آب و هوایی خشک و نیمه‌خشک، در این تحقیق به بررسی عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس دو گونه *O. basilicum* و *O. americanum* ریحان پرداخته شده است تا توانایی این گیاهان به عنوان گونه‌های دارویی مهم در معرض تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر تنش خشکی بر عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیبات اسانس دو گونه

Varin-3400 متصل شده با طیف‌سنج جرمی (Saturn II)، ستون DB-5 و نیمه قطبی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵ میکرون و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون، دتکتور Ion trap، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان گاز حامل ۳۵ میلی‌لیتر بر دقیقه و انرژی یونیزاسیون در طیف‌سنج جرمی برابر ۷۰ الکترون وات، برنامه حرارتی ۲۴۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۳ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و دمای محفظه تزریق ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد بود) تجزیه شد. پس از تزریق اسانس به دستگاه‌های ذکر شده، با استفاده از زمان بازداری ترکیب‌ها (tR)، اندیس بازداری (RT)، طیف جرمی و مقایسه این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد و یا با اطلاعات موجود در کتابخانه نسبت به شناسایی ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس اقدام گردید. درصد کمی این ترکیب‌ها نیز با محاسبه سطوح زیر منحنی در کروماتوگراف‌ها محاسبه شد (Ozturk et al., 2004). تجزیه و تحلیل داده‌ها (تجزیه واریانس و مقایسه میانگین به روش چند دامنه‌ای دانکن) با استفاده از نسخه ۹/۲ نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج

وزن تر و خشک شاخ و برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر متقابل تنش و گونه بر وزن تر و خشک شاخ و برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در تنش ۸۰٪ ظرفیت زراعی بیشترین درصد وزن تر و خشک شاخ و برگ نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۲۶/۴٪ و ۲۲/۳٪) مربوط به گونه *O. americanum* و کمترین درصد مربوط به تنش ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۶۲٪ و ۵۹/۵٪) در گونه *O. basilicum* بدست آمد (جدول ۳). در گونه *O. americanum*، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات وزن تر و خشک شاخ و برگ، عملکرد اسانس،

سنجش پرولین نیز به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) اندازه‌گیری گردید و میزان جذب در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر قرائت شد. اندازه‌گیری پروتئین با استفاده از بافر تریس اسید کلریدریک و براساس روش Bradford (۱۹۷۶) انجام گردید. به منظور سنجش و اندازه‌گیری اثر تیمارهای خشکی بر غلظت نیترژن در دو گونه ریحان، غلظت نیترژن به روش کجلدال و پتاسیم به روش فلیم فتومتری بدست آمد. برای تعیین میزان فسفر بخش هوایی، از روش کالرومتری یا رنگ‌سنجی استفاده شد و در نهایت جذب آن در طول موج ۷۳۰ نانومتر با استفاده از محلول‌های استاندارد فسفر در محدوده ۱۰-۱۰۰ ppm اندازه‌گیری و نتایج بر اساس درصد فسفر در بافت مورد نظر محاسبه گردید.

برای استخراج و اندازه‌گیری اسانس، بوته‌ها در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و در سایه خشک شدند و بعد با استفاده از دستگاه کلونجر و روش تقطیر با آب، اسانس‌گیری شدند. تعیین ترکیب‌های اسانس با استفاده از دستگاه GC/Mass و GC انجام شد. از هر نمونه خشک شده ۱۰۰ گرم آسیاب گردید و به مدت دو ساعت با استفاده از روش تقطیر با آب، اسانس‌گیری و درصد آن تعیین شد. ترکیب‌های تشکیل‌دهنده توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) مدل شیمادزو (Shimadzu) 9A انجام گردید. این دستگاه مجهز به دتکتور F.I.D (یونیزاسیون شعله هیدروژن) و داده‌پرداز Chromatepac، ستون DB-5 و نیمه قطبی به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۲۵ میکرون و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون، گاز حامل هلیوم، سرعت جریان گاز حامل ۲۲/۷ سانتی‌متر بر ثانیه، برنامه حرارتی ۲۵۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۴ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه و دمای محفظه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد بود. کروماتوگرافی گازی مجهز به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) (کروماتوگرافی گازی

(۴۰٪ ظرفیت زراعی) افزایش معنی داری (۱/۶٪) نسبت به تیمار شاهد نشان داد. اما میزان متیل کائوبیکول، ۸،۱-سینئول و ژرانیول تحت تیمارهای خشکی افزایش معنی داری نشان ندادند. در گونه *O. americanum* میزان متیل کائوبیکول و اوژنول تحت تنش خشکی افزایش معنی داری نشان دادند، به طوری که بیشترین میزان متیل کائوبیکول و اوژنول به ترتیب ۱۹/۱٪ و ۱۲/۷٪ در تنش ۶۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد بود. همبستگی بین اسانس و هیدرات‌کربن و پرولین در گونه *O. americanum* مثبت و معنی‌دار و بین اسانس با وزن تر و خشک شاخ و برگ، نیتروژن و پتاسیم منفی و معنی‌دار بود. همچنین در گونه *O. basilicum* همبستگی بین اسانس با هیدرات‌کربن و پرولین مثبت و معنی‌دار و با نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم منفی و معنی‌دار بود (جدول ۴).

عملکرد اسانس

عملکرد اسانس در تیمارهای مختلف خشکی در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). در تنش ۸۰٪ ظرفیت زراعی عملکرد اسانس ۳۴٪ نسبت به تیمار شاهد افزایش نشان داد، در حالیکه در تنش ۴۰٪، کاهش ۴۴/۶ درصدی نسبت به تیمار شاهد داشت (جدول ۲). در گونه *O. americanum* ضرایب همبستگی بین عملکرد اسانس با وزن تر و خشک شاخ و برگ، نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم مثبت و معنی‌دار و با هیدرات‌کربن و پرولین منفی و معنی‌دار بود. همچنین در گونه *O. basilicum* همبستگی بین عملکرد اسانس با وزن تر و خشک شاخ و برگ مثبت و معنی‌دار و با هیدرات‌کربن و پرولین منفی و معنی‌دار بود (جدول ۴).

هیدرات‌کربن و پرولین

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که اثر متقابل تنش و گونه برای هیدرات‌کربن و پرولین در سطح ۱٪ معنی‌دار

نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم وجود داشت، در حالیکه بین وزن تر و خشک شاخ و برگ با درصد اسانس، هیدرات‌کربن و پرولین همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده شد. همچنین در گونه *O. basilicum* بین وزن تر و خشک شاخ و برگ با عملکرد اسانس و فسفر همبستگی مثبت و معنی‌دار و وزن تر و خشک شاخ و برگ با هیدرات‌کربن و پرولین همبستگی منفی و معنی‌دار مشاهده گردید (جدول ۴).

اسانس

درصد اسانس در تیمارهای خشکی و نوع گونه در سطح ۱٪ معنی‌دار بود (جدول ۱). به طوری که بیشترین درصد اسانس مربوط به تنش ۶۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (۲۵/۸٪) بود که اختلاف معنی‌داری با تنش ۴۰٪ نداشت، در حالیکه کمترین درصد اسانس مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۲).

نوع ترکیب‌های سازنده اسانس موجود در بخش هوایی گونه‌های ریحان پس از استخراج با دستگاه GC و GC/MS تحلیل شد (جدول ۵). ترکیب غالب اسانس بخش هوایی گونه‌های ریحان در این تحقیق در گروه شاهد و گروه تحت تنش در گونه *O. basilicum* شامل متیل کائوبیکول، لینالول، ۸،۱-سینئول و ژرانیول و در گونه *O. americanum* شامل اوژنول، متیل کائوبیکول و گاما-ترپین بودند، گرچه میزان نسبی آنها در تیمارهای مختلف خشکی متفاوت بود. در دو گونه ریحان بعضی ترکیب‌ها به صورت مشترک و بعضی دیگر فقط در یک گونه وجود داشتند اما بیشتر ترکیب‌های غالب در هر دو گونه مشترک بودند. در کنار ترکیب‌های غالب سازنده اسانس در بخش هوایی گیاه ریحان حدود ۲۰ ترکیب غیر غالب نیز برای هر دو گونه اندازه‌گیری شد که تغییر نسبی آنها در گروه تیمار به نسبت گروه شاهد قابل ملاحظه نبودند. در گونه *O. basilicum* درصد لینالول در تنش شدید خشکی

فسفر

اثر متقابل تیمارهای خشکی و گونه های ریحان برای فسفر در سطح احتمال ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین درصد فسفر تحت تیمارهای خشکی در دو گونه ریحان مربوط به تیمارهای شاهد و ۸۰٪ ظرفیت زراعی بود که اختلاف معنی داری از نظر آماری با هم نداشتند. همچنین کمترین میزان فسفر در اثر متقابل تنش خشکی و گونه مربوط به تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (۵۴٪) در گونه *O. basilicum* مشاهده شد (جدول ۳). همبستگی بین فسفر با وزن تر و خشک شاخ و برگ، عملکرد اسانس، نیتروژن، پروتئین و پتاسیم در گونه *O. americanum* مثبت و معنی دار و با پرولین منفی و معنی دار بود. همچنین در گونه *O. basilicum* همبستگی بین فسفر با وزن تر و خشک شاخ و برگ، نیتروژن، پروتئین و پتاسیم مثبت و معنی دار و با درصد اسانس، هیدرات کربن و پرولین منفی و معنی دار بود (جدول ۴).

پتاسیم

میزان پتاسیم تحت تیمارهای خشکی در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). بیشترین درصد پتاسیم در گیاهان تحت تیمار شاهد و کمترین درصد آن نیز در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (۲۳/۲٪) حاصل شد (جدول ۲). در گونه *O. americanum* همبستگی بین پتاسیم با وزن تر و خشک شاخ و برگ، عملکرد اسانس، نیتروژن، پروتئین و فسفر مثبت و معنی دار و با درصد اسانس، هیدرات کربن و پرولین منفی و معنی دار بود. همچنین در گونه *O. basilicum* همبستگی بین پتاسیم، نیتروژن، پروتئین و فسفر مثبت و معنی دار و با درصد اسانس، هیدرات کربن و پرولین منفی و معنی دار بود (جدول ۴).

بود (جدول ۱). بیشترین درصد هیدرات کربن و پرولین در اثر متقابل تیمارهای خشکی و گونه های ریحان مربوط به تنش ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۴۸٪ و ۵۳/۲٪) متعلق به گونه *O. americanum* بود، همچنین کمترین درصد آن در تیمار شاهد و برای گونه *O. basilicum* مشاهده گردید (جدول ۳). همبستگی بین هیدرات کربن با پرولین و درصد اسانس در هر دو گونه *O. americanum* و *O. basilicum* مثبت و معنی دار بود که نشان داد با افزایش تنش خشکی بر میزان هیدرات کربن، پرولین و اسانس افزوده می شود.

نیتروژن و پروتئین

اثر متقابل تیمارهای خشکی و گونه های ریحان برای نیتروژن و پروتئین در سطح ۱٪ معنی دار بود (جدول ۱). به طوری که بیشترین درصد نیتروژن و پروتئین مربوط به تیمار ۸۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (به ترتیب ۲۰/۶٪ و ۲۱/۷٪) در گونه *O. americanum* بود، در حالیکه کمترین درصد نیتروژن در همان گونه در تیمار ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (۱۸/۹٪) مشاهده گردید. از طرفی کمترین میزان پروتئین مربوط به تیمار ۶۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد (۱۸/۴٪) برای گونه *O. basilicum* و تنش ۴۰٪ ظرفیت زراعی نسبت به تیمار شاهد برای هر دو گونه ریحان مشاهده شد که از نظر آماری اختلاف معنی داری باهم نداشتند و در یک گروه آماری قرار گرفتند (جدول ۳). ضرایب همبستگی بین نیتروژن و پروتئین با وزن تر و خشک شاخ و برگ، عملکرد اسانس، فسفر و پتاسیم در گونه *O. americanum* مثبت و معنی دار و با درصد اسانس و پرولین منفی و معنی دار بود. همچنین همبستگی بین نیتروژن و پروتئین با فسفر و پتاسیم در گونه *O. basilicum* مثبت و معنی دار و با درصد اسانس، هیدرات کربن و پرولین منفی و معنی دار بود (جدول ۴).

جدول ۱- تجزیه واریانس عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس گونه‌های ریحان تحت تنش خشکی

میانگین مربعات							درجه آزادی	وزن تر شاخه و برگ	وزن خشک شاخه و برگ	درصد اسانس	عملکرد اسانس	درصد هیدرات کربن	درصد پرولین	درصد نیتروژن	درصد پروتئین	درصد فسفر	درصد پتاسیم	منابع تغییر
درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد	درصد												
۰/۱۰ ns	۰/۰۰۵ ns	۱/۵۲ *	۰/۱۵ **	۰/۱۹ *	۱/۲۲ **	۰/۰۱۵ *	۰/۰۰۱ *	۱۵۱۵/۳۰ **	۴۵۱۰۳/۹ **	۲	تکرار							
۰/۶۷ **	۰/۱۲ **	۲۳/۸۱ **	۰/۶۹ **	۱۹/۷۴ **	۲۹/۴۳ **	۱/۱۵۹ **	۰/۰۰۸ **	۱۹۳۹۱۶/۷۴ **	۴۶۹۳۰۸۲/۲۴ **	۳	تنش خشکی							
۰/۱۴ ns	۰/۰۵ **	۱۱/۷۰ **	۰/۲۲ **	۱/۹۰ **	۳/۷۹ **	۰/۰۱۵ ns	۰/۰۲۶ **	۷۴۸۶۹/۱۵ **	۲۱۳۲۱۲۴/۵۲ **	۱	گونه							
۰/۰۶ ns	۰/۰۳ **	۱۴/۷۲ **	۰/۴۰ **	۱/۰۲ **	۰/۲۱ **	۰/۰۰۹ ns	۰/۰۰۱ ns	۲۸۹۶/۵۰ **	۹۶۲۹۵/۳۱ **	۳	تنش خشکی × گونه							
۰/۰۳۸	۰/۰۰۲	۰/۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۱۶۹/۴۵	۴۸۶۳/۶۴		خطا							
۶/۸۳	۷/۰۸	۳/۷۷	۳/۷۸	۳/۸۰	۱/۱۸	۵/۲۲	۶/۳۳	۳/۱۶	۳/۴۲		ضریب تغییرات (%)							

* و **: به ترتیب معنی دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns: غیر معنی دار

جدول ۲- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس گونه‌های ریحان تحت تنش خشکی

عوامل	سطوح عوامل	درصد اسانس	عملکرد اسانس	درصد پتاسیم
تنش خشکی بر حسب درصد ظرفیت زراعی	۱۰۰٪	۰/۲۳ c	۱/۱۲ b	۳/۳۱ a
	۸۰٪	۰/۲۸ b	۱/۷۰ a	۲/۹۵ b
	۶۰٪	۰/۳۱ a	۱/۰۹ b	۲/۷۰ bc
گونه	۴۰٪	۰/۳۰ a	۰/۶۲ c	۲/۵۴ c
	<i>Ocimum basilicum</i> L.	۰/۳۱ a	۱/۱۱ a	۲/۹۵ a
	<i>Ocimum americanum</i> L.	۰/۲۵ b	۱/۱۶ a	۲/۸۰ a

در هر ستون و برای هر تیمار، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

جدول ۳- مقایسه میانگین عملکرد کمی و کیفی، خصوصیات فیزیولوژیک و ترکیب‌های اسانس برای اثر متقابل تیمارهای تنش خشکی و گونه‌های ریحان مورد مطالعه

تنش خشکی	گونه	وزن تر شاخه و برگ	وزن خشک شاخه و برگ	درصد هیدرات کربن	درصد پرولین	درصد نیتروژن	درصد پروتئین	درصد فسفر
%۱۰۰	<i>Ocimum basilicum</i> L.	۲۱۲۹/۴۸ d	۴۲۷/۸۵ c	۵/۲۵ h	۳/۸۱ f	۲/۸۲ b	۱۷/۶۹ b	۰/۸۵ a
	<i>Ocimum americanum</i> L.	۲۵۴۲/۴۱ c	۵۳۵/۱۴ b	۵/۵۶ g	۴/۱۵ ef	۲/۶۹ b	۱۶/۸۴ b	۰/۷۳ b
%۸۰	<i>Ocimum basilicum</i> L.	۲۶۸۱/۱۸ b	۵۴۶/۰۸ b	۶/۴۰ f	۴/۶۶ d	۲/۴۳ c	۱۵/۴۸ c	۰/۶۶ bcd
	<i>Ocimum americanum</i> L.	۳۴۵۵/۸۵ a	۶۸۸/۷۵ a	۷/۳۲ e	۴/۵۲ de	۳/۳۹ a	۲۱/۵۱ a	۰/۹۰ a
%۶۰	<i>Ocimum basilicum</i> L.	۱۳۳۳/۵۵ e	۲۷۳/۱۱ d	۹/۱۰ d	۶/۱۹ c	۲/۲۹ cd	۱۴/۴۳ c	۰/۶۱ cd
	<i>Ocimum americanum</i> L.	۲۱۸۴/۱۱ d	۴۱۸/۷۸ c	۹/۸۶ b	۶/۴۸ c	۲/۳۱ cd	۱۴/۸۳ c	۰/۶۸ bc
%۴۰	<i>Ocimum basilicum</i> L.	۸۰۷/۵۵ g	۱۷۲/۹۲ f	۹/۵۲ c	۷/۱۲ b	۲/۲۶ cd	۱۴/۴۵ c	۰/۳۹ e
	<i>Ocimum americanum</i> L.	۱۱۵۳/۸۵ f	۲۲۴/۱۱ e	۱۰/۷۲ a	۸/۸۸ a	۲/۱۸ d	۱۴/۴۵ c	۰/۵۸ d

در هر ستون برای برهم‌کنش تیمارها، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد.

جدول ۴- ضرایب همبستگی ساده صفات مورد بررسی در گونه‌های *O. americanum* L. و *O. basilicum* L.

وزن تر شاخه و برگ	وزن خشک شاخه و برگ	درصد اسانس	عملکرد اسانس	درصد هیدرات کربن	درصد پرولین	درصد نیتروژن	درصد پروتئین	درصد فسفر	درصد پتاسیم
۱	۰/۹۹ **	-۰/۳۶ ns	۰/۹۲ **	-۰/۸۳ **	-۰/۸۴ **	۰/۵۲ ns	۰/۵۵ ns	۰/۷۳ **	۰/۴۷ ns
۰/۹۹ **	۱	-۰/۳۶ ns	۰/۹۲ **	-۰/۸۲ **	-۰/۸۴ **	۰/۴۹ ns	۰/۵۴ ns	۰/۷۲ **	۰/۴۵ ns
-۰/۵۸ *	-۰/۶۳ *	۱	-۰/۰۰۷ ns	۰/۷۵ **	۰/۷۰ *	-۰/۶۷ *	-۰/۷۷ **	-۰/۶۲ *	-۰/۸۰ **
۰/۹۶ **	۰/۹۵ **	-۰/۳۹ ns	۱	-۰/۵۸ *	-۰/۶۲ *	۰/۲۳ ns	۰/۲۵ ns	۰/۵۲ ns	۰/۱۶ ns
-۰/۶۸ *	-۰/۷۴ **	۰/۸۲ **	-۰/۵۹ *	۱	۰/۹۷ **	-۰/۶۹ *	-۰/۷۸ **	-۰/۸۵ **	-۰/۷۸ **
-۰/۸۷ **	-۰/۹۱ **	۰/۷۳ **	-۰/۸۲ **	۰/۹۱ **	۱	-۰/۷۲ **	-۰/۷۹ **	-۰/۹۱ **	-۰/۷۸ **
۰/۹۰ **	۰/۹۱ **	-۰/۵۹ *	۰/۸۶ **	-۰/۵۸ *	-۰/۷۳ **	۱	۰/۹۷ **	۰/۸۲ **	۰/۷۳ **
۰/۸۸ **	۰/۸۸ **	-۰/۵۵ ns	۰/۸۴ **	-۰/۵۵ ns	-۰/۶۷ *	۰/۹۷ **	۱	۰/۸۳ **	۰/۷۶ **
۰/۹۲ **	۰/۹۰ **	-۰/۵۷ ns	۰/۸۶ **	-۰/۵۳ ns	-۰/۷۳ **	۰/۸۸ **	۰/۸۴ **	۱	۰/۷۹ **
۰/۷۶ **	۰/۷۹ **	۰/۷۴ **	۰/۶۴ *	-۰/۷۹ **	-۰/۸۸ **	۰/۷۱ **	۰/۵۹ *	۰/۶۹ *	۱

* و **: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵٪ و ۱٪ و ns: غیر معنی‌دار

پایین جدول ضرایب همبستگی *O. americanum* L. و بالای جدول ضرایب همبستگی *O. basilicum* L.

جدول ۵- اثر تنش خشکی بر ترکیب‌های اسانس گونه‌های ریحان مورد مطالعه

<i>Ocimum americanum L.</i>				<i>Ocimum basilicum L.</i>				شاخص بازداری (RI)	ترکیب‌ها	
%۴۰	%۶۰	%۸۰	%۱۰۰	%۴۰	%۶۰	%۸۰	%۱۰۰			
۱/۱	۰/۱۰	۱/۱	۱/۳	۹۳۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۹۲۹	α -pinene
-	-	-	-	-	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۹۵۴	camphene
-	-	-	-	-	۰/۴	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۹۷۲	sabinene
۱/۲	۰/۳	۰/۳	۱/۲	۹۸۳	۱/۰	۱/۸	۱/۶	۰/۵	۹۸۲	S-pinene
۰/۲	۰/۲	۰/۱	۱/۳	۹۹۳	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۹۹۱	myrcene
۱/۱	۰/۲	۰/۲	۲/۳	۱۰۰۶	-	-	-	-	-	β -terpinene
۱/۰	۰/۱	۰/۱	۱/۶	۱۰۲۴	۱/۱	۱/۲	۱/۳	۱/۲	۱۰۲۵	limonene
۱۰/۶	۱۲/۴	۱۳/۲	۹/۷	۱۰۲۷	-	-	-	-	-	-farnesene
۱۵/۷	۱۴/۰	۱۴/۶	۱۳/۹	۱۰۶۰	-	-	-	-	-	-terpinene
۱/۸	۰/۷	۰/۸	۱/۹	۱۰۶۸	-	-	-	-	-	linalyl acetate
۲/۹	۳/۶	۴/۱	۲/۸	۱۰۸۰	۹/۹	۸/۸	۸/۷	۹/۴	۱۰۸۲	1,8-cineol
-	-	-	-	-	۱/۱	۱/۳	۱/۲	۱/۱	۱۰۸۹	terpinolene
۱/۹	۲/۱	۱/۹	۲/۰	۱۰۹۷	۳۵/۶	۳۲/۸	۳۲/۵	۳۳/۴	۱۱۰۰	linalool
۲/۰	۲/۲	۲/۳	۲/۰	۱۱۲۹	۱/۹	۱/۸	۱/۵	۱/۶	۱۱۲۷	camphore
۹۲۲	۲۵/۶	۲۴/۹	۲۰/۷	۱۱۹۵	۳۴/۵	۳۴/۶	۳۴/۰	۳۵/۰	۱۱۹۴	methyl-chavicol
۲۹/۴	۲۹/۹	۲۷/۷	۲۶/۱	۱۲۳۶	۱/۰	۲/۶	۲/۷	۱/۵	۱۲۳۴	eugenol
۰/۶	۱/۰	۰/۹	۳/۷	۱۳۲۷	۱/۰	۳/۹	۳/۲	۱/۵	۱۳۳۰	methyl-eugenol
-	-	-	-	-	۰/۷	۱/۸	۱/۶	۱/۸	۱۴۰۵	S-caryophyllene
-	-	-	-	-	۶/۰	۵/۶	۵/۱	۵/۸	۱۴۳۱	geraniol
-	-	-	-	-	۱/۱	۱/۲	۱/۰	۱/۳	۱۴۶۹	germacrene D
-	-	-	-	-	۱/۰	۱/۱	۱/۰	۰/۹	۱۴۸۳	geranyl iso-butyrate
-	-	-	-	-	۰/۹	۱/۲	۱۳/۰	۱/۴	۱۵۰۸	β -cadinol
۴/۹	۵/۹	۵/۹	۳/۸	۱۵۰۹	-	-	-	-	-	S-bisabolene
۱/۷	۱/۰	۱/۱	۳/۱	۱۵۱۱	-	-	-	-	-	iso-eugenol
۰/۹	۰/۸	۰/۹	۲/۸	۱۵۲۹	-	-	-	-	-	S-farnesol

بحث

هستند به دلیل کاهش سریع اسیدهای آمینه آزادی است که تبدیل به پروتئین شده‌اند. همچنین کاهش در محتوای پروتئین در سطوح شدید تنش خشکی می‌تواند به علت کاهش در سنتز بعضی پروتئین‌ها و یا احتمالاً افزایش فعالیت آنزیم‌های پروتئولیتیک باشد (Panda, 2007؛ Khudsar & Iqbal, 2001). Sundaramoorthy و همکاران (۲۰۱۰) در گزارشی بیان کردند که کاهش در محتوای پروتئین گیاهان تحت تیمار با تنش‌های بالای خشکی می‌تواند بر اثر تفاوت در انواع فعال اکسیژن (ROS) باشد، به گونه‌ای که ROS با صدمه زدن به پروتئوم گیاه باعث نابودی شمار زیادی از پروتئین‌های گیاه می‌شود. بررسی‌ها در شرایط تنش خشکی نشان داده است که توانایی جذب فسفر توسط ریشه‌های گیاه ضعیف بوده و دلیل این موضوع کاهش قابلیت تحرک فسفر در خاک‌هایی با محتوای پایین آب است، زیرا محتوای آب خاک بر واکنش‌های تجزیه‌ای و فعالیت‌های بیولوژیکی آن تأثیرگذار است (Marschner, 1995). Kuchenbuch و همکاران (۱۹۸۶) دریافتند که کاهش محتوای آب خاک، سبب کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه‌های پیاز شد. Zarif-Ketabi و همکاران (۲۰۰۰) نیز گزارش کردند که تیمار خشکی بر چند گونه یونجه سبب کاهش تجمع پتاسیم در برگ شده‌است. دلیل این موضوع را کاهش جذب پتاسیم توسط ریشه اعلام کردند. احتمالاً علت کاهش پتاسیم در شرایط تنش خشکی، کاهش میزان حلالیت پتاسیم و متعاقباً کاهش جذب آن توسط ریشه‌های گیاه است. از سوی دیگر کلوئیدهای خاک با قدرت بیشتری پتاسیم را جذب می‌کنند و مانع جذب آن توسط ریشه می‌شوند (Marschner, 1995).

با توجه به نتایج تحقیق بیشتر مؤلفه‌های رشد در اثر تنش‌های ۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی کاهش نشان دادند، این در حالیست که افزایش تنش خشکی از ۱۰۰٪ به ۴۰٪ ظرفیت زراعی باعث افزایش میزان اسانس، پرولین و هیدرات‌کربن شد، که با یافته‌های سایر محققان مطابقت داشت.

نتایج بدست آمده از این تحقیق بیانگر آن بود که افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش وزن تر و خشک شاخه و برگ، عملکرد اسانس، نیتروژن، پروتئین، فسفر و پتاسیم می‌شود، در حالیکه بر درصد اسانس، پرولین و هیدرات‌کربن افزوده می‌گردد. گیاه برای رویارویی با تنش آبی، از طریق افزایش نسبت وزن ریشه به شاخه تا حدودی با کمبود آب مقابله می‌کند ولی در نهایت با کاهش آب (تشدید تنش آبی) رشد رویشی گیاه (اندام هوایی و ریشه‌ها) کاهش می‌یابد (Alishah et al., 2006). Alishah و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند در شرایط کمبود آب وزن تر گیاه ریحان کاهش می‌یابد. Afzali و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند که در تیمارهای خشکی، وزن خشک گل بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla*) با افزایش شدت تنش خشکی کاهش یافت. بنابراین چنین به نظر می‌رسد که در شرایط تنش، تخصیص فراورده‌های فتوسنتزی به ریشه‌ها نسبت به شاخه‌ها افزایش می‌یابد و در صورت ادامه تنش آبی، با بسته شدن روزنه‌ها، سبب کاهش رشد پیکر رویشی و در نتیجه کاهش وزن خشک شاخه و برگ می‌شود. البته اثرات نامناسب تنش آبی در کاهش عملکرد اسانس (تنش شدید) و یا به عبارتی اثرات مساعد رطوبتی بالای خاک در افزایش عملکرد اسانس توسط Saleh و Refaat (۱۹۹۷) در آویشن و Solinas و Deiana (۱۹۹۶) در رزماری گزارش شده است. در مجموع رشد رویشی مناسب به همراه تنش کافی می‌تواند دلیل مناسبی برای بالا بودن عملکرد اسانس در تنش متوسط باشد. در این تحقیق نیز با توجه به اینکه تنش ۸۰٪، تنش ملایم خشکی می‌باشد باعث حداکثر عملکرد اسانس شده‌است، در حالیکه در تنش شدید خشکی عملکرد اسانس کاهش معنی‌داری نشان داد. Antolin و Yoller (۱۹۹۵) گزارش کردند که تنش‌های رطوبتی باعث کاهش درصد نیتروژن برگ می‌شوند، به طوری که میزان کم نیتروژن گیاهانی که در معرض تنش خشکی

تنظیم اسمزی در طی مواجه شدن با تنش می‌باشد. تحقیقات Heuer (۱۹۹۴) بیان کرد که در طی بروز تنش خشکی بر میزان تجمع ترکیب‌های آلی همانند پرولین و قندهای محلول در اندام‌های گیاهان افزوده می‌شود. پرولین اسیدآمینة ذخیره شده در سیتوپلاسم بوده و احتمالاً در حفاظت از ساختمان ماکرومولکول‌های درون سلول در طی تنش خشکی نقش مؤثری دارد. پرولین در واقع به‌عنوان یک شاخص در تعیین میزان حساسیت به تنش شوری و خشکی در گیاهان به‌شمار می‌رود. به‌طوری که بالا رفتن میزان این دو ترکیب در بافت‌های گیاهان به نوعی بیانگر فعال شدن سازوکار تنظیم اسمزی است که شرایط را برای جذب بیشتر آب و املاح از محیط ریشه فراهم می‌کند (Munns, 2002).

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش، کشت و پرورش ریحان در شرایط تنش خشکی شدید به‌دلیل پایین بودن عملکرد پیکر رویشی اقتصادی نبوده و قابل توصیه نیست. از طرفی با توجه به اینکه کشور ما جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و بیشتر نقاط آن از لحاظ میزان آبیاری دچار کمبود می‌باشد، ایجاد شرایط بدون تنش خشکی در کشت و پرورش این گیاهان امکان‌پذیر نیست. بنابراین با در نظر گرفتن شرایط کمبود آب در کشور، کشت ریحان در شرایط تنش خشکی ملایم برای افزایش عملکرد، عملی بوده و می‌تواند توجه اقتصادی داشته باشد. همچنین اعمال تنش‌های متوسط (۶۰٪ ظرفیت زراعی) باعث افزایش درصد اسانس در دو گونه ریحان مورد مطالعه گردید، بنابراین در تولید گیاهان دارویی همان قدر که وجود آب یکی از امکانات مهم زیست‌محیطی است، کمبود آب نیز یک واقعیت است که توان افزایش مواد مؤثره را دارد. بر همین اساس، محدودیت آب در تولید گیاهان دارویی می‌تواند راهکاری بدون هزینه در جهت افزایش تولید ترکیب‌های مؤثره باشد، از این‌رو مناطق نیمه‌خشک کشور، دارای قابلیت مناسبی برای کشت و پرورش گیاهان دارویی به‌منظور تولید اسانس می‌باشند.

Faker (۲۰۰۰) در مرزه نشان داد که درصد اسانس این گیاه در اثر تنش خشکی افزایش می‌یابد. همچنین در دو گیاه ریحان و نعناع نیز گزارش شده که بالا بودن غده‌های مترشحه اسانس در اثر کاهش سطح برگ ناشی از تنش خشکی، باعث تجمع بیشتر اسانس می‌شود (Charles *et al.*, 1990). اعمال تنش خشکی مقدار منتون و کل سزکویی‌ترین‌ها در نعناع (Charles *et al.*, 1990)، مقدار کل لیپیدها در مرزنگوش (Rhizopoulous & Diamatoglou, 1991)، لینالول و متیل‌کاوایکول را در ریحان (Simon *et al.*, 1992) افزایش داد. در مقابل میزان منتول، سینئول، پولگونون منتوفوران در اسانس نعناع (Charles *et al.*, 1990)، سزکویی‌ترین‌ها در ریحان (Simon *et al.*, 1992) و کارواکرول در مرزه (Ghorbanali *et al.*, 2001) کاهش نشان داد. در این آزمایش نیز شاید بتوان درصد بالای اسانس برای برخی ترکیب‌های غالب در دو گونه ریحان را در تیمار تنش متوسط و شدید (۶۰٪ و ۴۰٪ ظرفیت زراعی) با کاهش سطح برگ و متعاقب آن افزایش تراکم غده‌های ترشح‌کننده اسانس توجیه کرد. اما از طرفی، باید توجه داشت که افزایش درصد اسانس در تنش ۴۰٪ ظرفیت زراعی روندی نزولی داشته و با ادامه تنش شدید ۴۰٪ ظرفیت زراعی از درصد اسانس گیاه کاسته می‌شود. تأثیر تنش خشکی بر گیاهان معمولاً همراه با بروز یکسری سازوکارهای مقاومت است. یکی از سازوکارهای کارآمد که به‌هنگام مواجه شدن با خشکی برای حفظ تورژسانس و آماس سلولی در گیاهان بوجود می‌آید، تنظیم اسمزی است. تنظیم اسمزی در اثر انباشت ترکیب‌های آلی و معدنی در بافت‌ها بوجود می‌آید (Good & Zaplachinski, 1994) که در این میان کربوهیدرات‌های محلول و پرولین از اهمیت فراوانی برخوردارند. بالا رفتن میزان پرولین و کربوهیدرات‌ها در بخش‌های مختلف گیاهان به نوعی بیانگر فعال شدن سیستم

- quantitative and qualitative changes in the composition of essential oils Savory affect different irrigation during the vegetative and reproductive growth. *Journal of Research and Development*, 52: 40-45.
- Good, A. and Zaplachinski, S., 1994. The effects of drought on free amino acid accumulation and protein synthesis in *Brassica napus*. *Physiologia Plantarum*, 90: 9-14.
 - Hashemi-Dezfouli, A., Koucheiki, A. and Banayan, M., 1995. Increase crops yield. Mashhad University, Press, 287p.
 - Heuer, B., 1994. Osmoregulatory role of proline in water stress and salt-stressed plants: 363-481. In: Pessarkli, M., (Ed.). *Handbook of Plant and Crop Stress*. Marcel Dekker Publication, New York, 697p.
 - Iijima, Y., Rikanati, R.D., Fridman, E., Gang, D.R., Bar, E., Lewinsohn, E. and Pichersky, E., 2004. The biochemical and molecular basis for the divergent in the biosynthesis of terpenes and phenylpropanes in the peltate gland of three cultivars of basil. *Plant physiology*, 136: 3724-3736.
 - Juliani, H.R. and Simon, J.E., 2002. Antioxidant activity of basil. *Trends in New Crops and New Uses*, 575-579.
 - Khalid, K.A., 2006. Influence of water stress on growth, essential oil, and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics*, 20: 289-296.
 - Khudsar, T. and Iqbal, M., 2001. Cadmium-induced changes in leaf epidermis, photosynthetic rate and pigment concentrations in *Cajanus Cajun*. *Biologia Plantarum*, 44(1): 59-64.
 - Kuchenbuch, R., Claasen, N. and Jungk, A., 1986. Potassium availability in relation to soil moisture, II calculations by means of a mathematical simulation model. *Plant and Soil*, 95: 233-243.
 - Kumar, A. and Singh, D.P., 1998. Use of physiological indices as a screening technique for drought tolerance in oil seed *Brassica* Species. *Annals of Botany*, 81: 413-420.
 - Letchamo, W. and Gosselin, A., 1996. Transpiration, essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. *Journal of Horticultural Science*, 71: 123-134.
 - Lrigoyen, J.J. and Emerich, D.W., 1992. Water stress induced changes in concentration of praline and total soluble sugars in modulates alfalfa (*Medicago sativa*) plants. *Physiologic Planetarium*, 84: 55-60.
- ### منابع مورد استفاده
- Abdul Jaleel, C., Manivannan, P., Wahid, A., Farooq, M., Somasundaram, R. and Panneerselvam, R., 2009. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11: 100-105.
 - Afzali, S.F., Shariatmadari, I., Hajabbasi, M.A. and Moatar, F., 2007. Salinity and drought stress effects on flower yield and flavonol-O-glycosides in chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 23(3): 382-390.
 - Alishah, H.M., Heidari, R., Hassani, A. and Dizaji, A., 2006. Effect of water stress on some morphological and biochemical characteristics of purple basil (*Ocimum basilicum*). *Journal of Biological Sciences*, 6(4): 763-767.
 - Antolin, M. and Yoller, J., 1995. Effects of temporary drought on nitrate-fed and nitrogen-fixing alfalfa plants. *Plant Science*, 107: 159-165.
 - Bates, I.S., Waldem, R.P. and Teare, I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, 39: 205-207.
 - Bhatt, R.M. and Srinivasa-Rao, N.K., 2005. Influence of pod load response of okra to water stress. *Indian Journal Plant Physiology*, 10: 54-59.
 - Bradford, M.M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical biochemistry*, 72: 248-254.
 - Chalchat, J.C. and Ozcan, M.M., 2008. Comparative essential oil composition of flowers, leaves and stems of basil (*Ocimum basilicum* L.) used as herb. *Food Chemistry*, 110: 501-503.
 - Chalker-Scott, L., 2002. Do anthocyanins function as osmoregulators in leaf tissues?. *Advances in Botanical Research*, 37: 103-106.
 - Charles, D.J., Joly, R.J. and Simon, J.E., 1990. Effect of osmotic stress on the essential oil content and composition of peppermint. *Phytochemistry*, 29(9): 2837-2840.
 - Faker, B.Z., 2000. Effect of drought stress on germination and some aspects of quality and quantity of *Satureja hortensis* essential oil. M.Sc. Thesis in Plant Science, Tarbiat-moallem University of Tehran, 110p.
 - Ghorbanali, M., Baher, Z., Mirza, M. and Rezai, M., 2001. Evaluation of growth parameters, and

- sweet basil plants. Bulletin of Faculty of Agriculture University of Cairo, 48: 515-527.
- Rhizopoulous, S. and Diamatoglou, S., 1991. Water stress induced diurnal variations in leaf water relations, stomatal conductance, soluble sugars, lipids and essential oil content of *Origanum majorana* L. Journal of Horticultural Science, 66(1): 119-125.
 - Simon, J.E., Bubenheim, R.D., July, R.J. and Charles, D.J., 1992. Water stress induced alternations in essential oil content and composition of sweet basil. Journal of Essential Oil Research, 4(1): 71-75.
 - Small, E., 1997. Culinary Herbs. NRC Research Press, Ottawa, 710p.
 - Solinas, V. and Deiana, S., 1996. Effect of water and nutritional conditions on the *Rosmarinus officinalis* L. phenolic fraction and essential oil yields. Rivista Italiane Eppos, 19: 189-198.
 - Sundaramoorthy, P., Alagappan, C., Kaliyaperumal, S.G., Pachikaran, U. and Logalashmanan, B., 2010. Chromium stress in paddy: (i) Nutrient status of paddy under chromium stress; (ii) Phytoremediation of chromium by aquatic and terrestrial weeds. Comptes Rendus Biologies, 333: 597-607.
 - Zarif-Ketabi, H. and Koucheki, A., 2000. Effects of water stress on growth and some characteristics of annual *Medicago* species in greenhouse. Journal of Agricultural Science and Technology, 14: 49-58.
 - Marschner, H., 1995. Functions of mineral nutrients: macronutrients. Mineral nutrition of higher plants, 2: 379-396.
 - Munns, R., 2002. Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell & Environment, 25: 239-250.
 - Omidbaigi, R., 1997. Production and Processing of Medicinal Plants (Volume 3). Behnashr Publications. Tehran, 400p.
 - Ozek, T., Beis, S., Demircakmak, B. and Baser, K.H.C., 1995. Composition of the essential oil of *Ocimum basilicum* L. cultivated in Turkey. Journal of Essential Oil Research, 7: 203-205.
 - Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A. and Gurbuz, B., 2004. Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). Pakistan Journal of Botany, 36(4): 787-792.
 - Panda, K.S., 2007. Chromium-mediated oxidative stress and ultrastructural changes in root cells of developing rice seedlings. Journal of Plant Physiology, 164: 1419-1428.
 - Ramos, M.L.G. and Gordon, A.J., 1999. Effect of water stress on nodule physiology and biochemistry of a drought tolerant cultivar of common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Annuals of Botany, 83: 57-63.
 - Refaat, A.M. and Saleh, M.M., 1997. The combined effect of irrigation intervals and foliar nutrition on

Effects of drought stress on quantitative and qualitative yield, physiological characteristics and essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum americanum* L.

D. Rasouli^{1*} and B. Fakheri²

1*- Corresponding author, Ph.D. Student of Agriculture Biotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran, E-mail: diakorasouli@yahoo.com

2- Department of Plant Breeding and Biotechnology, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran

Received: August 2015

Revised: February 2016

Accepted: February 2016

Abstract

In order to evaluate the effects of drought stress on quantity and quality of yield, physiological characteristics, and essential oil of *Ocimum basilicum* L. and *Ocimum americanum* L., a factorial experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications in greenhouse condition. Drought stress treatments consisted of control (without drought stress), 80, 60, and 40% of field capacity on two species of *Ocimum*. The traits measured were fresh and dry weights, essential oil, essential oil performance, carbohydrates, proline, nitrogen, protein, phosphorus and potassium contents. The results indicated that with increasing levels of drought stress from control to 40 percent of field capacity, the content of essential oil, carbohydrates, and proline were increased (28, 46, and 50%) in both species. However, the content of fresh and dry weight, essential performance, nitrogen, protein, phosphorus and potassium were reduced (57, 57.8, 44, 19, 16, 39 and 23%). In *O. americanum*, the content of fresh and dry weight, carbohydrate, proline, nitrogen, phosphorus, and protein were significantly increased under drought stress; while in *O. basilicum*, only essential oil content showed higher values significantly. It was observed that the majority of growth factors had the highest performance under low stress (80% of field capacity). Essential oil content, on the other hand, increased significantly under high stress condition, so that in *O. basilicum*, the highest essential oil content was obtained at 60 percent of field capacity. Our findings indicated that the plant performance and essential oil content were increased under average and moderately severe stress conditions, respectively.

Keywords: Drought stress, essential oil, proline, *Ocimum basilicum* L., *Ocimum americanum* L.