

برهم کنش بیوجار و سوپرجاذب بر ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) در شرایط تنش خشکی

مژگان بیرانوندی^۱، ناصر اکبری^۲، عبدالرضا احمدی^{۳*}، حسن مومیوند^۴ و فرهاد نظریان^۵

۱- دانشجوی دکترای زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۳- نویسنده مسئول، دانشیار، علوم علف‌های‌هرز، گروه گیاه‌پزشکی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

پست الکترونیک: Ahmadi1024@gmail.com

۴- استادیار، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۵- استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۸

تاریخ اصلاح نهایی: مرداد ۱۳۹۹

تاریخ پذیرش: مرداد ۱۳۹۹

چکیده

به منظور مطالعه اثر بیوجار و سوپرجاذب بر ترکیب‌های شیمیایی مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad) در شرایط تنش خشکی، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقات گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا گردید. تیمارها شامل تنش خشکی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) و کرت‌های فرعی شامل فاکتور بیوجار کود گاوی در دو سطح (بیوجار به میزان ۱۰ تن در هکتار و شاهد) و عامل سوم شامل سوپرجاذب استاکوزورب در سه سطح (۰، ۶۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم به ازای هر بوته) بود. با استفاده از GC-MS، ۲۴ ترکیب در اسانس اندام هوایی شناسایی شد. ترکیب‌های اصلی شامل کارواکرونول (۷۶٪/۶)، گاما-تریپنین (۵٪/۸)، پاراسمین (۳٪)، ترپینن-۴-ال (۲٪/۵)، ۸۱-سینئول (۲٪) و لینالول (۰/۹٪) بودند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کارواکرونول (۹۰٪/۸) در تیمار تنش رطوبتی شدید + بیوجار + ۶۰ میلی‌گرم استاکوزورب و کمترین آن (۷۳٪/۸) در تیمار شاهد بدون تنش به همراه بیوجار + ۱۲۰ میلی‌گرم استاکوزورب مشاهده شد. نتایج نشان داد که کاربرد سوپرجاذب استاکوزورب بر کلیه صفات بجز ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس معنی‌دار بود اما اثرهای متقابل تنش رطوبتی و بیوجار تأثیر معنی‌داری بر عملکرد اسانس داشت. همچنین با کمک همبستگی بین صفات مشخص شد که هیچ‌گونه همبستگی بین حضور و عدم حضور سوپرجاذب استاکوزورب با ترکیب‌های مختلف اسانس مرزه رشینگری وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri* Jamzad)، تنش رطوبتی، بیوجار، سوپرجاذب.

مقدمه

تولید می‌شود، بیوچار می‌نامند. در بیشتر منابع علمی، بیوچار محصول فرایند تجزیه گرمایی مواد آلی، تحت شرایط محدودیت و یا عدم حضور اکسیژن و در معرض دمای نسبی بالا (اغلب کمتر از ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد) در نظر گرفته می‌شود (Major et al., 2010). به نظر می‌رسد بیوچار با داشتن صفاتی مانند توانایی ویژه در جذب و نگهداری عناصر غذایی و ظرفیت نگهداری آب بالا بتواند جایگزین کودهای شیمیایی در گیاهان شده و مقاومت گیاه به تنش‌های خشکی را افزایش دهد (Haider, 2016). کاربرد بیوچار، با توجه به منافع بالقوه زراعی و زیست محیطی که دارد در خاک فقیر از نظر مواد غذایی به‌عنوان یک راهکار خوب و کارا معرفی شده است (Novak et al., 2009).

البته تحقیقات اندکی در رابطه با تأثیر بیوچار بر کاهش اثرهای منفی تنش خشکی در گیاهان وجود دارد. از سویی نتایج مربوط به مطالعات بیوچار با توجه به نوع ماده اولیه، دمای گرماکافت و خاک منطقه مورد مطالعه متفاوت است (Teat, 2014). با توجه به اهمیت روزافزون گیاه دارویی مرزه رشینگری در صنایع داروسازی و غذایی، اطلاعاتی در زمینه اثر کاربرد بیوچار و سوپر جاذب بر این گیاه در شرایط تنش خشکی وجود ندارد. از این رو، این تحقیق به‌منظور بررسی تأثیر بیوچار و سوپر جاذب بر زی‌توده گیاهی و کمیّت و کیفیت اسانس مرزه رشینگری در شرایط تنش خشکی انجام شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی گیاهان دارویی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان (واقع در ۱۲ کیلومتری جنوب‌غربی شهرستان خرم‌آباد با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳ دقیقه و ارتفاع ۱۱۱۷ متر از سطح دریا) طی دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ اجرا شد. زمین مورد نظر در سال قبل از آزمایش به‌صورت آیش بود. قبل از انجام آزمایش، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک مزرعه نمونه‌برداری

مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri*) گیاهی دارویی و چند ساله متعلق به خانواده نعناع (Lamiaceae) و انحصاری فلور ایران است که معمولاً در مناطق با اقلیم خشک، آفتابی و خاک‌های سنگلاخی آهکی جنوب‌غرب ایران (استان‌های لرستان، ایلام و خوزستان) رشد می‌کند (Jamzad, 2009). پیکر هوایی گیاه مرزه رشینگری مانند اغلب گونه‌های تیره نعناع دارای اسانس است که در بخش‌های هوایی آن ساخته و ذخیره می‌شود (Rechinger, 1982; Dosti et al., 2008). مهمترین ترکیب‌های شیمیایی اسانس مرزه رشینگری شامل کارواکرول، پاراسمین، گاما-ترپینن، ۸،۱-سینئول، ترپینن-۴-ال و لینالول هستند (Jamzad, 2009; Sefidkon et al., 2007). حضور ترکیب‌های فنلی با غلظت بسیار بالا و اثرهای دارویی جالب توجه، مرزه خوزستانی را به‌عنوان یک گونه کاندید باارزش برای استفاده در صنایع دارویی و غذایی مطرح کرده است. از آنجا که مرزه رشینگری عمدتاً در نواحی با اقلیم خشک و نیمه‌خشک که دارای بافت سنگلاخی هستند رویش دارد، معمولاً با تنش خشکی و کمبود رطوبت مواجه می‌شود.

تنش خشکی یکی از شایع‌ترین و مخرب‌ترین تنش‌های غیرزیستی است که رشد گیاهان را در سرتاسر جهان و به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محدود و منجر به کاهش عملکرد گیاهان می‌گردد (Wang et al., 2014). تنش خشکی بر ویژگی‌های مورفولوژیکی از جمله استقرار گیاه، ارتفاع بوته، خصوصیات برگ و ریشه، وزن خشک اندام‌های هوایی و ریشه، عملکرد گیاه و بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه از جمله فتوسنتز، توزیع مواد فتوسنتزی، تولید رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ، روزنه‌ها، محتوای آب نسبی برگ، تنفس، تنظیم اسمزی، کریوهدرات‌ها، تجمع پرولین، محتوای پتاسیم و قندهای الکلی، پروتئین‌سازی، غشای سلولی و هورمون‌ها تأثیر می‌گذارد (Fayez & Bazaid, 2014). در این رابطه استفاده از پلیمرهای سوپرجاذب و بیوچار برای کاهش اثرهای نامطلوب تنش خشکی می‌تواند مفید واقع شود. فرآورده جانبی غنی از کربن را وقتی که زیست‌توده در طی فرایند پیرولیز (Pyrolysis)

دسترس نیز از تفاضل رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای و رطوبت در نقطه پژمردگی دائم محاسبه شد.

قبل از کاشت بیوجار کاربردی با خاک تا عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری مخلوط شد. مقادیر مناسب سوپرچادب برای هر تیمار در داخل شیار در عمق ۱۵ سانتی‌متری زیر نشاء قرار گرفت. در دی‌ماه ۱۳۹۶ ابتدا قلمه‌های مرزه رشینگری در گلدان‌های کوچک در گلخانه کشت گردید. پس از آماده‌سازی زمین گیاهچه‌های جوان (۵ تا ۷ سانتی‌متری) در اوایل اردیبهشت ماه سال ۱۳۹۷ به کرت‌های از قبل آماده شده منتقل شدند. در طول آزمایش آبیاری هریک از تیمارها براساس ظرفیت زراعی انجام شد. از وجین دستی برای کنترل علف‌های هرز استفاده گردید.

استخراج اسانس و تجزیه کمی و کیفی آن

به منظور استخراج اسانس، حدود ۵۰ گرم از اندام‌های هوایی خشک به خوبی خرد و در کلونجر به مدت سه ساعت حرارت داده شدند. اسانس بدست‌آمده توسط سولفات سدیم خشک آب‌گیری شد و به دقت توزین گردید. درصد اسانس نمونه‌ها براساس وزن اسانس بدست‌آمده از ۱۰۰ گرم نمونه گیاهی (وزن/وزن) محاسبه شد. اسانس گرفته شده تا زمان آنالیز در شیشه‌های تیره رنگ و در یخچال (در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. سپس با استفاده از روش کوپل شده کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی (GC-MS) ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس مورد شناسایی کمی و کیفی قرار گرفت.

دستگاه کروماتوگراف گازی (GC)

برای آنالیز کروماتوگرافی گازی اسانس، از گاز کروماتوگراف گازی شیماتزو ۲۰۱۴ مجهز به ستون موئینه از نوع RTX-5 به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای آون به مدت سه دقیقه در ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد و

تصادفی گرفته شد و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک ارزیابی گردید (جدول ۱). کرت‌های اصلی شامل سطوح تنش خشکی در سه سطح شامل D_1 (آبیاری نرمال بدون تنش)، D_2 (تنش متوسط، بر اساس ۸۰٪ نیاز آبی گیاه) و D_3 (تنش شدید بر اساس ۶۰٪ نیاز آبی گیاه) و کرت‌های فرعی فاکتوریل شامل دو سطح بیوجار کود گاوی (بدون بیوجار $(B_1) - 10$ تن بیوجار در هکتار (B_2)) و عامل سوپرچادب استاکوزورب در سه سطح $(S_1=0, S_2=60, S_3=120$ میلی‌گرم سوپرچادب به ازای هر بوته) بود.

تهیه و تجزیه آزمایشگاهی بیوجار کود گاوی

برای تهیه بیوجار مقدار مورد نیاز کود گاوی از ایستگاه دامپروری دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان جمع‌آوری و هواخشک شد. برای تولید بیوجار، کود گاوی هواخشک شده و عبور یافته از الک دو میلی‌متری در ورقه‌های آلومینیومی بسته‌بندی و به مدت تقریباً چهار ساعت در دمای ۴۵۰-۶۵۰ درجه سلسیوس در داخل کوره قرار داده شد تا فرایند پیرولیز (فرایند سوختن کُند و آرام مواد آلی در شرایط عدم وجود یا غلظت بسیار کم اکسیژن) انجام شود (Mukherjee, 2011). سپس بیوجار از کوره خارج و نتایج تجزیه شیمیایی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

آماده‌سازی زمین و اعمال تیمارها

آماده‌سازی زمین در اسفندماه ۹۷-۱۳۹۶ انجام شد. ابعاد کرت‌های آزمایش 3×2 متر، فاصله بین کرت‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله بین بلوک‌ها یک متر بود. هر کرت دارای ۳ خط کشت به طول ۳ متر و فاصله بین بوته‌ها روی هر ردیف ۵۰ سانتی‌متر (در هر کرت ۱۸ بوته) در نظر گرفته شد. در ابتدای آزمایش رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای برای هر سطح اعمالی بیوجار به روش گلدانی اندازه‌گیری شد. برای تعیین رطوبت در نقطه پژمردگی دائم نیز از صفحات فشاری (Pressure plate) استفاده شد و آب قابل

سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت چهار درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. از گاز حامل هلیوم با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه استفاده شد. از انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت و دمای منبع یونیزاسیون ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد استفاده گردید.

بعد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت چهار درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. دمای قسمت تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد بود و از گاز نیتروژن با سرعت جریان یک میلی‌لیتر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد.

دستگاه گاز کروماتوگراف - طیف‌سنج جرمی (GC-MS)

برای آنالیز اسانس از دستگاه گاز کروماتوگراف آجیلنت ۷۸۹۰ ای (آجیلنت تکنولوژی، آمریکا) کوپل شده با طیف‌سنج جرمی مجهز به ستون HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای آون از ۵۰ درجه

تجزیه و تحلیل داده‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها بر اساس طرح آزمایش مربوطه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS نسخه 9.1 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد.

جدول ۱- نتایج فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه و بیوپار تولید شده از کود گاوی

نام صفات	خاک مورد مطالعه	کود گاوی	بیوپار کود گاوی
روی (میکروگرم / گرم)	۰/۷۷۶	۹/۰۵۲	۵۸/۹
منگنز (میکروگرم / گرم)	۳/۱۵۲	۱۳/۳۱۸	۲۱۰/۸
مس (میکروگرم / گرم)	۰/۹۷۲	۰/۹۶۴	۲۹/۲
آهن (میکروگرم / گرم)	۰/۹۳۲	۱۰/۹۱	۲۳/۳۶
پتاسیم (میکروگرم / گرم)	۱۷۷	۹۰۶۹	۲۵۷۵۸
سدیم (میکروگرم / گرم)	۱۳۷	۲۴۶۸	۶۱۴۴
کلسیم (میکروگرم / گرم)	۱۳۶۱۸	۱۲۱۷۴	۳۶۶۵۳
منیزیم (میکروگرم / گرم)	۷۰۳	۲۷۷۱	۱۱۸۸۰
فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۱/۲۱	۱۵/۴	۲/۳۹
درصد نیتروژن	۰/۱۳	۱/۵۳	۳/۵۶
درصد ماده آلی	۱/۱۷	۱۳/۷	۳۴/۳
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۰/۴۴	۱۸/۷	۱۰/۳
اسیدیته	۷/۶۶	۸/۲۶	۸/۰۲
رس	۲۹	-	-
لای	۴۴	-	-
شن	۱۸	-	-

نتایج

ترکیب‌های اسانس

نتایج حاصل از آنالیز GC و GC-MS منجر به شناسایی ۲۴ ترکیب در اسانس اندام هوایی مرزه رشینگری در مرحله گلدهی کامل شد (جدول ۲). با وجود تنوع نسبتاً بالای ترکیب‌های موجود در اسانس مرزه رشینگری، ۶ ترکیب اصلی

شامل کارواکرول، گاما-ترپینن، پاراسمین، ترپینن-۴-ال، ۸،۱-سینئول و لینالول بخش عمده اسانس (۹۰/۸٪) را تشکیل می‌دهند. همچنین در بین ترکیب‌های اصلی سازنده اسانس، کارواکرول به‌عنوان بیشترین (۷۶/۶٪) ترکیب سازنده اسانس مرزه رشینگری شناسایی شد (جدول ۲).

جدول ۲- ترکیب‌های شناسایی شده در اسانس اندام هوایی مرزه رشینگری در مرحله گلدهی

ردیف	نام ترکیب	شاخص بازداری نمونه	درصد
۱	α -thujene	۹۲۴	۰/۲
۲	α -pinene	۹۳۶	۰/۲
۳	camphene	۹۴۶	۰/۲
۴	β -pinene	۹۷۴	۰/۴
۵	myrcene	۹۸۸	۰/۲
۶	α -phelandrene	۱۰۰۴	۰/۳
۱۰	p-cymene	۱۰۲۴	۳/۰
۸	limonene	۱۰۲۸	۰/۳
۷	1,8-cineole	۱۰۳۰	۲/۰
۱۴	γ -terpinene	۱۰۵۸	۵/۸
۱۱	cis-sabinene hydrate	۱۰۶۵	۰/۳
۱۲	terpinolene	۱۰۸۶	۰/۲
۹	trans-sabinene hydrate	۱۰۹۷	۰/۲
۱۳	linalool	۱۰۹۸	۰/۹
۱۵	cumin aldehyde	۱۱۴۳	۰/۹
۱۶	borneol	۱۱۶۵	۰/۸
۱۷	terpinene-4-ol	۱۱۷۴	۲/۵
۱۸	α -terpineol	۱۱۸۶	۰/۸
۱۹	thymol methyle ether	۱۲۳۲	۰/۳
۲۰	carvacrol methyle ether	۱۲۴۲	۰/۲
۲۱	thymol	۱۲۸۹	۰/۲
۲۲	carvacrol	۱۲۹۸	۷۶/۶
۲۳	β -caryophyllene	۱۴۱۷	۰/۵
۲۴	β -bisabolene	۱۵۰۵	۰/۴

لینالول با پیشرفت تنش خشکی بود، به طوری که بیشترین مقدار این ترکیب در شرایط تنش شدید (تنش رطوبتی براساس ۶۰٪ نیاز آبی گیاه) مشاهده شد اما اختلاف معنی داری با تیمار تنش ملایم (۸۰٪ نیاز آبی گیاه) و شاهد نداشت. به طوری که بیشترین میزان لینالول در این دو تیمار به ترتیب ۰/۶٪ و ۰/۵٪ در مقایسه با ۰/۳٪ در تیمار شاهد بود (جدول ۴). همچنین نتایج نشان داد در همه سطوح رطوبتی با افزایش سطوح بیوجار مقدار ترکیب‌های ثانویه در اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد (بدون مصرف بیوجار) افزایش یافت.

همبستگی ترکیب‌های اسانس مرزه رشینگری با تیمارهای مورد مطالعه با استفاده از روش بای‌پلات

شکل‌های ۱، ۲ و ۳ مبتنی بر تجزیه به مؤلفه‌های اصلی می‌باشد. در حقیقت ابعاد داده‌ها در این روش کم می‌شوند و به دو بُعد که آنها را PC1 (مؤلفه اول) و PC2 (مؤلفه دوم) می‌نامیم کاهش یافته‌اند. در این دو بُعد می‌توان ارتباط بین تیمارها و صفات را کاملاً به وضوح مشاهده نمود. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شکل ۱ حکایت از این دارد که دو مؤلفه اول (PC1=53.8% و PC2=22.2%) در مجموع ۷۶٪ از کل واریانس متغیرها را توجیه کردند. برای تفسیر روابط بین صفات از نمودار دو بُعدی نمرات دو مؤلفه اول استفاده شد. طول و زاویه بین بردارهای صفات نشان‌دهنده ارتباط بین صفات در یک نمودار دو بُعدی است، به طوری که کسینوس زاویه بین صفات تا حدودی بیانگر ارتباط بین دو صفت در صفحه دو بُعدی می‌باشد. اگر دو صفت همبستگی بالایی با هم داشته باشند زاویه آنها به سمت صفر میل می‌کند و ارتباط قوی بین آنها وجود دارد. اگر این نمودار (شکل ۱) به ۴ بخش تقسیم شود، به ترتیب در بخش اول کارواکرول وجود داشته که تنها با ترکیب پاراسیمین با توجه به زاویه کم بین آنها همبستگی داشته و به تنش براساس ۶۰٪ نیاز آبی گیاه (که با شکل دایره نشان داده شده است) واکنش مثبت نشان داده است.

نتایج حاصل از تجزیه واریانس اجزای اسانس مرزه رشینگری حکایت از معنی داری اثرهای متقابل سه‌گانه تنش رطوبتی، بیوجار و سوپرژاذب بر بیشتر ترکیب‌های اصلی اسانس شامل کارواکرول، گاما-تریپین، پاراسیمین، میزان تریپینول، ۸،۱-سینتول و لینالول داشت، بنابراین اثرهای ساده از نظر تفسیر نتایج مورد بحث قرار نگرفتند (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین اجزای اسانس نشان داد که تیمار تنش خشکی منجر به افزایش معنی دار درصد کارواکرول اسانس شد. بالاترین درصد کارواکرول (۹۰/۸٪) با تیمار (تنش شدید + بیوجار + ۶۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) حاصل شد و کمترین آن (۷۳/۸٪) در تیمار (شاهد بدون تنش + بیوجار + ۱۲۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) بدست آمد (جدول ۴). میزان گاما-تریپین تحت تأثیر تنش خشکی ملایم افزایش پیدا کرد اما با تنش شدید تغییری در درصد آن ایجاد نشد، به طوری که روند افزایش آن در سطوح رطوبتی ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب برابر ۱/۹، ۲ و ۱/۴ بود و از نظر آماری اختلاف معنی داری مشاهده نشد (جدول ۴). بیشترین درصد این ترکیب در تیمار (تنش ملایم + بیوجار + ۶۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) با مقدار ۳/۵٪ حاصل شد ولی با تیمار (تنش ملایم + بیوجار + ۶۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) از نظر آماری اختلاف معنی داری نداشت، در حالیکه مقدار آن در تیمار اثرهای متقابل سه‌گانه در سطوح رطوبتی مختلف در مجاورت ۱۲۰ میلی‌گرم سوپرژاذب کمتر بود (جدول ۴).

با توجه به مقایسه میانگین داده‌ها (جدول ۴) مشخص گردید که مقدار تریپین-۴-ال، پاراسیمین، و ۸،۱-سینتول مشابه کارواکرول تحت تأثیر تیمارهای آزمایش قرار گرفت، به طوری که بالاترین مقدار تریپین-۴-ال، پاراسیمین، و ۸،۱-سینتول در تیمار (تنش شدید + بیوجار + ۶۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) به ترتیب ۲/۴، ۱/۸ و ۰/۸ درصد و کمترین مقدار این ترکیب‌ها به تیمار (شاهد بدون تنش + بیوجار + ۱۲۰ میلی‌گرم سوپرژاذب) مربوط بود. مقایسه میانگین داده‌ها بیانگر افزایش میزان ترکیب

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر تیمارهای مورد مطالعه بر ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس در مرزه رشینگری

منابع تغییر	درجه آزادی	کارواکرو	گاما-تریپن	پاراسیمن	تریپن-۴-ال	۸،۱-سینئول	لینالول
					(%)		
تکرار	۲	۱۳/۸۴ns	۰/۱۱۳ns	۰/۰۰۳ns	۰/۰۲۵۹**	۰/۰۳۸ns	۱/۰۷۱*
تنش خشکی	۲	۲۰۰/۳۰**	۵/۸**	۰/۳۵۰**	۱/۹ns	۱/۲۶۰ns	۲۴/۷۲۸**
تکرار × خشکی (خطای اصلی)	۴	۴/۰۸	۰/۱۳۸	۰/۰۰۵	۰/۰۸۰۲	۰/۲۱۵	۰/۰۶۵
بیوچار	۱	۵۵/۵۲**	۱/۴**	۰/۱۱۹**	۰/۸۲۳۶**	۰/۰۲۵ns	۰/۵۱۲ns
سوپرجاذب	۲	۳۱/۸۸*	۴/۴**	۰/۰۵۲*	۰/۶۶۹۱**	۰/۱۳۲ns	۲/۹۲۸*
بیوچار × سوپرجاذب	۲	۴۶/۶۵**	۰/۳۶۱ns	۰/۰۲۶ns	۰/۸۵۰۱**	۰/۳۲۶ns	۷/۰۶۴**
خشکی × بیوچار	۲	۳/۱۱۴**	۳/۶ns	۰/۶۳۲**	۰/۳۹۷۶**	۰/۳۱۳ns	۳/۳۲۱**
خشکی × سوپرجاذب	۴	۳۰/۸۹**	۱/۱**	۰/۵۹۸**	۱/۰۷۶۰**	۰/۱۸۶ns	۲/۵۰۴**
خشکی × بیوچار × سوپرجاذب	۴	۲۱/۵۰**	۲/۸**	۰/۳۶۲**	۱/۶۱۶۷**	۰/۴۷۸*	۱/۷۷۱*
خطای فرعی	۳۰	۶/۰۵	۰/۱۹۲	۰/۰۱۲	۰/۰۲۴۹**	۰/۱۷۷	۰/۵۸۴
ضریب تغییرات	-	۲/۹۷	۲۱/۸	۱۴/۵	۱۰/۹۶	۲۹	۱۸/۳۵

ns، ** و *؛ به ترتیب غیرمعنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱٪ و ۵٪

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرهای متقابل دو گانه و سه گانه بر میزان ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس مرزه رشینگری

تیمار آزمایش	کارواکرو	گاما-ترپینن	پاراسمین	ترپینن-۴-ا	۸،۱-سینئول	لینالول
	(%)					
بدون بیوچار بدون سوپر جاذب	۸۸/۲ab	۲e-h	۱/۵abc	۱/۲ef	۱/۴a	۰/۵bcd
بدون بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۶/۷abc	۲/۴def	۱/۵abc	۱/۷c	۱/۱b	۰/۴fg
بدون بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۷/۳abc	۳/۴abc	۱/۴a-d	۱/۶cd	۰/۶ef	۰/۵abc
با بیوچار بدون سوپر جاذب	۷۹ef	۲/۷cde	۱/۲a	۲/۴ab	۱/۶a	۰/۵ab
با بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۹۰/۸a	۳/۵a	۱/۸ab	۲/۴a	۰/۸cde	۰/۶a
با بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۴bcd	۱/۷gh	۱/۳b-e	۱/۲f	۰/۴h	۰/۴g
بدون بیوچار بدون سوپر جاذب	۸۷abc	۱/۹fgh	۱/۲b-e	۰/۷gh	۰/۷ef	۰/۵def
بدون بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۰/۵def	۲/۲d-g	۱/۷ab	۱/۶cd	۰/۹c	۰/۵e-g
بدون بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۱/۷de	۱/۸fgh	۱/۴a-d	۱/۵cd	۰/۸cde	۰/۵e-g
با بیوچار بدون سوپر جاذب	۸۲/۸cde	۱/۸fgh	۱/۶abc	۱/۵cd	۰/۶f	۰/۵b-e
با بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۷۹/۱ef	۳/۸ab	۱/۷ab	۲/۳ab	۰/۶f	۰/۶ab
با بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۴/۲bcd	۱/۶gh	۱/۲b-e	۱/۶cd	۰/۷def	۰/۴fg
بدون بیوچار بدون سوپر جاذب	۷۶/۶f	۱/۴h	۱cde	۰/۴h	۰/۶fg	۰/۴fg
بدون بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۲/۲de	۰/۶i	۱/۱b-e	۰/۸g	۰/۴h	۰/۳h
بدون بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۸۰/۹def	۰/۵i	۰/۷e	۰/۸g	۰/۴h	۰/۵e-g
با بیوچار بدون سوپر جاذب	۷۸/۲ef	۲/۸bcd	۱/۶abc	۱/۵de	۱/۱b	۰/۵c-f
با بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپر جاذب	۷۸/۳ef	۱/۹e-h	۱/۵abc	۲/۲b	۰/۸cd	۰/۵ab
با بیوچار + ۱۲۰ میلی گرم سوپر جاذب	۷۳/۸def	۰/۵i	۰/۷de	۰/۵h	۰/۴gh	۰/۳h

تنش ۶۰٪

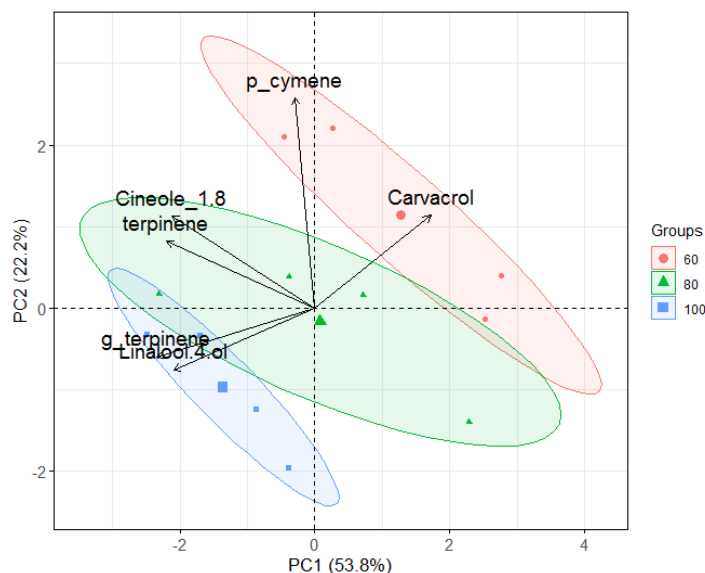
تنش ۸۰٪

شاهد
(بدون تنش)

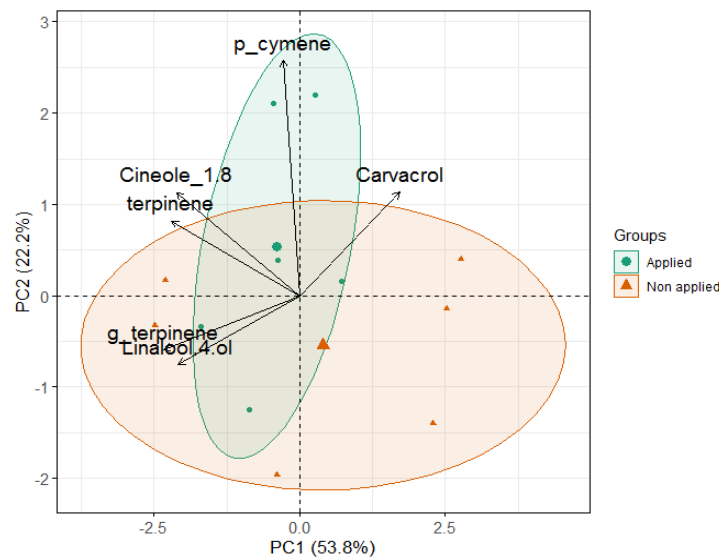
میانگین‌هایی که دارای یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵٪ تفاوت معنی‌داری با هم ندارند.

به همپوشانی بین بخش‌های مختلف نشاگر اثربخشی مثبت بر ترکیب‌های اسانس (کارواکرول، گاما-ترپینن، پاراسمین، ترپینن-۴-ال، ۸،۱-سینئول و لینالول) دارد. نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی در شکل ۳ حکایت از این دارد که دو مؤلفه اول ($PC1 = 69.2\%$ و $PC2 = 11.9\%$) در مجموع ۷۴/۱٪ از کل واریانس متغیرها را توجیه کردند. در شکل ۳ با کمک همبستگی بین صفات و زاویه بین تیمارها می‌توان بیان کرد که ترکیب کارواکرول رابطه منفی با سایر ترکیب‌های مرزه داشته و هیچ‌گونه همبستگی بین کاربرد و عدم کاربرد سوپرجاذب استاکوزرب با ترکیب‌های مختلف اسانس مرزه وجود ندارد. از سویی همپوشانی یکنواخت تیمارهای ۱۲۰ و ۶۰ میلی‌گرم سوپرجاذب استاکوزرب با تیمار شاهد (عدم کاربرد سوپرجاذب) خود دلیل محکمی بر این موضوع می‌باشد.

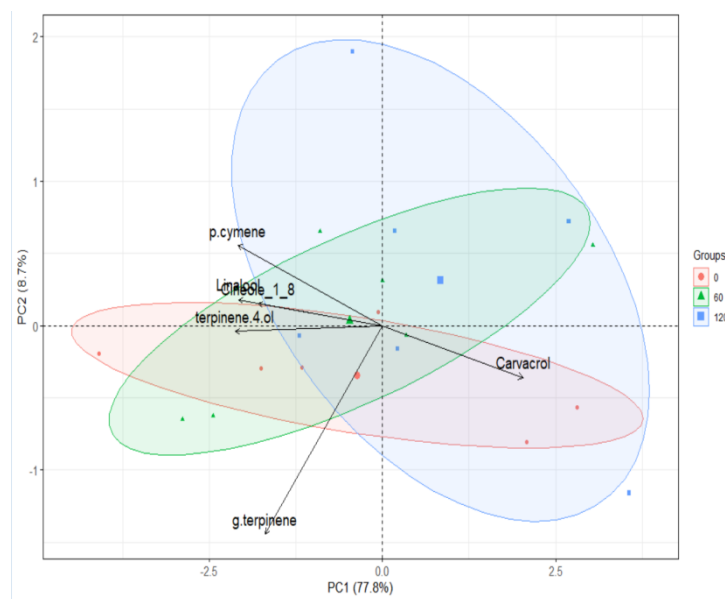
بنابراین به نظر می‌رسد که این دو ترکیب در شرایط تنش رطوبتی مؤثرترین صفات بوده‌اند. از سویی ترکیب کارواکرول با بیشتر ترکیب‌های دارای زاویه ۹۰ تا ۱۸۰ درجه بود که حکایت از رابطه منفی این ترکیب با سایر ترکیب‌های مرزه دارد (شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ نمایان است تیمار تنش رطوبتی ۸۰٪ (به شکل مثلث) و تیمار تنش رطوبتی ۱۰۰٪ (شاهد بدون تنش به شکل مربع) در جهت عکس فلش صفات نقاط تیمار تنش رطوبتی براساس ۶۰٪ نیاز آبی گیاه هستند، بنابراین ارتباط خوبی بین تنش خشکی براساس ۸۰٪ نیاز آبی و تیمار شاهد (۱۰۰٪ نیاز آبی) با افزایش اسانس وجود ندارد. با استفاده از شکل ۲ می‌توان ارتباط بین تیمارهای حاوی بیوچار کود گاوی و صفات برتر را تشخیص داد. در بخش اول ترکیب کارواکرول قرار گرفته و با پاراسمین همبستگی شدید منفی داشت. کاربرد بیوچار (Applied) که در شکل ۲ به شکل دایره نشان داده شده است با توجه



شکل ۱- اثر تنش رطوبتی بر ترکیب‌های اسانس گیاه مرزه رشینگری و همبستگی بین آنها



شکل ۲- اثر کاربرد بیوچار بر همبستگی بین ترکیب‌های اسانس گیاه مرزه رشینگری



شکل ۳- اثر سوپرچاذب استاکوزرب بر همبستگی بین ترکیب‌های اسانس

بحث

(*S. rechingeri*) در مرحله گلدهی کامل ۲۳ ترکیب در اسانس شناسایی شده که کارواکرول (۸۹/۳-۸۴٪) مهمترین ترکیب اسانس بوده است. Nooshkam و همکاران (۲۰۱۷) در یک مطالعه، کارواکرول را به‌عنوان ترکیب اصلی اسانس مرزه با درصد بالایی (۹۶-۹۶/۸٪) شناسایی کردند. طی تحقیقات Ghasemi Pirbalouti و همکاران (۲۰۱۱)

همانطور که در قسمت نتایج مشاهده شد، ۲۴ ترکیب در اندام هوایی گیاه مرزه رشینگری در مرحله گلدهی کامل مشاهده شد، که بیشترین مقدار به کارواکرول (۷۶/۶٪) اختصاص داشت. در تحقیق انجام شده توسط Sefidkon و همکاران (۲۰۰۷) از بخش هوایی مرزه رشینگری

تحت تأثیر تیمار (تنش براساس ۶۰٪ نیاز آبی + بیوچار + ۶۰ میلی گرم سوپرچاذب) مورد آزمایش قرار گرفت. بالا بودن ترکیب‌های ثانویه در این تیمار نشانگر تأثیر بیوچار در کاهش میزان آب مصرفی است، به این ترتیب می‌توان با استفاده از بیوچار به جای ۱۰۰٪ آبیاری از ۶۰٪ آب مورد نیاز برای کشت مرزه رشینگری استفاده کرد. در ارتباط با تأثیر بیوچار بر فراهمی نیتروژن در خاک، یافته‌های اخیر نشان داده است که بیوچار همانند یک منبع حاصلخیز کننده و همچنین نگهدارنده تعادل غذایی در اکوسیستم خاکی با فراهم کردن و نگهداری عناصر مغذی از جمله نیتروژن سبب افزایش رشد گیاهان و بازدهی محصول خواهد شد (Farrell et al., 2013; Jeffery et al., 2011).

همچنین نتایج نشان داد در همه سطوح رطوبتی با افزایش سطوح بیوچار مقدار ترکیب‌های ثانویه در اندام هوایی گیاه در مقایسه با شاهد (بدون مصرف بیوچار) افزایش یافت. با توجه به اینکه پاراسیمین و گاما-تریپنین پیش‌ساز بیوسنتز کارواکول بوده که حاوی ترکیب‌های ترپنوئیدی هستند، واحد سازنده آنها نیاز ضروری به عناصری مانند N و P دارد، بنابراین هر عامل تنشی که دسترس گیاه را به نیتروژن و فسفر محدود کند روی تولید اسانس تأثیرگذار می‌باشد (Gupta et al., 2002). با توجه به میزان نیتروژن (۳/۶٪) و فسفر (۲۳۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) موجود در بیوچار کود گاوی مورد استفاده در آزمایش (جدول ۱) می‌توان آن را دلیل محکمی بر افزایش میزان ترکیب‌های پاراسیمین، گاما-تریپنین و کارواکول در فصل رشد دانست. پژوهشگران دیگر نیز به افزایش پتاسیم خاک با افزایش مقدار بیوچار اشاره کردند (Dume et al., 2016). بیوچار به دلیل تأثیر بر افزایش قدرت تبادل کاتیونی در افزایش یون‌های خاک از جمله پتاسیم نقش دارد و باعث دسترسی بهتر گیاه به این عناصر می‌شود. به علاوه بیوچار به دلیل دارا بودن عناصر غذایی در افزایش این عناصر در خاک مؤثر است. نتایج آزمایش نشان داد که سطوح مختلف کاربرد سوپرچاذب بر میزان اسانس تأثیر معنی‌دار منفی را نشان داد. از این رو به نظر می‌رسد با افزایش غلظت

کارواکول به‌عنوان عنصر اصلی (۹۴/۸٪) در روغن اسانسی کلیه جمعیت‌ها شناسایی شد. کارواکول همچنین به‌عنوان عنصر اصلی روغن‌های اسانسی سایر گونه‌های مرزه (*S. hortensis* و *S. mutica*, *S. boissieri*) گزارش شده است، اما محتوای آن پایین‌تر از ۴۰٪ بود (Sefidkon et al., 2007). مقایسه ترکیب اسانس مرزه رشینگری با سایر نمونه‌های گزارش شده به احتمال زیاد مربوط به عوامل ژنتیکی و محیطی است. کارواکول یک مونوترپنوئید فنلی است که از مسیر بیوسنتزی گاما-تریپنین به پاراسیمین و سپس هیدروکسیله شدن پاراسیمین بوجود می‌آید. این ماده در سازگاری گیاهان حاوی روغن با شرایط محیطی نقش به‌سزایی دارد و فعالیت‌های گسترده‌ای از جمله ضد میکروب، آنتی‌اکسیدان، ضد قارچ و ضد التهاب را انجام می‌دهد (Hadian et al., 2011). در این تحقیق تنش خشکی باعث افزایش کارواکول شد، به طوری که مقدار آن در تیمارهای شاهد بدون تنش، تنش متوسط و تنش شدید به ترتیب برابر ۷۸/۳، ۸۷/۱ و ۸۸/۲ درصد بدست آمد، به این علت که کارواکول یک مونوترپن فنولی می‌باشد که مقدار آن در شرایط گرم و خشک افزایش می‌یابد. Baher و همکاران (۲۰۰۲) بیان کردند که تجمع اسانس در شرایط تنش خشکی در مرزه به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد. این یافته آنان با نتایج این آزمایش همخوانی داشت. Farahani و همکاران (۲۰۰۹) به افزایش درصد روغن‌های اسانسی بیشتر گیاهان دارویی در تیمارهای حاوی تنش خشکی اشاره کردند، چون در موارد استرس متابولیت‌های بیشتری تولید شده و این مواد باعث جلوگیری از عمل اکسیداسیون در سلول می‌شوند. در شرایط تنش ملایم بسته شدن روزنه‌ها و کاهش فتوسنتز رخ نمی‌دهد و پیش‌ماده‌های لازم برای سنتز اسانس‌ها در گیاه به میزان کافی وجود دارد. در نتیجه تولید ترپنوئیدها و ترکیب‌های فرار گیاه به دلیل نقش محافظتی این ترکیب‌ها در برابر دما و نور بالا افزایش می‌یابد (Fayez & Bazaid, 2014).

با توجه به نتایج مقدار پاراسیمین، گاما-تریپنین، ترپنین-۴-ال، ۸،۱-سینئول و لینالول مشابه کارواکول

روی فعل و انفعالات شیمیایی که در سنتز این متابولیت‌ها نقش دارند، تأثیرگذار باشد.

منابع مورد استفاده

- Baher, Z.F., Mirza, M., Ghorbanli, M. and Rezaii, M.B., 2002. The influence of water stress on plant height, herbal and essential oil yield and composition in *Satureja hortensis* L. *Flavour and Fragrance Journal*, 17(4): 275-277.
- Dosti, B., Majd, A., Khavarnejad, R., Racism, T. and Salehnia, A., 2008. Glandular cracks in the vegetative and reproductive organs of the medicinal plant of *Stuareja khuzistanica*: Morphology, structure, ultrastructure and distribution. *Journal of Basic Sciences of Islamic Azad University*, 70(1): 31-42.
- Dume, B., Mosissa, T. and Nebiyu, A., 2016. Effect of biochar on soil properties and lead (Pb) availability in a military camp in South West Ethiopia. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 10: 77-85.
- Farahani, H.A., Valadabadi, A. and Rahmani, N., 2009. Effects of nitrogen on oil yield and its component of *Calendula* (*Calendula officinalis* L.) in drought stress conditions. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative medicines*, Abstracts of the World Congress on Medicinal and Aromatic Plants, Cape Town November, 364p.
- Farrell, M., Kuhn, T.K., Macdonald, L.M., Maddern, T.M., Murphy, D.V., Hall, P.A., Singh, B.P., Baumann, K., Krull, E.S. and Baldock, J.A., 2013. Microbial utilization of biochar derived carbon. *Science of the Total Environment*, 465: 288-297.
- Fayez, K.A. and Bazaid, S.A., 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(1): 45-55.
- Ghasemi Pirbalouti, A., Moalem, E., Yousefi, M., Malekpoor, F. and Yousef-Naanaie, S., 2011. Influence of 315 ecological factors on carvacrol content of *Satureja khuzistanica* Jamzad. *Journal of Essential Oil-Bearing Plants*, 14: 630-638.
- Gupta, M.L., Prasad, A., Ram, M. and Kumar, S., 2002. Effect of the vesicular arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glumus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology*, 81: 77-79.
- Hadian, J., Mirjalili, M.H., Kanani, M.R., Salehnia, A. and Ganjipoor, P., 2011. Phytochemical and

سویرجاذب، تا حد مشخصی (به مقدار ۶۰ میلی‌گرم به ازای هر بوته) صفات مورد بررسی در گیاه افزایش یافته و بیشتر از آن (۱۲۰ میلی‌گرم) به‌عنوان عامل بازدارنده عمل می‌کند. بنابراین به نظر می‌رسد سطوح مختلف سویرجاذب می‌تواند از شدت تنش خشکی کاسته و باعث افزایش عملکرد اقتصادی و بیوماس کل و در نهایت شاخص برداشت شود. محصولات دارویی بر خلاف همه محصولات کشاورزی که در اوضاع تنشی از نظر مقدار تولید صدمه می‌بینند، ممکن است در این اوضاع تولید مواد شیمیایی بیشتر و در نتیجه بازدهی اقتصادی بالاتری پیدا کنند (Omid Beigi, 2008).

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی باید گفت که تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان به‌وسیله عوامل محیطی تغییر می‌یابد و تنش رطوبتی نیز عامل مؤثری در رشد و سنتز ترکیب‌های طبیعی گیاهان دارویی می‌باشد. بنابراین کاربرد سویرجاذب در مقدار بالا (۱۲۰ میلی‌گرم) سبب کاهش تنش و بدنبال آن کاهش تجمع اسانس در گیاه مرزه شده است. کارواکرول ترکیب اصلی مرزه رشینگری بیشترین همبستگی مثبت را با ترکیب شیمیایی پاراسیمن داشت اما در بقیه نقاط مشاهده شد که با سایر صفات همبستگی منفی دارد. به‌دلیل اینکه ترکیب‌های پاراسیمن و گاما-ترینین پیش‌ساز بیوسنتز تیمول و کارواکرول هستند، بنابراین اگر این دو ماده مقدارشان بالا باشد باید انتظار داشت که مقدار تیمول و کارواکرول کمتری داشته باشیم (Mumivand et al., 2011). نتایج نشان داد که بین ترکیب‌های (گاما-ترینین، لینالول، ترینین-۴-ال، ۸،۱-سینتول) روند همبستگی مثبت وجود دارد، زیرا زاویه بین آنها اساس شدت همبستگی شده است. به‌طور کلی باید پذیرفت که کنش و واکنش بین ترکیب‌های عصاره، تشخیص طبیعت مواد عصاره را مشکل می‌کند. نوسانهای دوره‌ای که در ترکیب و عملکرد اسانس گیاهان مشاهده می‌شود با استدلال‌های مختلف قابل توجیه است. همزمان با نمو گیاه ساختار سلول‌ها و بافت‌های آن تغییر می‌کند و ترکیب‌های شیمیایی مختلفی که در گیاه وجود دارند تا حدود زیادی تغییر می‌یابند که همه این موارد می‌تواند

- A. and Morshedloo, M.R., 2017. Drug yield and essential oil and carvacrol contents of two species of *Satureja* (*S. kuzistanica* Jamzad and *S. rechingeri* Jamzad) cultivated in two different locations. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 6: 126-130.
- Novak, J., Lima, I., Xing, B., Gaskin, J.W., Steiner, C., Das, K.C. and Busscher, W.J., 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperature and their effect on a loamy sand. *Annals of Environmental Science*, 32: 195-206.
 - Omid Beigi, R., 2008. Production and Processing of Medicinal Plants (Vol. 4). Behnashr Press, 438p.
 - Rechinger, K.H., 1982. *Flora Iranica* (Vol. 181). Akademische Druck-u. Verlagsanstalt, Graz, 597p.
 - Sefidkon, F., Abbasi, K., Jamzad, Z. and Ahmadi, S., 2007. The effect of distillation methods and stage of plant growth on the essential oil content and composition of *Satureja rechingeri* Jamzad. *Food Chemistry*, 100: 1054-1058.
 - Teat, L., 2014. Yield and physiological responses of the bioenergy crop *miscanthus×giganteus* to fertilizer, biochar and drought. Partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science. Graduate School at Appalachian State University.
 - Wang, X., Vignjevic, M., Jiang, D., Jacobsen, S. and Wollenweber, B., 2014. Improved tolerance to drought stress after anthesis due to priming before anthesis in wheat (*Triticum aestivum* L. var. *vinjett*). *Journal of Experimental Botany*, 65(22): 6441-6456.
 - morphological characterization of *Satureja khuzistanica* Jamzad populations from Iran. *Chemistry & Biodiversity*, 8: 902-915.
 - Haider, G., 2016. Biochar as a Beneficial Soil Amendment in Sandy Soils. Ph.D. thesis, Department of Plant Ecology, Faculty of Biology and Chemistry Justus-Liebig-University Giessen, Germany.
 - Jamzad, Z., 2009. *Thymus* and *Satureja* species of Iran. Research Institute of Forest and Rangelands, 171p.
 - Jeffery, S., Verheijen, F.G.A., van der Velde, M. and Bastos, A.C., 2011. A quantitative review of the effects of biochar application to soils on crop productivity using meta-analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 144: 175-187.
 - Major, J., Lehmann, J., Rondon, M. and Goodal, C., 2010. Fate of soil applied black carbon; downward migration, leaching and soil respiration. *Global Change Biology*, 16: 1366-1379.
 - Mukherjee, A., 2011. Physical and Chemical Properties of a Range of Laboratory-Produced Fresh and Aged Biochars. Doctoral Dissertation, Geological Sciences, University of Florida, Gainesville, Florida.
 - Mumivand, H., Mesbah, B., Javad, H. and Mohammad, F.T., 2011. Plant growth and essential oil content and composition of *Satureja hortensis* L. cv. Saturn in response to calcium carbonate and nitrogen application rates. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(10): 1859-1866.
 - Nooshkam, A., Mumivand, H., Hadian, J., Alemardan,

Interaction of biochar and superabsorbent on the composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil under drought stress

M. Beiranvandi¹, N. Akbari², A. Ahmadi^{3*}, H. Mumivand⁴ and F. Nazarian²

1- Ph.D. student of Agroecology, Agricultural College, Lorestan University, Khorramabad, Iran

2- Department of Agronomy and Plant Breeding, Lorestan University, Khorramabad, Iran

3*- Corresponding author, Department of Plant Protection, Lorestan University, Khorramabad, Iran

E-mail: Ahmadi1024@gmail.com

4- Department of Horticulture Science, Lorestan University, Khorramabad, Iran

Received: March 2020

Revised: August 2020

Accepted: August 2020

Abstract

To study the effect of biochar and superabsorbent on the chemical composition of *Satureja rechingeri* Jamzad essential oil, under drought stress conditions, a factorial split-plot experiment was conducted in a randomized complete block design with three replications in 2018-2019 at the Medicinal Plant Research Farm of Lorestan University. Treatments included drought stress as the main plot at three levels (100, 80, and 60% of water requirement) and cow manure biochar at two levels (0 and 10 ton ha⁻¹), and stockosorb hydrogel at three levels (0, 60, and 120 mg plant⁻¹) as subplots. Twenty-four compounds were identified in aerial parts essential oil of the plant using GC-MS. The main constituents included carvacrol (76.6%), γ -terpinene (5.8%), *p*-cymene (3%), terpinen-4-ol (2.5%), 1,8-cineole (2%), and linalool (0.9%). The results showed that the highest amount of carvacrol (90.8%) was observed in severe moisture stress+biochar+60 mg stockosorb and the lowest (73.8%) was observed in stress-free control treatment with biochar+120 mg stockosorb. The results showed that interactions between drought stress and biochar had a significant effect on essential oil yield. Also, no correlation was observed between the presence and absence of stockosorb superabsorbent with different compounds of *Satureja rechingeri* essential oil.

Keywords: *Satureja rechingeri* Jamzad, drought stress, biochar, superabsorbent.