

## تأثیر بیوچار، الگوی کاشت و روش‌های آبیاری بر عملکرد اسانس و محتوای عناصر غذایی آویشن (*Thymus vulgaris*)

### چکیده:

**اهداف:** بررسی تأثیر بیوچار و الگوی کشت بر عملکرد اسانس و محتوای عناصر غذایی آویشن تحت روش‌های مختلف آبیاری از مهم‌ترین اهداف این تحقیق بود.

**مواد و روش‌ها:** این آزمایش به صورت اسپلیت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه دانشگاه آزاد واحد کرج اجرا شد. آبیاری در سه سطح (آبیاری تمامی جویچه‌ها، آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت و یک درمیان متغیر) به عنوان عامل اصلی و بیوچار در دو سطح (عدم مصرف و کاربرد بیوچار) و الگوی کاشت (کشت یک ردیفه و دو ردیفه روی پیشته) به عنوان عوامل فرعی در نظر گرفته شدند.

**یافته‌ها:** درصد اسانس و عملکرد آن به طور معناداری تحت شرایط کم‌آبی افزایش یافت. بیشترین عملکرد اسانس با ۲۲/۱۴ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت + کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن به دست آمد. تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت و یک‌درمیان متغیر، با افزایش قابل ملاحظه درصد اسانس، بر عملکرد اسانس افزود. بیوچار نیز بر تمامی صفات بررسی شده اثر معناداری داشت. کم‌آبی سبب کاهش میزان عناصر غذایی کلسیم، منیزیم و آهن شد، درحالی‌که بیوچار سبب افزایش محتوای عناصر آهن، منیزیم و پتاسیم و کاهش عناصر سدیم و کلسیم شد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به اثرات مثبت بیوچار در بهبود مواد آلی، خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین فراهمی عناصر غذایی خاک، کم‌آبیاری از طریق آبیاری یک‌درمیان ثابت جویچه‌ها و کاربرد ۸ تن در هکتار بیوچار، ضمن کاهش مصرف آب سبب افزایش عملکرد اسانس آویشن می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** آویشن، الگوی کاشت، بیوچار، عملکرد اسانس، محتوای سدیم

## **Effect of Biochar, Planting Pattern and Irrigation Methods on Yield and Yield Components of Essential Oil and Nutrient Content of Thyme (*Thymus vulgaris*)**

### **Abstract**

**Background and objective:** The effect of biochar and cultivation pattern on essential oil yield and nutrient content of thyme under different local irrigation methods were the most important objectives of this study.

**Materials and Methods:** This experiment was performed as a factorial split based on a randomized complete block design with three replications during the two crop years of 1397-1396 and 1398-1397 in the farm of Karaj Branch of Azad University. Irrigation at three levels (irrigation of all furrows, irrigation of furrows as one-intermediate and one intermittent variable), as the main factor and biochar at two levels (no use and application of biochar), and planting pattern (one-row and two-row cultivation on the ridge) as Sub-factors were considered.

**Results:** The percentage of essential oil and its yield increased significantly under water stress conditions. The highest essential oil yield with 22.14 kg.ha<sup>-1</sup> was obtained in the treatment of furrow irrigation as a constant intermediate + application of biochar + cultivation of two rows of thyme. Furrow irrigation treatments, both fixed and variable, increased the yield of essential oil by significantly increasing the percentage of essential oil. Biochar also had a significant effect on all studied traits. Water stress reduced the levels of calcium, magnesium, and iron, while biochar increased the content of iron, magnesium and potassium and decreased the elements of sodium and calcium.

**Conclusion:** Due to the positive effects of biochar in improving organic matter, physical and chemical properties as well as the availability of soil nutrients, less irrigation through constant one-intermediate furrows irrigation and application of 8 tons per hectare of biochar, while reducing water consumption increases thyme essential oil yield.

**Keywords:** Biochar, Essential Oil Yield, Planting Pattern, Sodium Content, Thyme

آویشن با نام علمی (*Thymus Vulagris*) یکی از گیاهان دولپه است. این گیاه از خانواده نعنائیان و منشأ پیدایش آن نواحی دریای مدیترانه است. این گیاه چند ساله بوده و ارتفاع آن تا حدود ۴۰ سانتیمتر رشد می‌کند. بر روی شاخه‌های کوچک و چوبی آویشن، برگ‌های نوک‌تیز به رنگ سبز تیره می‌رویند. از برگ‌های بسیار خوش عطر آن بیشتر به عنوان ادویه یا داروی گیاهی استفاده می‌شود (دائوکان و عبدالله ۲۰۱۷). عوامل تنش‌زای زیستی و غیر زیستی از عوامل کاهش‌دهنده عملکرد مطلوب سیستم‌های بیولوژیکی مانند گیاهان زراعی هستند. کم‌آبی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده عملکرد گیاهان زراعی در سطح جهان می باشد که وسعت تأثیر آن بالا بوده و در طیف گسترده‌ای به وقوع می پیوندد (یاداو و یاداو ۲۰۱۸). کم‌آبی عملکرد گیاهان زراعی را در ۲۵ درصد از زمین‌های زراعی جهان کاهش می‌دهد. کم‌آبی باعث افزایش دمای کانوپی گیاهی و کاهش فتوسنتز می‌شود (شکاری و همکاران ۲۰۱۵). بیوپچار ذرات ریز حاصل از کربونیزاسیون است که از ویژگی‌های آن بالا بودن کربن آلی آن و حساسیت کم آن به فرآیند تخریب است. کاربرد بیوپچار با بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک بر جذب آب و مواد غذایی گیاهان می‌افزاید (مالینسکا ۲۰۱۵). در یک مطالعه توسط کامیاما و همکاران (۲۰۱۴). تیمار بیوپچار، ظرفیت نگهداری آب را در خاک را افزایش داده و از تبخیر از سطح خاک می‌کاهد. از سوی دیگر کاربرد بیوپچار حاصلخیزی خاک را افزایش می‌دهد و باعث افزایش دسترسی فسفر، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌شود (ایگاز و همکاران ۲۰۱۸). در تحقیقی که بر روی گیاه ذرت انجام شد، استفاده از بیوپچار به میزان ۱۴ تن در هکتار بیشترین عملکرد دانه و شاخص برداشت در شرایط آبیاری نرمال و در شرایط تنش خشکی بدست آمد (سالی و همکاران ۲۰۲۱). خاشعی و همکاران (۲۰۱۹) گزارش کرد که کاربرد ۹ تن در هکتار بیوپچار در شرایط آبیاری نرمال منجر به حداکثر میزان عملکرد و خصوصیات رشدی گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermim ammi*) شد. آنها اعلام کردند که کاربرد ۲۲/۵ تن در هکتار بیوپچار با تعدیل تنش آبی بر وزن صد دانه اثر گذاشته و کمترین اختلاف را با شرایط آبیاری نرمال داشت. همچنین بر اساس نتایج فخرآبادی و خوش سیمای چنار (۱۴۰۰)، کاربرد بیوپچار باعث فراهمی عناصر غذایی پر مصرف برای رشد گیاه ریحان شد و مانع از کاهش شدید عملکرد اسانس در شرایط تنش گردید. زعفریان و همکاران (۲۰۲۱) گزارش دادند که کاربرد بیوپچار می‌تواند هم در کیفیت و هم در کمیت اسانس نعناع فلفلی موثر باشد، بطوریکه بیشترین درصد اسانس و اکثر ترکیبات اسانس نعناع فلفلی در تیمارهای همراه با مصرف بیوپچار بدست آمد.

تراکم گیاهی از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان زراعی است. دست‌کاری تراکم گیاهی به‌شدت روی پارامترهای رشدی تأثیر می‌گذارد. تعداد گیاهان بالغ در یک محیط بستگی به منابع در دسترس داشته و اثرهای طولانی‌مدت و کوتاه‌مدتی بر طول دوره زندگی گیاه دارد. در تراکم های بالای کاشت عملکرد در هر گیاه به دلیل رقابت درون‌گونه‌ای برای منابع رشدی کاهش می یابد (رومیتی و همکاران ۲۰۱۷). تراکم گیاهی و آرایش کاشت اثرات مجزایی بر دریافت نور و کارایی آن برای تولید دانه در بسیاری از گیاهان زراعی دارند. با افزایش تراکم گیاهی، تعداد شاخه‌ها و کل بیوماس گیاه کاهش می‌یابد. توزیع غیریکنواخت گیاهان در مزارع تأثیر منفی بر پتانسیل تولید گیاهان دارد که ناشی از تأثیر شدید محیط بر تظاهر فنوتیپی

ژنوتیپ‌ها است (ویلکزسکی ۲۰۲۰). در تحقیقات انجام شده بر روش گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.) گزارش شد که فواصل بوته کمتر سبب افزایش عملکرد سرشاخه گلدار شد و بیشترین عملکرد در فاصله کاشت ۱۵ سانتی‌متر حاصل شد (نقدی عبدی و همکاران ۲۰۰۲). در تحقیقی اثر تراکم‌های مختلف گیاهی در گیاه دارویی زنیان (*Trachyspermum ammi*) مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش تراکم ارتفاع کانوپی و عملکرد اسانس افزایش پیدار کرد (برومند رضا زاده و همکاران ۲۰۰۹). با توجه به اهمیت اقتصادی کشت گیاهان دارویی و همچنین مشکل کمبود آب در کشور، این تحقیق با هدف ارزیابی تأثیر بیوچار و الگوهای مختلف کاشت بر عملکرد و محتوای عناصر غذایی آویشن تحت روش‌های مختلف آبیاری انجام شد.

### مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد اسانس گیاه دارویی آویشن با استفاده از مصرف بیوچار و الگوهای مختلف کاشت تحت روش‌های مختلف آبیاری آزمایشی طی دو سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۷ و ۱۳۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه آموزشی و پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج، اجرا شد. این منطقه در ماهدشت کرج با طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۳ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد است. میانگین دمای سالانه ۱۲ درجه سلسیوس، میانگین حداکثر دمای سالانه ۴۳ درجه سلسیوس و میانگین حداقل دمای سالانه ۲۸- درجه سلسیوس است. میانگین بارندگی سالانه‌ی این ناحیه ۳۹۸ میلی‌متر است. pH خاک‌های منطقه در محدوده‌ی قلیایی تا متوسط و کلاس آب  $S_1C_1$  می‌باشد. قبل از شروع آزمایش جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر خاک نمونه‌برداری انجام گرفت و نمونه‌ای مرکب برای تجزیه به آزمایشگاه منتقل شد. نتایج تجزیه خاک نشان داد که خاک مزرعه دارای بافت لوم شنی، شوری  $1/56$  ds/m و اسیدیته  $7/53$  بود (جدول ۱). بر اساس توصیه‌های کودی، در این بررسی از کودهای فسفره و پتاسه استفاده نشد.

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه طی دو سال زراعی

عمق (cm)	EC ( $ds.m^{-1}$ )	اسیدیته گل اشباع	کربن آلی (%)	نیترژن (%)	پتاسیم ( $mg.kg^{-1}$ )	فسفر ( $mg.kg^{-1}$ )	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس
۰-۳۰	۱/۰۲	۷/۵	۷۰	۰/۰۷۷	۴۲۰	۸,۶۰	۱۴	۴۲	۴۴

آزمایش به‌صورت اسپلیت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل:  
 تیمارهای مختلف کم‌آبی به‌عنوان عامل اصلی در سه سطح:  $A_1$ : آبیاری تمام جویچه‌ها (شاهد)،  $A_2$ : کم-آبیاری (یک‌درمیان ثابت)،  $A_3$ : کم‌آبیاری (یک‌درمیان متغیر)

- تیمار بیوچار شامل: ۱- عدم مصرف (شاهد)، مصرف بیوچار (مصرف ۸ تن در هکتار که قبل از کشت با خاک مخلوط گردید)،

- تیمار الگوی کاشت شامل: ۱- کشت یک ردیفه آویشن روی پشته، ۲- کشت دو ردیفه آویشن روی پشته  
عملیات تهیه زمین در اواخر بهار انجام شد که شامل شخم و دیسک و تسطیح زمین و در نهایت کرت بندی بود ابعاد هر کرت ۲/۴×۴ مترمربع، فاصله پشته‌ها از یکدیگر ۶۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها در روی خط ۴۰ سانتی‌متر بود. آرایش بوته‌ها در داخل کرت به حالت ضربدری بود. فاصله بلوک‌ها از یکدیگر ۲ متر و فاصله کرت‌ها از یکدیگر یک متر بود. پس از آماده کردن زمین، در فصل پاییز اقدام به کشت بذر در زمین اصلی نموده، در هفته سوم پس از کاشت اقدام به تنک و واکاری گردید. از زمان کاشت تا استقرار کامل گیاهچه‌ها و فرارسیدن دوره سرما گیاهان به‌طور مرتب و هفته‌ای یکبار آبیاری شدند. برای کلیه کرت‌ها رسیدگی لازم از قبیل وجین و غیره در طی دوره رویش به‌طور یکسان به عمل آمد. مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی و طی چندین مرحله در طول دوره رشد صورت گرفت. زمان اعمال تیمارها در بهار و پس از قطع بارندگی‌های بهاره به‌وسیله روش بلانی و گریدل مشخص شد و حجم آب آبیاری از طریق رابطه مساحت هر کرت در ارتفاع آب آبیاری محاسبه شد. قبل از اعمال تیمارها ابتدا صفات مورفولوژیک و عملکرد گیاه تا مرحله شروع تیمارها یادداشت گردیده و گیاهان از حدود ۸ سانتیمتری کف بر شده و پس از خشک شدن در دمای ۶۰ الی ۷۰ درجه سانتی‌گراد، عملکرد اندام هوایی محاسبه‌شده، درصد اسانس را با استفاده از روش تقطیر با آب اندازه گرفته و عملکرد اسانس نیز محاسبه شد تا در محاسبات عملکرد کل گیاه در طول دوره رشد منظور گردد. مرحله اصلی پروژه پس از کف بر کردن گیاهان و با کنترل میزان آب مصرفی شروع گردید.

پس از ظهور گل و در تمامی ترکیب‌های تیماری، ارزیابی صفات مورفولوژیک با نمونه‌برداری از بوته‌های تحت رقابت ردیف دوم از هر کرت آزمایشی انجام گردید. صفات مورد بررسی در این مرحله از آزمایش شامل عملکرد سرشاخه گل‌دار، درصد اسانس، عملکرد اسانس و میزان مواد غذایی آویشن بود. جهت به دست آوردن درصد اسانس، بوته‌های خشک‌شده آسیاب شدند و از هر واحد آزمایشی (۳۶ واحد) به میزان ۸۰ گرم نمونه‌برداری شد و توسط دستگاه کلونجر و به روش تقطیر با آب، اسانس گیری به مدت ۲ ساعت به عمل آمد. با رابطه تناسب، میزان درصد وزنی اسانس به دست آمد.

اندازه‌گیری عناصر غذایی با روش اکسایش تر هضم انجام شد. نمونه‌ها بعد از خشک شدن کامل، آسیاب شدند و سپس از الک ۰/۵ میلی‌متری عبور داده شدند تا به صورت یکنواخت درآیند. جهت اندازه‌گیری سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و آهن، ۱ گرم از نمونه‌های گیاهی با ترازوی حساس (±۰/۰۰۱) توزین و به داخل لوله‌های هضم منتقل شدند. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ (۶۵ درصد) به لوله‌ها افزوده شد. یک نمونه به‌عنوان شاهد (بدون ماده خشک) که حاوی فقط اسید نیتریک بود، تهیه شد. نمونه‌ها بر روی بلوک هضم چیده شدند و تا روز بعد و بدون اعمال هیچ دمایی رها شدند. روز بعد نمونه‌ها به مدت سه ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. سپس دما گام به گام تا ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش داده شد و به مدت ۶ ساعت در این دما قرار گرفت تا عمل هضم کامل شود. پس از خنک شدن لوله‌ها مقداری آب مقطر به محتویات

آن‌ها افزوده شد و روی کاغذ صافی ریخته شد. این فرآیند چندین بار تکرار شد. در نهایت حجم عصاره نمونه-های گیاهی به ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شد (والینگ ۱۹۸۹).

برای اندازه‌گیری غلظت پتاسیم، محلول استاندارد پتاسیم آماده شد. نخست، مقدار ۰/۱۹۱ گرم از نمک کلرید پتاسیم (KCl) در آون خشک شد. سپس در آب مقطر حل شد و به حجم یک لیتر رسانده شد. به‌طوری-که محلول تهیه شده، حاوی ۱۰۰ میلی‌گرم پتاسیم در لیتر بود. در مرحله بعد سری محلول‌های استاندارد آماده شدند. از محلول استاندارد ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقادیر ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ میلی‌لیتر برداشته شد و در بالن‌های ۱۰۰ میلی‌لیتری ریخته و با آب مقطر به حجم رسانده شد. این سری محلول‌ها به ترتیب حاوی ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ میلی‌گرم پتاسیم در لیتر بودند. این استانداردها برای ترسیم نمودار واسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. قرائت‌های دستگاه فلیم فوتومتر برای محلول‌های استاندارد و نمونه‌ها یادداشت گردید (پرکین ۱۹۸۲). لازم به ذکر است که پس از رقیق کردن نمونه‌ها به مقدار لازم، نمونه‌های رقیق‌شده به دستگاه داده شدند و قرائت آن‌ها انجام شد. در نهایت قرائت‌های به‌دست‌آمده، پس از اعمال درجه رقت، به میلی‌گرم پتاسیم در گرم ماده خشک تبدیل شدند.

به منظور اندازه‌گیری آهن فعال، از هیدروژن کلرید یک نرمال استفاده شد. ابتدا یک گرم ماده خشک آسیاب شده (اندام‌های هوایی) به داخل بشر ۵۰ میلی‌لیتری انتقال و به آن ۱۰ میلی‌لیتر HCl یک نرمال افزوده شد (یعنی با نسبت ۱:۱۰). سپس روی بشرها سلفون کشیده شد (برای جلوگیری از تبخیر) و ۱۶ ساعت نمونه در دمای اتاق قرار داده شد. بعد از اتمام ۱۶ ساعت، نمونه‌ها را صاف کرده و آهن فعال موجود در عصاره با دستگاه جذب اتمی (AA-6300 Shimadzo) قرائت شدند.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS 9.1 انجام شد. با توجه به همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون بارلت، تجزیه مرکب انجام شد. میانگین تیمارها به روش آزمون چند دامنه‌ی دانکن در سطح پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفتند. رسم نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

## نتایج و بحث

### عملکرد سرشاخه گل‌دار

نتایج تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سال، آبیاری، سال  $\times$  آبیاری، بیوپار و آبیاری  $\times$  بیوپار بر عملکرد سرشاخه گل‌دار معنی‌دار بود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین‌های اثر برهمکنش آبیاری و کاربرد بیوپار بر عملکرد سرشاخه گل‌دار نشان داد که بیشترین عملکرد سرشاخه گل‌دار با ۱۷۰۱ کیلوگرم در هکتار در تیمار آبیاری تمامی جویچه‌ها + کاربرد بیوپار به دست آمد، درحالی‌که کمترین آن با ۹۷۹ کیلوگرم در هکتار متعلق به آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوپار بود. نتایج این مطالعه نشان داد که در هر دو تیمار کاربرد و عدم کاربرد بیوپار، با کاهش آب آبیاری از عملکرد سرشاخه گل‌دار کاسته شد. در شرایط عدم کاربرد بیوپار تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر، کاهش ۲۷/۸ و ۳۵/۶ درصدی نسبت به آبیاری تمامی جویچه‌ها و در صورت کاربرد بیوپار تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر، کاهش ۱۳/۶ و ۳۰/۹ درصدی در عملکرد سرشاخه گل‌دار نسبت به آبیاری تمامی جویچه‌ها

حاصل گردید. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در کلیه شرایط آبیاری، استفاده از بیوچار سبب افزایش عملکرد سرشاخه گل‌دار شد (جدول ۳). کم‌آبی سبب کاهش پتانسیل آبی برگ‌ها، از دست رفتن توژسانس، بسته شدن روزنه‌ها، ممانعت از بزرگ شدن سلول‌ها و درنهایت کاهش رشد می‌گردد. همچنین کم‌آبی شدید منجر به کاهش فتوسنتز، به هم خوردن تعادل متابولیسم و درنتیجه بیوماس گیاه می‌گردد (دیپاک و همکاران ۲۰۱۹). در خصوص تأثیر بیوچار بر عملکرد سرشاخه گل‌دار، بیوچار به دلیل نقش تغذیه‌ای و باروری خاک می‌تواند منجر به افزایش رشد محصول گردد (وان زویتن و همکاران ۲۰۱۰).

جدول ۳- مقایسه میانگین‌های عملکرد سرشاخه گل‌دار تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمار بیوچار

عملکرد سرشاخه گل‌دار (kg.ha <sup>-1</sup> )	بیوچار	رژیم آبیاری
۱۵۲۰ b	عدم کاربرد	آبیاری تمام جویچه‌ها
۱۷۰۱ a	کاربرد	
۱۰۹۸ c	عدم کاربرد	آبیاری یک‌درمیان ثابت
۱۴۷۰ b	کاربرد	
۹۷۹/۶ d	عدم کاربرد	آبیاری یک‌درمیان متغیر
۱۱۷۵ c	کاربرد	

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات موردبررسی در آویشن

منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد سرشاخه گل‌دار	درصد اسانس	عملکرد اسانس	محتوای سدیم	محتوای پتاسیم	محتوای کلسیم	محتوای منیزیم	محتوای آهن
سال	۱	۱۱۸۸۰۴/۵۸۵ **	۰/۰۲۸	۰/۰۶۳	۰/۰۵۰	۰/۰۳۶	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۷	۰/۸۴۵
خطا	۴	۱۵۸۱/۶۲	۰/۰۰۹	۱/۱۲۵	۰/۰۱۱	۰/۴۵	۰/۱۳۱	۰/۰۰۱	۴۲/۰۶۹
آبیاری	۲	۱۷۳۲۴۷۶/۴۲۱ **	۳/۵۱۲ **	۳۱۴/۸۷۱ **	۰/۰۳۹ *	۰/۹۶۲	۰/۲۶۹ *	۰/۰۳۸ **	۴۴۳/۱۹۹ *
سال × آبیاری	۲	۶۱۳۳۲/۱۵۱ **	۰/۰۰۷	۰/۴۸۷	۰/۰۶۵ **	۰/۰۲۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۱۱۳/۵۵۸
خطای اصلی	۸	۳۶۹۵/۹۵۱	۰/۰۱۳	۰/۴۶۸	۰/۰۰۵	۰/۳۶۵	۰/۰۵	۰/۰۰۳	۷۶/۳۲۵
بیوچار	۱	۱۱۱۹۱۵۵/۰۵۷ **	۱/۴۰۶ **	۳۰۹/۲۱۷ **	۰/۰۳۱	۰/۲۶۹ **	۱/۹۶۷ **	۰/۰۳۱ *	۱۲۰۰/۵۰۰ **
سال × بیوچار	۱	۲۹۸۷۳/۴۱	۰/۰۰۳	۲/۸۴۴	۰/۰۴	۰/۲۹۴	۰/۰۴	۰/۰۰۱	۳۹/۰۱۴
آبیاری × بیوچار	۲	۶۷۸۰۰/۸۵۰ *	۰/۱۸۵ **	۴۰/۰۴۳ **	۰/۰۳	۰/۶۴۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳	۵۱/۷۳
سال × آبیاری × بیوچار	۲	۴۳۱۷/۲۸۹	۰/۰۰۴	۲/۱۵۹	۰/۰۴۲ *	۰/۳۷۶	۰/۰۳۶	۰/۰۰۱	۱۱۴/۵۷۷
الگوی کاشت	۱	۰/۴۵۹	۰/۰۰۵	۶/۳۰۷	۰/۰۰۰۱	۰/۱۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۵۱۳/۰۶۷
سال × الگوی کاشت	۱	۱۶۱/۲۵	۰/۰۰۵	۰/۱۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۱۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰۱	۴۰/۵
آبیاری × الگوی کاشت	۲	۱۴۵۶/۴۵۷	۰/۰۱۲	۱/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۶۵	۰/۱۱۴	۰/۰۰۲	۶۹۰/۹۷۴ *
سال × آبیاری × الگوی کاشت	۲	۱۵۶۶/۱۲۹	۰/۰۰۲	۰/۵۱۶	۰/۰۱۱	۰/۲۱۶	۰/۱۱۳	۰/۰۰۰۱	۲۱۹/۲۴
بیوچار × الگوی کاشت	۱	۳۴۷/۷۳۳	۰/۰۰۵	۳۹/۱۷۶ **	۰/۰۰۰۱	۰/۱۲۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۷	۱۱/۳۶۱
سال × بیوچار × الگوی کاشت	۱	۰/۹۴۱	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳	۰/۰۰۱	۰/۵۶۹	۰/۱۳۳	۰/۰۰۱	۵۳/۳۸۹
آبیاری × بیوچار × الگوی کاشت	۲	۳۶۷۶۳/۸۸	۰/۰۶۱ *	۱۱/۳۷۳ **	۰/۰۱۸	۰/۱۶۷	۰/۱۱۸	۰/۰۰۰۱	۳۳۱/۰۸۳
سال × آبیاری × بیوچار × الگوی کاشت	۲	۳۶۸۸۱/۱۴	۰/۰۰۵	۰/۱۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۷۴	۰/۰۷۸	۰/۰۰۳	۲۲۸/۵۴۴
خطای فرعی	۳۶	۱۵۳۱۱/۲۴	۰/۰۱۴	۱/۶۱۴	۰/۰۱۲	۰/۴۴۳	۰/۱۰۸	۰/۰۰۵	۱۵۱/۶۹۸
ضریب تغییرات (%)	-	۷/۹۴	۶/۸۸	۸/۹۳	۱۶/۵۳	۲۴/۳۴	۱۸/۰۶	۱۳/۴۴	۱۲/۹۱

\*\* و \* به ترتیب نشان‌دهنده معناداری در سطح احتمال یک و پنج درصد می باشد.



## درصد اسانس

نتایج حاصل از تجزیه مرکب واریانس نشان داد که اثر آبیاری، بیوچار، آبیاری × بیوچار و آبیاری × بیوچار × الگوی کاشت بر درصد اسانس معنی‌دار بود (جدول ۲). با توجه به نتایج حاصل از این بررسی، کم‌آبی سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس آویشن شد. مقایسه میانگین‌های درصد اسانس تحت تأثیر برهم-کنش آبیاری، تیمار بیوچار و تعداد ردیف کاشت نشان داد که بیشترین درصد اسانس با ۱/۳۱۴ درصد متعلق به آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت + کاربرد بیوچار + کشت یک ردیفه آویشن بود که از این نظر با آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان متغیر + کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن اختلاف معناداری نداشت. کمترین درصد اسانس نیز بدون توجه به ترکیب‌های تیماری بیوچار و ردیف کاشت، در آبیاری تمامی جویچه‌ها به دست آمد (جدول ۴). شرایط تنش تولید و نگهداری مواد ثانویه در گیاه را افزایش می‌دهد. این مواد چون از اکسیداسیون درونی سلول‌ها جلوگیری می‌کنند، در شرایط تنش خشکی افزایش می‌یابند. کم‌آبی متابولیسم روی گیاه اثر می‌گذارد، از جمله اینکه تولید پروتئین‌ها و آنزیم‌ها دچار اختلال می‌شود. در این شرایط در اثر افزایش تجزیه کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک، تولید آلکالوئیدها، اسانس‌ها و مواد معطر گیاهان افزایش می‌یابد (دیپاک و همکاران ۲۰۱۹). در شرایط تنش کم‌آبی ملایم بر درصد اسانس بوته‌های گیاهان دارویی افزوده می‌شود، زیرا میزان تولید ترکیبات ثانوی جهت افزایش مقاومت به کم‌آبی افزایش می‌یابد، چرا که این ترکیبات، ترکیبات مشترک اسانس و ترکیبات ثانوی هستند. تا مادامی که شرایط اجازه تقسیم و گسترش سلولی را بدهد، کربن برای رشد هزینه می‌شود. با وقوع تنش کم‌آبی رشد متوقف شده، سلول‌ها تمایز یافته و مخازن متابولیت‌های ثانویه را تشکیل می‌دهند و گیاه کربن را به تولید مواد مؤثره دارویی اختصاص می‌دهد (ابویاتا ۲۰۱۹). تحت تأثیر کم‌آبی روزنه‌ها بسته شده و در نتیجه دی‌اکسید کربن نمی‌تواند وارد گیاه شود. تحت این شرایط عوامل احیا کننده به جای احیای دی‌اکسید کربن به سمت تولید متابولیت‌های ثانوی پیش می‌روند (سلمار و کلاین‌واچتر ۲۰۱۳). دیپاک و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش دادند که کم‌آبی سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس گیاه دارویی *Melissa officinalis* می‌شود. همچنین اکبرزاده و همکاران (۲۰۱۹) با اعمال تیمارهای کم‌آبیاری و آبیاری ناقص ریشه بر روی گیاه دارویی نعنای فلفلی گزارش دادند که آبیاری ناقص ریشه در سطح ۶۶ درصد رطوبت قابل استفاده گیاه تا حدود ۸۷ درصد محتوای اسانس را افزایش داد. در تحقیق دیگری قیلاوی زاده و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش دادند که اعمال تنش خشکی در مرحله دانه‌بندی و ۵۰ درصد گلدهی سبب افزایش درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی سیاهدانه گردید.

## عملکرد اسانس

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس مرکب، اثر آبیاری، بیوچار، آبیاری × بیوچار، بیوچار × الگوی کاشت و آبیاری × بیوچار × الگوی کاشت بر عملکرد اسانس در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). در این بررسی بیشترین و کمترین عملکرد اسانس به ترتیب با ۲۲/۱۴ و ۱۱/۷ کیلوگرم در هکتار در آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت + کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن و آبیاری جویچه‌ها به صورت

یک‌درمیان متغیر + عدم کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن به دست آمد. در این مطالعه در اغلب ترکیب‌های تیماری بیوچار و ردیف کاشت، تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان متغیر افزایش معنی‌داری را در عملکرد اسانس آویشن باعث گردید. تیمار آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت بیشترین افزایش را در عملکرد اسانس آویشن با ۵۱ درصد در ترکیب‌های تیماری کاربرد بیوچار + کشت دو ردیفه آویشن باعث شد (جدول ۴). بررسی‌ها نشان داده است که کم‌آبی متوسط با تحریک تولید ترکیبات ثانوی، می‌تواند بر عملکرد اسانس بیفزاید. به‌عنوان مثال ابوباتا (۲۰۱۹) در گیاه دارویی *Melissa officinalis* نشان دادند که کم‌آبی متوسط باعث افزایش معنادار عملکرد اسانس در این گیاه دارویی می‌شود. مددی بناب و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص تأثیر آبیاری بر گیاه دارویی شوید گزارش داد که با کاهش مصرف آب از ۷۰ به ۱۳۰ میلی‌متر تبخیر از تشنگ، تأثیری بر عملکرد اسانس نداشته است؛ بنابراین می‌توان با کاهش مصرف آب به تولید اسانس کافی در شوید دست یافت. همچنین شب-خیز و همکاران (۲۰۲۱) با آزمایش کود زیستی مایکوریزا روی آویشن دناپی در شرایط مختلف آبیاری گزارش داد که بیشترین عملکرد اسانس در تیمار آبیاری ۷۵٪ ظرفیت زراعی همراه با کاربرد کود زیستی بدست آمد که با تیمار ۵۵ درصد ظرفیت زراعی با همان شرایط کود زیستی تفاوت معنی‌داری نداشت.

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های درصد اسانس و عملکرد اسانس تحت تأثیر سطوح آبیاری، تیمار بیوچار و آرایش

#### کاشت

رژیم آبیاری	بیوچار	الگوی کشت	درصد اسانس	عملکرد اسانس (kg.ha <sup>-1</sup> )
آبیاری تمام فاروها	عدم کاربرد	یک ردیف	۰/۸۴۳۳ e	۱۳/۱۵ f
		دو ردیف	۰/۸۲۸۳ e	۱۳/۴۲ f
آبیاری یک‌درمیان ثابت	عدم کاربرد	یک ردیف	۰/۹۱۰۰ e	۱۵/۹۱ e
		دو ردیف	۰/۹۶۳۳ e	۱۶/۳۲ d
آبیاری یک‌درمیان متغیر	عدم کاربرد	یک ردیف	۱/۱۱۲ c	۲۰/۴۱ b
		دو ردیف	۱/۱۱۷ c	۱۸/۱۱ c
آبیاری یک‌درمیان متغیر	کاربرد	یک ردیف	۱/۳۱۴ a	۱۹/۴۲ b
		دو ردیف	۱/۲۱۵ b	۲۲/۱۴ a
آبیاری یک‌درمیان متغیر	عدم کاربرد	یک ردیف	۱/۰۵۱ d	۱۱/۷۰ g
		دو ردیف	۱/۰۷۱ d	۱۱/۳۲ g
آبیاری یک‌درمیان متغیر	کاربرد	یک ردیف	۱/۱۵۲ bc	۱۷/۱۸ cd
		دو ردیف	۱/۲۵۱ ab	۲۰/۰۵ b

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

#### محتوای عناصر غذایی

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس صفات اثرهای اصلی تیمارهای آبیاری و بیوچار بر صفت محتوای کلسیم، منیزیم و آهن معنی‌دار بود. محتوای پتاسیم و سدیم به ترتیب تحت تأثیر تیمارهای آبیاری و کاربرد بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). در این مطالعه کم‌آبی محتوای کلسیم آویشن را به طور معنی‌داری کاهش داد (جدول ۸). در تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به

صورت یک درمیان متغیر محتوای کلسیم به ترتیب ۱/۷۵۸ و ۱/۷۵۰ درصد بود که در مقایسه با آبیاری تمامی جویچه‌ها به ترتیب ۹/۳ و ۹/۷ درصد کمتر بود. هر دو تیمار آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان متغیر از نظر آماری کاهش مشابهی را در محتوای کلسیم آویشن باعث شدند. نتایج مشابهی در خصوص محتوای منیزیم و آهن به دست آمد. در تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان متغیر محتوای منیزیم به ترتیب به میزان ۱۴ و ۸/۸ درصد کمتر بود (جدول ۸). بررسی‌های مختلف نشان داده که کم‌آبی باعث کاهش معنادار محتوای کلسیم گیاهان می‌شود. چرا که مواد غذایی همراه با آب جذب گیاه می‌شوند (اسلام و همکاران ۲۰۱۵). تاترای و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که کم‌آبی باعث کاهش معنادار محتوای کلسیم و منیزیم برگ‌های (*Thymus citriodorus*) می‌شود.

تجزیه واریانس صفات نشان داد که محتوای آهن آویشن به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر برهم کنش تیمار آبیاری و تعداد ردیف‌های کاشت قرار گرفت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌های محتوای آهن تحت تأثیر تیمار آبیاری و تعداد ردیف‌های کاشت نشان داد که تنها با کاربرد بیوچار در شرایط آبیاری کامل، محتوای آهن به طور معنی‌دار افزایش یافت، درحالی‌که در تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به صورت یک درمیان متغیر بیوچار تأثیری نداشت (جدول ۷). در این بررسی محتوای سدیم به‌طور معناداری تحت تأثیر برهم کنش سال، تیمار آبیاری و بیوچار قرار گرفت (جدول ۲). بیشترین محتوای سدیم با ۰/۸۶ پی پی ام در تیمار سال دوم + آبیاری تمامی جویچه‌ها + عدم کاربرد بیوچار به دست آمد. در سال اول هیچ یک از ترکیب‌های تیماری تیمارهای آبیاری و بیوچار تأثیر معنی‌داری بر محتوای سدیم آویشن نداشت، درحالی‌که در سال دوم نتایج متفاوتی به دست آمد. در سال دوم تنها در صورت عدم کاربرد بیوچار، تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت کاهش معنادار ۳۰/۸ درصدی را در محتوای سدیم باعث شد، ولی تیمار آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر تأثیر معناداری بر این صفت نداشت. در شرایط کاربرد بیوچار بین تیمارهای آبیاری از نظر محتوای سدیم اختلاف معناداری وجود نداشت (جدول ۵). از سوی دیگر در این بررسی در تیمارهای آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان ثابت و آبیاری جویچه‌ها به‌صورت یک‌درمیان متغیر کاربرد بیوچار تأثیری بر محتوای سدیم نداشت و تنها در آبیاری تمامی جویچه‌ها کاربرد بیوچار کاهش معناداری را در محتوای سدیم باعث شد. علاوه بر آن کاربرد بیوچار افزایش معناداری را در محتوای کلسیم آویشن باعث گردید. در شرایط کاربرد بیوچار محتوای کلسیم ۱/۹ درصد بود که در مقایسه با عدم کاربرد بیوچار به میزان ۱۸/۷ درصد بیشتر بود. کاربرد بیوچار محتوای پتاسیم را نیز به میزان ۳۰/۴ درصد و محتوای منیزیم را به میزان ۸ درصد افزایش داد (جدول ۸). کاربرد بیوچار حاصلخیزی خاک را در خاک افزایش می‌دهد، به‌ویژه کربن آلی خاک، ظرفیت تبدلی کاتیونی خاک، فسفر در دسترس، پتاسیم، کلسیم و منیزیم در دسترس خاک (گلویشک و همکاران ۲۰۱۷). بنابراین گیاه می‌تواند مقادیر بیشتری از این عناصر را جذب کند. عبدی پور و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر کاربرد بیوچار را بر محتوای عناصر غذایی ریحان بررسی نموده و مشاهده نمودند که کاربرد بیوچار باعث افزایش محتوای کلسیم و پتاسیم ریحان می‌شود. کارتیک و همکاران (۲۰۲۰) نیز نتایج مشابهی را در پنبه گزارش نمودند.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های محتوای سدیم در آویشن تحت تأثیر سطوح آبیاری و تیمار بیوچار

سال	رژیم آبیاری	بیوچار	محتوای سدیم (%)
اول	آبیاری تمام فاروها	عدم کاربرد	۰/۶۰۰۰ cd
		کاربرد	۰/۶۳۳۳ bd
	آبیاری یک‌درمیان ثابت	عدم کاربرد	۰/۶۸۳۳ bd
		کاربرد	۰/۶۱۶۷ bd
	آبیاری یک‌درمیان متغیر	عدم کاربرد	۰/۶۶۶۷ bd
		کاربرد	۰/۶۱۶۷ bd
دوم	آبیاری تمام فاروها	عدم کاربرد	۰/۸۶۶۷ a
		کاربرد	۰/۶۱۶۷ bd
	آبیاری یک‌درمیان ثابت	عدم کاربرد	۰/۶۰۰۰ cd
		کاربرد	۰/۵۶۶۷ d
	آبیاری یک‌درمیان متغیر	عدم کاربرد	۰/۷۵۰۰ ab
		کاربرد	۰/۷۳۳۳ ac

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۶- مقایسه میانگین‌های میزان عناصر غذایی روغن تحت تأثیر بیوچار

بیوچار	آهن (ppm)	پتاسیم (ppm)	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)
عدم کاربرد	۹۱/۲۸ b	۲/۴۰ b	۱/۸۲ a	۰/۵۰ b
کاربرد	۹۹/۴۵ a	۳/۰۰ a	۱/۸۰ b	۰/۵۴ a

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۷- مقایسه میانگین‌های میزان آهن روغن تحت تأثیر سطوح آبیاری و آرایش کاشت

رژیم آبیاری	آرایش کشت	آهن (ppm)
آبیاری تمام فاروها	یک ردیف	۹۱/۶۷ b
	دو ردیف	۱۰۸/۸ a
آبیاری یک‌درمیان ثابت	یک ردیف	۹۵/۵۷ b
	دو ردیف	۹۱/۸۰ b
آبیاری یک‌درمیان متغیر	یک ردیف	۹۰/۸۵ b
	دو ردیف	۹۳/۴۷ b

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

جدول ۸- مقایسه میانگین‌های میزان عناصر غذایی روغن تحت تأثیر سطوح آبیاری

تیمار آبیاری	کلسیم (ppm)	منیزیم (ppm)
--------------	-------------	--------------

۰/۵۶۶۷ a	۱/۹۳۸ a	آبیاری تمام جویچه‌ها
۰/۴۸۷۵ b	۱/۷۵۸ b	یک‌درمیان ثابت
۰/۵۱۶۷ b	۱/۷۵۰ b	یک‌درمیان متغیر

حروف متفاوت بیانگر اختلاف معنادار در سطح احتمال ۰/۰۵ است.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی بر اساس نتایج حاصل از این تحقیق، کم‌آبیاری از طریق افزایش درصد اسانس، بر عملکرد اسانس افزود؛ اگرچه کم‌آبیاری، محتوای عناصر غذایی را کاهش داد. استفاده از بیوچار در شرایط آبیاری یک‌درمیان ثابت و همچنین آبیاری تمام جویچه‌ها سبب افزایش درصد اسانس و عملکرد اسانس شد. بنابراین با توجه به اهمیت اقتصادی عملکرد اسانس در کشت گیاه دارویی آویشن و همچنین محدودیت منابع آبی، کاهش آب آبیاری (آبیاری فاروها به صورت یک‌درمیان ثابت) می‌تواند ضمن صرفه‌جویی در آب مصرفی به همراه کاربرد بیوچار و استفاده از کشت دو ردیفه سبب افزایش عملکرد اسانس گردد.

### سپاسگزاری

باکمال احترام بدین‌وسیله از جناب آقای دکتر محسن یوسفی که در انجام این پژوهش یاریگر بنده بودند، نهایت قدردانی و سپاسگزاری را دارم و از خداوند متعال آرزوی سربلندی و سلامتی برای ایشان دارم.

منابع مورد استفاده:

- Abobatta W. 2019. Drought adaptive mechanisms of plants—a review. *Advances in Agriculture and Environmental Science*, 2(1): 62-65.
- Akbarzadeh A, Shahnazari A, Ahmadi M, Akbarzadeh M. 2019. Effect of Different Irrigation Regimes on Quantitative and Qualitative Characteristics of Peppermint Medicinal Plant, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3): 107-118.
- Aslam M, Maqbool M A, Cengiz R. 2015. Drought Stress in Maize (*Zea mays* L.) Effects, Resistance Mechanisms, *Global Achievements and: Springer*.
- Broumand reza Zadeh, Z., Rezvani Moghaddam, P., Rashed Mohasel, M.H. 2009. Effects of planting date and plant density on morphological characteristics and essential oil content of (*Trachyspermum ammi* (Linn). Sprague). *Iranian Journal of Field Crops Research* 40(4): 80-88. (In Persian).
- Dauqan E M, Abdullah A. 2017. Medicinal and functional values of thyme (*Thymus vulgaris* L.) herb. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 5(2): 17-22.
- Deepak S B, Thakur A, Singh S, Bakshi M, Bansal S. 2019. Changes in crop physiology under drought stress: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8: 1251-1253.
- Egashira C, Hashiguchi Y, Kurauchi E, Tatsumi Y, Nakagawa A, Hamaoka N, Yuasa T, Iwaya-Inoue M, Ishibashi Y. 2020. A rapid translocation of photoassimilates from source organs maintains grain yield in cowpea subjected to drought stress during grain filling. *Biologia plantarum*, 64: 529-534.

- Ghilavizadeh A, Hadidi Masouleh E, Zakerin HR, Valadabadi SAR, Sayfzadeh S, Yousefi M. 2019. Influence of Salicylic Acid on Growth, Yield and Macro-elements Absorption of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) under Water Stress. Journal of Medicinal plants and By-product, 8(1): 67-75.
- Głuszek S, Sas-Paszt L, Sumorok B, Kozera . 2017. Biochar-rhizosphere interactions—a review. Polish journal of Microbiology, 66(2): 151-161.
- Fakhrabadi H, Khoshsimaie chenar. 2021. The Effect of Deficit Irrigation and Biochar on Quantitative and Qualitative Characteristics of Basil. Iranian journal of Irrigation and Drainage, 15(4): 941-954.
- Igaz D, Šimanský V, Horák J, Kondrlová E, Domanová J, Rodný M, Buchkina N P. 2018. Can a single dose of biochar affect selected soil physical and chemical characteristics? Journal of hydrology and hydromechanics, 66(4): 421-428.
- Kameyama K, Miyamoto T, Shiono T. 2014. Influence of biochar incorporation on TDR based soil water content measurements. European Journal of Soil Science, 65(1): 105-112.
- Karthik A, Hussainy S A H, Rajasekar M. 2020. Effect of biochar on the growth and yield of cotton and maize: A review. IJCS, 8(3), 572-578.
- Khashei A, Shahidi A, Yaghoobzadeh M, Dastourani M. 2019. Effect of biochar application and water tensin levels on yield and yield components of medicinal plant (*Trachyspermum ammi*). Iranian Journal of Irrigation and Drainage, 13(2): 319-328.
- Madadi Bonab S, Zehtab Salmasi S, Ghassemi Golezani, K. 2012. The Effect of Irrigation and Nitrogen Fertilizer on Morphological Characteristics and Essential Oil Percentage and ield of Dill (*Anethum graveolens* L.). Journal of Agricultural Science And Sustainable Production, 22(2): 91-100 .(In Persian).
- Malińska K. 2015. Legal and Quality Aspects of Requirements for Biochar. Inżynieria i Ochrona Środowiska, 18(3), 359-371.
- Naghdi Abadi H, Yazdani D, Nazari F, Mohammad Ali S. 2002. Seasonal variations in yield and composition of essential oil of (*Thymus vulgaris* L.) at different planting densities. Journal of Medicinal Plant, 5: 51-57. (In Persian).
- Perkin E. 1982. Analytical methods for atomic absorption spectrophotometry. Perkin Elmer Corporation, Norwalk, Connecticut, USA.
- Romitti M V, Dornelles E F, da Silva J A G, Marolli A, Mantai R D, Scremin O B, Arenhardt E G, Brezolin A P, Reginatto D C, Scremin A H, de Lima, A R C, da Silva D R. 2017. The sowing density on oat productivity indicators. African Journal of Agricultural Research, 12(11), 905-915.
- Saali O R, Zeidali E, Ardakani M R, Tahmasebi Z, Dorr H R, Barary M. 2021. Investigation of biochar and mycorrhizal symbiosis in reduction water stress in corn (*Zea mays* L.). Environmental Stresses in Crop Sciences, 13(4): 1231-1243. (In Persian).
- Shabkhiz H, Javanmard A, Ostadi A, Morshedloo M R. 2021. Improving quantity and quality of *Thymus daenensis* Celak. essential oil with application of Myco-Root

- biofertilizer under different irrigation levels. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research, 37(3): 434-456. (In Persian).
- Selmar D, Kleinwächter M. 2013. Stress enhances the synthesis of secondary plant products: the impact of stress-related over-reduction on the accumulation of natural products. Plant and Cell Physiology, 54(6): 817-826.
- Shekari F, Javanmard A, Abbasi A. 2015. Effects of super-absorbent polymer application on yield and yield components of rapeseed (*Brassica napus* L.). Notulae Scientia Biologicae, 7(3): 361-366.
- Tátrai Z A, Sanoubar R, Pluhár Z, Mancarella S, Orsini F, Gianquinto G. 2016. Morphological and physiological plant responses to drought stress in *Thymus citriodorus*. International Journal of Agronomy.
- Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan K Y, Downie A, Rust J, Cowie A. 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance soil fertility. Journal of Plant and Soil, 327: 235-246.
- Waling I, Van Vark W, Houba V, Van der Lee J. 1989. Soil and plant analysis, a series of syllabi: Part 7. Plant Analysis Procedures Wageningen Agriculture University.
- Wilczewski E, Harasimowicz-Hermann G, Lemańczyk G. 2020. Effect of sowing method and density on the physical properties of the seed bed and oilseed rape yield. Agronomy Research, 18(2), 628-639.
- Yadav A N, Yadav N. 2018. Stress-adaptive microbes for plant growth promotion and alleviation of drought stress in plants. Acta Scientific Agriculture, 2.
- Zaefarian F, Akbarpour V, Kaveh M. 2021. The effect of nanobiochar application with organic and biological fertilizers on the quantity and quality of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil in organic conditions. Journal of Agroecology. [Available Online from 06 November].