University of Tehran Press

Iranian Journal of Field Crop Science

Online ISSN: 2423-8082

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

Effect of Wood Vinegar and Humic Acid on Morphological and Biochemical Traits, Antioxidant Enzymes, and Essential Oil of Peppermint (*Mentha piperita* L.) under Water Deficit Stress Conditions

Seyed Ali Alavi Asl[1] | Majid Majidian[2]✉ | Seyed Ali Mohammad Modares Sanavy[3] | Masoud Esfahani[4]

1. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran.
2. Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran. E-mail: ma_majidian@guilan.ac.ir
3. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
4. Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Science, University of Guilan, Rasht, Iran.

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received: March 13, 2023
Received in revised form: May 08, 2023
Accepted: May 14, 2023
Published online: September 23, 2023

Keywords:
Catalase,
essential oil yield,
leaf nitrogen,
peppermint,
peroxidase.

ABSTRACT

In order to investigate the effect of wood vinegar and humic acid on morphological and biochemical traits, antioxidant enzymes, and peppermint essential oil under water deficit stress conditions, an experiment was conducted as split plot based on randomized complete block design with three replications in the research farm of the Faculty of Agriculture of the Tarbiat Modares University. The experimental treatments were irrigation regimes at three levels (irrigation up to the field capacity and after depletion 25 (optimal irrigation), 40 (moderate water deficit stress), and 55 (severe water deficit stress) % of plant available water in the root zone, respectively) as main plots and foliar application at seven levels (humic acid (1, 2, and 3%), wood vinegar (5, 10, and 15%) and no foliar application (control)) as sub plots. The highest plant height (38.63 cm) was obtained from the treatment of using wood vinegar 15% under optimal irrigation conditions, while, the maximum leaf area index (3.01) was observed in the treatment using wood vinegar 15% under moderate water deficit stress conditions. The maximum essential oil yield was observed in the foliar application of humic acid 3% under optimal irrigation conditions with 37.48 kg h^{-1}, and with the treatments of humic acid 2% under optimal irrigation conditions with 34.34 kg ha^{-1} and foliar application of 15% of wood vinegar under optimal irrigation conditions with 36.11 kg ha^{-1} was placed in a statistical group. An increase in water deficit stress caused a decrease in essential oil yield, so that in moderate and severe water deficit stress, 9.37% and 40.17% of essential oil yield decreased, respectively. The use of wood vinegar and humic acid increased the yield of peppermint essential oil, so that by increasing the foliar concentration of wood vinegar from 0 to 15%, the yield of essential oil increased by 81.29%, and increasing the concentration of humic acid foliar application from 0 to 3% increased the yield of essential oil by 69.28%. Considering the water limitation, the use of acid humic 3% is recommended in optimal irrigation conditions and moderate water deficit stress, and wood vinegar 15% in severe water deficit stress conditions is recommended.

Cite this article: Alavi Asl, S.A., Majidian, M., Modares Sanavy, S.A.M., & Esfahani, M. (2023). Effect of wood vinegar and humic acid on morphological, biochemical, antioxidant enzymes and essential oil of peppermint (*Mentha piperita* L.) under water deficit stress conditions. *Iranian Journal of Field Crop Science*, *54*(3), 163-176. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.356625.654990.

© The Authors.

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: http//doi.org/10.22059/ijfcs.2023.356625.654990

انتشارات دانشگاه تهران

علوم گیاهان زراعی ایران

شاپا الکترونیکی: ۸۰۸۲-۲۴۲۳

Homepage:https://ijfcs.ut.ac.ir/

اثر محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و محتوی اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش کم‌آبی

سیدعلی علوی اصل[۱] | مجید مجیدیان[۲]✉ | سیدعلی محمد مدرس ثانوی[۳] | مسعود اصفهانی[۴]

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران. رایانامه: ma_majidian@guilan.ac.ir

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
پراکسیداز،
عملکرد اسانس،
کاتالاز،
نعناع فلفلی،
نیتروژن برگ.

چکیده

به‌منظور بررسی اثر محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک بر صفات مورفولوژیک و بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، و محتوی اسانس گیاه نعناع فلفلی در شرایط تنش کم‌آبی، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری در سه سطح (آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵ (بدون تنش)، ۴۰ (تنش متوسط) و ۵۵ (تنش شدید) درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و محلول‌پاشی در هفت سطح (اسیدهیومیک (یک، دو و سه درصد)، سرکه چوب (پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد) و عدم محلول‌پاشی (شاهد)) به‌عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد بیشترین ارتفاع بوته در تیمار ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب (۳۸/۶۳ سانتی‌متر) و بیشترین شاخص سطح برگ (۳/۰۱) در تیمار ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی متوسط به‌دست آمد. بیشترین عملکرد اسانس در تیمار محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۷/۴۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که با تیمارهای کاربرد دو درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۴/۳۴ کیلوگرم در هکتار و محلول‌پاشی ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفتند. افزایش شدت تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد اسانس شد؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۹/۳۷ و ۴۰/۱۷ درصد کاهش عملکرد اسانس اتفاق افتاد. استفاده از سرکه چوب و اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد اسانس نعناع فلفلی شد؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پاشی سرکه چوب از صفر به ۱۵ درصد، عملکرد اسانس ۸۱/۲۹ درصد افزایش یافت و افزایش غلظت محلول‌پاشی اسیدهیومیک از صفر به سه درصد، باعث افزایش ۶۹/۲۸ درصدی عملکرد اسانس شد. باتوجه‌به محدودیت آب و نتایج این پژوهش، استفاده از سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی متوسط و کاربرد ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی شدید پیشنهاد می‌شود.

استناد: علوی اصل، س.ع.، مجیدیان، م.، مدرس ثانوی، س.ع.م.، و اصفهانی، م. (۱۴۰۲). اثر محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک بر صفات مورفولوژیک، بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و محتوای اسانس نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در شرایط تنش کم‌آبی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۴(۳)، ۱۶۳-۱۷۶. DOI: 10.22059/ijfcs.2023.356625.654990

ناشر: موسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان

۱. مقدمه

نعناع فلفلی با نام علمی *Mentha piperita* (L.) به‌دلیل اهمیت اقتصادی و دارویی، مورد توجه محققان قرار گرفته است. این گیاه چندساله از خانواده نعناعیان، یکی از گیاهان دارویی پرمصرف است که علاوه‌بر آثار درمانی به‌عنوان طعم‌دهنده در تولید محصولات غذایی و دارویی مختلف به‌کار می‌رود. اسانس این گیاه یکی از معروف‌ترین و رایج‌ترین روغن‌های اسانس مورد استفاده است و این به‌دلیل ترکیب‌های اصلی آن یعنی منتول و منتون می‌باشد. خانواده نعناعیان با انتشار و توزیع جهانی از قطب شمال تا جنوب به‌طور گسترده در بسیاری از کشورها عمدتاً به‌عنوان گیاه دارویی باارزش کشت می‌شود. گستردگی کشت آن در جهان، این گیاه را با تنش غیر زنده از جمله تنش کم‌آبی در طول فصل رشد مواجه خواهد کرد. از طرفی، کمیت و کیفیت مواد مؤثره گیاهان دارویی علاوه‌بر ژنوتیپ، تحت تأثیر عوامل محیطی نیز قرار می‌گیرند (Kheiry *et al*., 2017).

آب یک عامل کلیدی در تولید گیاهان زراعی است. عملکرد گیاهان در بسیاری از مناطق توسط تنش‌های محیطی زنده و غیر زنده محدود می شود. کم‌آبی از تنش‌های مهم محیطی است که تولید گیاهان را با مشکل مواجه می‌کند. رطوبت کم در هر یک از مراحل مختلف رشد موجب کاهش جذب آب، عناصر غذایی، کاهش نقل و انتقال عناصر در داخل گیاه و در نهایت کاهش محصول نهایی می‌شود. استفاده بهینه از آب دارای اهمیت بسزایی است؛ به‌ویژه در مناطقی که شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک بر آن حاکم است که حدود دو سوم مساحت ایران را در برمی‌گیرد (Azeri Nasrabadi & Attardi, 2007). یکی از سازوکارهای کارآمدی که گیاه در شرایط کمبود آب از آن بهره می‌گیرد، تنظیم اسمزی است. از مهم‌ترین اسمولیت‌های سهیم در تنظیم اسمزی برای غالب‌شدن آثار سوء تنش خشکی، تجمع اسمولیت‌های سازگار مانند پرولین است (Rajinder, 1987). در پژوهشی، تأثیر تنش خشکی روی وزن تر و خشک، محتوی آب نسبی برگ، غلظت کلروفیل‌ها و میزان پرولین در گیاه نعناع فلفلی گزارش شده است که بیشترین وزن تر و خشک، مقدار کلروفیل a و کل و محتوی رطوبت نسبی برگ در تیمار عدم تنش، بالاترین مقدار کلروفیل b در تنش کم‌آبی مربوطبه ظرفیت زراعی ۲۰ درصد و بیشترین مقدار پرولین در ظرفیت زراعی ۶۰ درصد مشاهده شد (Izadi *et al*., 2009).

تغذیه مطلوب گیاهی یکی از روش‌های مؤثر بر تواناسازی گیاهان در مقابله با شرایط خشکی است. همچنین، تولید محصول سالم یکی از اهداف مهم جامعه کشاورزی می‌باشد. کاربرد کودهای شیمیایی موجب بروز خسارت‌های سنگین محیط زیستی شده است. امروزه استفاده از مواد ارگانیک، طبیعی و بهره‌گیری از طبیعت مورد توجه است. استفاده از کودهای طبیعی، از جمله اسیدهیومیک و سرکه چوب بدون اثرات محیط زیستی برای بالابردن عملکرد می‌تواند مؤثر باشد. اسیدهیومیک یک پلیمر طبیعی است (Rahi *et al*., 2012) و می‌تواند به‌طور مستقیم اثرات مثبتی بر رشد گیاهان بگذارد. اسیدهیومیک ($C_{187}H_{186}O_{89}N_9S$) در اثر تجزیه مواد آلی به‌ویژه مواد با منشاء گیاهی به‌وجود می‌آید و در خاک، زغال سنگ و پیت یافت می‌شود و با وزن مولکولی ۳۰۰۰۰۰–۳۰۰۰۰ دالتون، باعث تشکیل کمپلکس پایدار و نامحلول با عناصر میکرو می شود. رشد قسمت هوایی و ریشه گیاه با اسیدهیومیک تحریک می‌شود؛ ولی اثر آن بر ریشه برجسته‌تر است، حجم ریشه را افزایش داده و باعث اثربخشی سیستم ریشه می شود (Sabzevari & Khazaee, 2009). با محلول‌پاشی اسیدهیومیک روی لوبیا مشاهده شد که عملکرد و اجزای عملکرد افزایش یافت (Kaya *et al*., 2014). اسیدهیومیک با بهبود تولید قند، پروتئین و ویتامین در گیاه و نیز تأثیر مثبتی که بر جنبه‌های مختلف فتوسنتز دارد، محتوی غذایی محصولات کشاورزی را افزایش می‌دهد (Cavani *et al*., 2003). از مزایای مهم اسیدهیومیک می‌توان به کلات‌کنندگی عناصر غذایی مختلف مانند سدیم، پتاسیم، منیزیم، روی، کلسیم، آهن، مس و سایر عناصر در جهت غلبه بر کمبود عناصر غذایی اشاره کرد که سبب افزایش طول و وزن ریشه و آغازش ریشه‌های جانبی می‌شود (Abedi & Paknuyat, 2010). همچنین، اسیدهیومیک می‌تواند وزن خشک کل گیاه را مستقیماً افزایش داده و کارایی استفاده از کود و کاهش تراکم خاک را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد (Muscolo, 2013). همچنین برر سی‌های گوناگون نشان‌دهنده افزایش رنگیزه های فتوسنتزی با کاربرد اسیدهیومیک به‌صورت محلول پاشی در گیاهان مختلف از جمله گیاه مارچوبه (Dalvand *et al*., 2018) و گیاه داوودی (Fan *et al*., 2014) است. اسیدهیومیک با افزایش فعالیت آنزیم روبیسکو سبب می‌شود میزان فعالیت فتو سنتزی افزایش یابد (Define *et al*., 2005). در گزار شی مشخص شد که محلول‌پاشی اسیدهیومیک باعث

افزایش شاخص‌های رشد گیاه دارویی چای ترش شد (Ahmad *et al*., 2011). همچنین در گزارش دیگری روی چای ترش ثابت شد که در شرایط تنش رطوبتی با مصرف اسیدهیومیک، غلظت پرولین کاهش یافت (Sanjari Mianjye *et al*., 2015). محلول‌پاشی اسیدهیومیک روی چای ترش سبب بهبود رشد ریشه و جذب بالاتر مواد و عناصر غذایی توسط ریشه شد (Guvence *et al*., 1999).

سرکه چوب از فرآیند سوختن بقایای گیاهان و یا حیوانات به‌دست می‌آید. در تولید سرکه چوب بسیاری از مواد خام همانند زغال‌سنگ، چوب و پسماندهای محصولات جنگلی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Burnette, 2010). پیرولیگنئوس‌اسید از جمع‌آوری، تقطیر و فشرده‌سازی گازهای حاصل از چرخه تولید زغال چوب تولید می‌شود که در صنایع غذایی، داروسازی، کشاورزی و دامپروری استفاده‌های مختلفی برای آن وجود دارد (Tiilikkala *et al*., 2010; Guillen & Manzanos, 2002). در کشاورزی پیرولیگنئوس‌اسید، به‌منظور کنترل آفات، حاصلخیزی خاک و تحریک رشد گیاهان استفاده می‌شود. مهم‌ترین ترکیبات پیرولیگنئوس‌اسید متانول و استیک‌اسید است. سایر ترکیبات شامل استون، متیل‌استون، استالدئید، فورفورال و فورمیک‌اسید، پروپیونیک‌اسید و بوتیریک‌اسید و ۱۵ عنصر از عناصر کم‌مصرف و پرمصرف است که شامل پتاسیم، مس، منیزیم، سدیم، فسفر، بور، آهن، کلسیم، روی، مولیبدن و به مقدار ناچیز از عناصر کروم، سرب، آلومینیوم و کادمیوم است (Zulkarami *et al*., 2011). گزارش شده است که سرکه چوب کیفیت خاک را بهبود می‌بخشد، آفات را از بین می‌برد و رشد گیاه را تسریع می‌کند (Apai & Thongdeethae, 2001). بنابراین کاربرد سرکه چوب به‌عنوان کود ممکن است به کاهش استفاده از سموم و کودها کمک کند.

این پژوهش، باتوجه‌به بحران کم‌آبی و تاثیر مثبت اسیدهیومیک و سرکه چوب روی صفات مورفولوژیک، بیوشیمیایی، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی اجرا شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس واقع در کیلومتر ۱۶ اتوبان تهران–کرج در مختصات جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۲۷۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۷ انجام شد. بر اساس آمار هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی(چیتگر) در دانشکده کشاورزی، این منطقه با ۲۴۲ میلی‌متر بارندگی سالانه دارای رژیم آب و هوایی نیمه‌خشک بوده و متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۲۲ درجه سانتی‌گراد است.

تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های آبیاری (آبیاری تا حد ظرفیت مزرعه و به‌ترتیب بعد از تخلیه ۲۵ (بدون تنش)، ۴۰ (تنش متوسط) و ۵۵ (تنش شدید) درصد آب قابل استفاده در منطقه ریشه) به‌عنوان عامل اصلی و هفت سطح محلول‌پاشی (اسیدهیومیک (۱، ۲ و ۳ درصد)، سرکه چوب (۵، ۱۰ و ۱۵ درصد) و عدم محلول‌پاشی (شاهد)) به‌عنوان عامل فرعی بودند. ریزوم‌های نعناع فلفلی برای کشت از پژوهشکده گیاهان دارویی واقع در کیلومتر ۵۵ اتوبان تهران–قزوین، مجتمع تحقیقاتی جهاد دانشگاهی تهیه و کاشت در تاریخ اول اردیبهشت ۱۳۹۷ صورت گرفت. هر کرت دارای شش ردیف کاشت به‌فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین هر بوته ۲۰ سانتی‌متر و به طول دو متر بود. علاوه‌بر این بین هر کرت با کرت مجاور که از نظر سطح دریافت کودی متفاوت بودند، یک متر به صورت نکاشت در نظر گرفته شد. قبل از اجرای این پژوهش از خاک مزرعه به عمق صفرتا ۳۰ سانتی‌متری نمونه‌گیری و پس از هواخشک‌کردن و عبوردادن از الک دو میلی‌متری برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن اندازه‌گیری شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. اعمال تنش کم‌آبیاری بعد از مرحله استقرار (کشت و مستقرشدن گیاهچه‌ها) در کرت‌های مربوطه به‌وسیله دستگاه رطوبت‌سنج زمان (TDR) و محاسبه میزان پتانسیل آب خاک توسط منحنی رطوبتی خاک به‌وسیله دستگاه صفحات فشاری برای پتانسیل‌های مختلف اعمال شد. قبل از شروع آزمایش از منحنی‌های کالیبراسیون برای تعیین رابطه بین مقدار عددی ارائه‌شده توسط دستگاه TDR و مقدار حجمی رطوبت خاک استفاده شد. همچنین

برای تعیین و کنترل مقدار آب آبیاری از لوله‌های مجهز به کنتور استفاده شد (Heidarzadeh *et al*., 2021). مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک مزرعه محل آزمایش.

Depth of soil	Soil texture	pH	EC (dSm^{-1})	N (%)	P ($mg\ kg^{-1}$)	K ($mg\ kg^{-1}$)	Organic carbon (%)	Organic matter (%)	FC (%)	PWP (%)
0-30	Sandyloam	7.4	1.43	0.14	27.6	320	1.40	2.41	16.45	9.26

برای بررسی اثر تیمارهای آزمایشی صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، تعداد برگ، محتوی نسبی آب برگ، وزن تر و خشک کل، درصد و عملکرد اسانس، محتوی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل، نیتروژن برگ، پرولین، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز اندازه‌گیری شدند. زمان برداشت گیاه نعناع فلفلی برای اندازه‌گیری عملکرد زیستی و اندازه‌گیری اسانس در زمان ۱۰ درصد گل‌دهی در ۵۰ درصد از کرت‌ها انجام شده و نمونه‌های گیاهی با حذف حاشیه از وسط هر کرت و از فاصله پنج سانتی‌متری از کف زمین برداشت و پس از توزین به اتاق خشک‌کن منتقل شدند. پس از خشک‌شدن نمونه‌ها به‌صورت سایه‌خشک و در دمای اتاق ۱۸ تا ۲۲ درجه سانتی‌گراد، وزن خشک بوته‌های هر کرت توسط ترازوی دقیق آزمایشگاهی به‌منظور اندازه‌گیری عملکرد زیستی تعیین شد. سپس از هرکرت به‌اندازه ۵۰ گرم نمونه برگ خشک با ترازو با دقت چهار صفر وزن و جدا شدند و سپس اسانس‌گیری به‌روش تقطیر با آب مقطر با استفاده از دستگاه کلونجر به‌مدت سه ساعت بعد از به‌جوش‌آمدن انجام شد (Omid Beigi, 2009).

برای سنجش محتوی رنگیزه‌های فتوسنتزی، مقدار ۰/۵ گرم از بافت برگ در هاون چینی و بااستفاده‌از نیتروژن مایع خرد شد. با افزایش استون ۸۰ در صد حجم نهایی به ۲۰ میلی‌لیتر رسید. از قسمت کاملاً صاف شده محلول حاصل، برای کاهش ناخالصی‌های احتمالی ۱۸ میلی‌لیتر برداشت شد و در سانتریفیوژ (مدل SIGMA، ساخت آمریکا) با سرعت ۶۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه عصاره‌گیری شد. عصاره جداشده رویی به لوله‌های فالکون منتقل و مقداری از نمونه در کووت اسپکتروفتومتر ریخته شد و میزان جذب به‌طور جداگانه در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ قرائت شد (Arnon, 1949). میزان فعالیت آنزیم‌ها به‌روش Heidarzadeh & Modarres-Sanavy (2021) اندازه‌گیری و برای سنجش پرولین از روش Bates *et al*. (1973) استفاده شد. داده‌های حاصل از آزمایش با نرم‌افزار آماری SAS 9.4 تجزیه شدند. مقایسه میانگین صفات به‌روش آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام شد.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و تعداد برگ

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ و تعداد برگ داشت (جدول ۱). بیشترین ارتفاع بوته با محلول‌پاشی ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب (۳۸/۶۳ سانتی‌متر) به‌دست آمد و کمترین مقدار آن در تیمار شاهد در شرایط تنش کم‌آبی شدید (۱۶/۳۳ سانتی‌متر) مشاهده شد (جدول ۳). همچنین با افزایش تنش کم‌آبی، ارتفاع بوته نعناع فلفلی کاهش پیدا کرد؛ به‌طوری‌که با کاهش ۱۴/۵۶ و ۲۶/۲۲ درصدی به‌ترتیب در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید دیده شد (جدول ۳). این درحالی است که با محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک و افزایش غلظت آن‌ها، ارتفاع بوته نیز افزایش یافت؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت اسیدهیومیک از صفر (شاهد) به سه در صد، ارتفاع بوته ۶۸/۲۲ درصد افزایش یافت (جدول ۳). این درحالی است که با افزایش غلظت سرکه چوب از صفر (شاهد) به ۱۵ درصد، ارتفاع بوته ۷۱/۱۱ درصد افزایش داشت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بالاترین شاخص برگ از محلول‌پاشی ۱۵ در صد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی (۳/۰۱) به‌دست آمد (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد برگ نعناع فلفلی در بوته با ۶۶/۵۸ عدد از محلول‌پاشی سه در صد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب تولید شد (جدول ۱) و کمترین

تعداد برگ‌ها در تیمارهای عدم محلول‌پا شی (۲۸/۳۳ عدد) و ا ستفاده از یک در صد ا سیدهیومیک (۲۸/۴۸ عدد) در شرایط تنش کم‌آبی شدید م شاهده شد (جدول ۳). با افزایش شدت تنش، تعداد برگ تا ۳۰/۸ در صد ن سبت به آبیاری مطلوب کاهش یافت (جدول ۳)، درحالی‌که با محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب به‌ترتیب ۵۳/۸۸ و ۲۹/۷۶ درصد تعداد برگ افزایش یافت (جدول ۳).

کاهش در صفات مورفولوژیک ممکن ا ست ن شان‌دهنده کمبود آب با شد؛ زیرا تنش کم‌آبی باعث کاهش مقدار آب، آماس، پتانسیل کل آب، پژمردگی، بسته شدن روزنه‌ها، کاهش در بزرگ شدن سلول‌ها و ر شد رویشی می شود. ر شد رویشی به تقسیم سلولی، بزرگ شدن سلول‌ها و تمایز بستگی دارد که این اتفاقات تحت تأثیر تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند (Harp *et al*., 2000). با کاهش مقدار آب در دسترس گیاه، فشار آماسی کم شده و در نتیجه، رشد و توسعه سلول در ساقه و برگ کاهش می‌یابد. کاهش تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن سلول‌ها، کاهش سطح برگ و در نتیجه، کاهش فتوسنتز و اجزای رشد رویشی را موجب می‌شوند. با کاهش رشد و نمو سلول، اندازه اندام‌ها محدود می‌شود؛ به‌عبارت دیگر، کاهش مواد فتوسنتزی تولیدی به‌علت کاهش سطح برگ کاهش انتقال مواد همانند سازی شده به سوی اندام‌های زای شی در اثر تنش کم‌آبی اتفاق می‌افتد. به‌همین‌دلیل، اولین تأثیر تنش کم‌آبی در گیاهان، از کوچک‌ترشدن برگ‌ها و ارتفاع کمتر بوته تشخیص داده می‌شود. کمبود آب به‌شدت بر ارتفاع بوته اثر می‌گذارد (Dursun *et al*., 2002). گزارش شده است که محلول‌پاشی اسیدهیومیک روی ارتفاع بوته گیاه سیاه‌دانه اثر معنی‌داری داشت و باعث افزایش ارتفاع آن شد (Azizi & Safaei, 2017). استفاده از کود آلی اسیدهیومیک باعث افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های فرعی، تعداد دانه و شاخص برداشت زیره سبز شد (Sargazi *et al*., 2013). در گزار شی، افزایش سطح برگ و تولید بیشتر مقدار کلروفیل در لوبیا بااستفاده‌از کاربرد اسیدهیومیک م شاهده شده است (Ayas & Gulser, 2005). سرکه چوب دارای موادی نظیر متانول و فورفورال است که می‌تواند به‌عنوان تسریع‌کننده رشد یا افزایش‌دهنده رشد در گیاه محسوب شود (Yatagai *et al*., 1989). در مطالعه‌ای با کاربرد سرکه چوب، سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum* L.) افزایش یافت (Mungkunkamchao *et al*., 2013).

۲-۳. محتوی آب نسبی برگ، وزن تر و خشک اندام‌های هوایی

برهمکنش محلول‌پاشی غلظت‌های مختلف سرکه چوب و اسیدهیومیک با رژیم‌های آبیاری اثر معنی‌داری روی محتوی آب نسبی برگ و وزن خشک اندام هوایی نعناع فلفلی در سطح احتمال یک درصد و روی وزن تر اندام هوایی نعناع فلفلی در سطح احتمال پنج درصد داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که محتوی آب نسبی برگ در تیمارهای محلول‌پاشی دو درصد (۸۶/۵ درصد) و سه درصد (۸۸/۵۲ درصد) اسیدهیومیک بیشتر از سایر تیمارها بود (جدول ۳). در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۴/۶۷ و ۱۰/۸۸ درصد کاهش محتوی آب نسبی برگ اتفاق افتاد (جدول ۳) و با افزایش غلظت محلول پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب، محتوی آب نسبی برگ به‌ترتیب ۱۸/۹۲ و ۱۲/۰۱ درصد نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ۳).

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات نعناع فلفلی در تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی.

S.O.V	d.f	Mean Squares							
		Plant height	Leaf area index	Number of leaves	Relative water content	Total fresh weight	Total dry weight	Essential oil %	Essential oil yield
Block	2	0.094ns	0.008ns	13.63ns	0.89ns	39001ns	20697ns	0.017ns	22.3ns
Water deficit stress (W)	2	388**	0.95**	1208**	405**	5304560**	3052223**	0.270*	656**
Error 1	4	0.132	0.003	6.84	4.20	239061	72402	0.017	7.97
Foliar application(S)	6	218**	0.109**	350**	200**	5984996**	1226154**	0.362**	563**
W*S	12	14.03**	0.016**	60.41**	20.78**	267626*	59685**	0.033**	39.0**
Error 2	36	0.286	0.004	4.16	4.23	114504	17464	0.004	4.33
C.V (%)	-	1.89	1.36	4.89	2.69	5.42	5.54	7.25	9.38

ns، * و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

جدول ۳. مقایسه میانگین صفات نعناع فلفلی در برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی.

Treatments		Plant height (cm)	Leaf area index	Number of leaves	Relative water content (%)	Total fresh weight (kg ha^{-1})	Total dry weight (kg ha^{-1})
Normalirrigation	H-1%	29.32±0.11g	2.64±0.02f-j	48.81±0.80c	80.93±0.41cd	6683±107b-d	2514±16ef
	H-2%	35.99±0.04b	2.77±0.00c-e	54.06±0.76b	86.50±0.50ab	7216±193ab	3204±17a
	H-3%	35.19±0.03bc	2.85±0.03bc	66.58±0.69a	88.52±0.52a	7425±113a	3259±19a
	WV-5%	32.26±0.16e	2.73±0.02d-f	41.15±0.88de	74.41±0.54g-i	6090±71e	2482±64ef
	WV-10%	35.65±0.01b	2.89±0.02b	47.99±1.07c	79.53±0.92de	7055±174a-c	2627±64de
	WV-15%	38.63±0.13a	2.85±0.01bc	46.97±0.99c	83.15±0.70bc	7055±41a-c	3057±80ab
	Control	21.98±0.09m	2.67±0.01e-i	39.20±1.42ef	70.54±0.31jk	5506±113f	2296±50f-h
Moderate water deficitstress	H-1%	23.87±0.06kl	2.57±0.03i-l	36.22±0.50f	76.93±1.20e-h	6505±95c-e	2083±12h-j
	H-2%	26.82±0.24ij	2.60±0.02h-l	36.40±0.30f	77.23±0.33e-g	6808±99bc	2502±45ef
	H-3%	33.53±0.05d	2.80±0.01b-d	49.73±0.58c	81.04±0.40cd	6984±41a-c	2978±7bc
	WV-5%	26.12±0.15j	2.53±0.01kl	39.22±0.56ef	70.59±1.29jk	5356±139f	1943±111j-l
	WV-10%	30.80±0.48f	2.78±0.01cd	46.97±0.50c	76.36±0.22e-i	6811±42bc	2478±24ef
	WV-15%	34.34±0.17cd	3.01±0.04a	48.65±0.32c	78.98±0.48d-f	6914±140a-c	2767±106cd
	Control	20.18±0.19n	2.56±0.04k-l	36.07±0.97f	76.10±0.51f-i	4656±10gh	1780±30lm
Severe water deficit stress	H-1%	23.64±0.12l	2.51±0.04l	28.48±0.29h	73.23±0.29ij	6081±234e	1791±22k-m
	H-2%	28.27±0.15h	2.61±0.02g-l	38.20±0.46ef	73.71±1.27h-i	6505±136c-e	2008±38i-k
	H-3%	29.67±0.19g	2.71±0.01d-g	43.11±0.26d	80.80±0.67cd	6808±80bc	2356±54fg
	WV-5%	19.23±0.02o	2.64±0.00f-k	29.75±0.65gh	67.74±0.44k	5044±109fg	1722±10m
	WV-10%	24.73±0.21k	2.72±0.02d-f	31.90±0.32g	69.23±0.53k	5175±101fg	2216±38g-i
	WV-15%	27.10±0.09i	2.70±0.02d-h	38.81±1.07ef	73.67±0.51h-j	6196±100de	2411±26e-g
	Control	16.33±0.21p	2.57±0.02i-l	28.33±0.70h	63.88±0.52l	4206±41h	1604±29m

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار براساس آزمون LSD می‌باشند. بعد از علامت ± خطای استاندارد قرار دارد. H-1%: محلول‌پاشی یک درصد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد، و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی).

بیشترین وزن تر اندام هوایی نعناع فلفلی در تیمار محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب (۷۴۲۵ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد (جدول ۳) که با تیمارهای محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب (۷۲۱۶ کیلوگرم در هکتار)، محلول‌پاشی ۱۰ درصد (۷۰۵۵ کیلوگرم هر هکتار) و ۱۵ درصد (۷۰۵۵ کیلوگرم در هکتار) سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب و محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک (۶۹۸۴ کیلوگرم در هکتار) و ۱۵ درصد سرکه چوب (۶۹۱۴ کیلوگرم در هکتار) در شرایط تنش کم‌آبی متوسط در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی دو و سه درصد اسیدهیومیک و ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب به‌ترتیب با ۳۲۰۴، ۳۲۵۹ و ۳۰۵۷ کیلوگرم در هکتار، بیشترین وزن خشک اندام هوایی را تولید کردند (جدول ۳). با افزایش شدت تنش، وزن تر و خشک اندام هوایی کاهش معنی‌داری داشت (جدول ۳). همچنین، با کاربرد اسیدهیومیک و سرکه چوب، وزن خشک اندام هوایی به‌ترتیب ۵۱/۲۹ و ۴۴/۹۷ درصد نسبت به شاهد افزایش یافت (جدول ۳) و این افزایش برای وزن تر اندام هوایی، به‌ترتیب ۴۷/۶۷ و ۴۰/۳۴ درصد بود (جدول ۳).

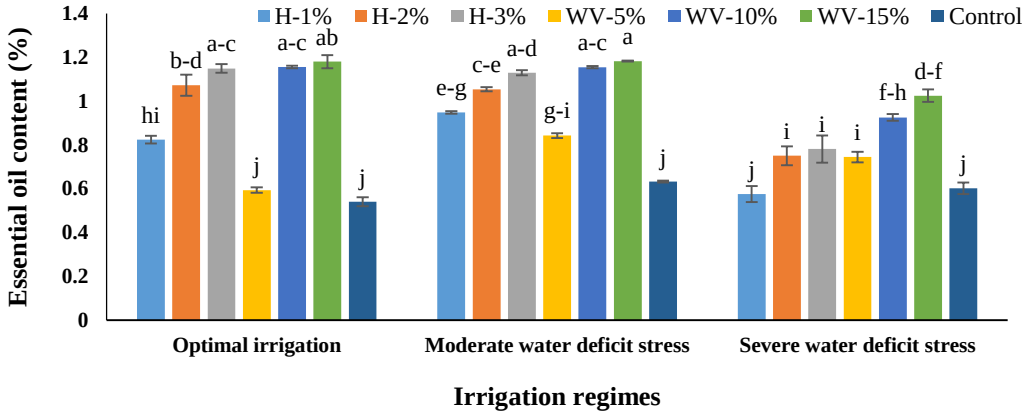
در یک آزمایش روی گیاه بادرنجبویه مشاهده شد که تنش خشکی، محتوی آب نسبی برگ را کاهش داد (Abbaszadeh *et al.*, 2007). به‌نظر می‌رسد که گیاهان در شرایط تنش خشکی، میزان آب سلول‌ها از طریق افزایش مواد اسمزی در درون بافت‌ها به حداقل می‌رسد تا آب از بافت خاک با نیروی بیشتری وارد آن‌ها شود. این موضوع موجب کاهش

میزان آب نسبی در شرایط تنش خشکی می‌شود. در آزمایشی روی گیاه خرفه مشاهده شد که بیشترین محتوی آب نسبی برگ از تیمار عدم تنش و کمترین مقدار آن در شرایط تنش شدید به‌دست آمد و با محلول‌پاشی اسیدهیومیک، محتوی آب نسبی برگ افزایش یافت (Mozafari *et al*., 2017). برا ساس نتایج یک آزمایش محلول‌پاشی اسیدهیومیک روی وزن خشک گیاه دارویی سیاه‌دانه تأثیر معنی‌داری داشته و باعث افزایش آن شد (Azizi & Safaei, 2017). استفاده از کود آلی اسیدهیومیک باعث جذب بهتر آب و انتقال مواد غذایی توسط گیاه شده و از این طریق باعث افزایش رشد ریشه و ساقه می‌شود (Moghbeli & Arvin, 2014) و به‌علت افزایش جذب سایر عناصر غذایی باعث افزایش رشد اندام‌های هوایی می‌شود (Yuan *et al*., 2017). استفاده از اسیدهیومیک به‌دلیل افزایش جذب عناصری مانند نیتروژن، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس موجب رشد اندام‌های هوایی می‌شود (Erkossa *et al*., 2002). همچنین، مصرف اسیدهیومیک موجب افزایش وزن تر و خشک برگ و ساقه در گونه مرتعی علف باغ (*Dactylis glomerata*) شد (Rahie *et al*., 2012). سرکه چوب حاوی عناصر کم‌مصرف و پرمصرف شامل پتاسیم، آهن، منگنز، فسفر، آلومنیوم، مس، کلسیم و روی است (Yamato *et al*., 2006). این عناصر در فعالیت‌های حیاتی گیاه و افزایش فتوسنتز نقش دارند. با افزایش فتوسنتز، زیست‌توده گیاه نیز افزایش می‌یابد. همچنین، سرکه چوب به‌دلیل تشکیل یک منبع کربن، باعث افزایش عملکرد محصول می‌شود (Zulkarami *et al*., 2011).

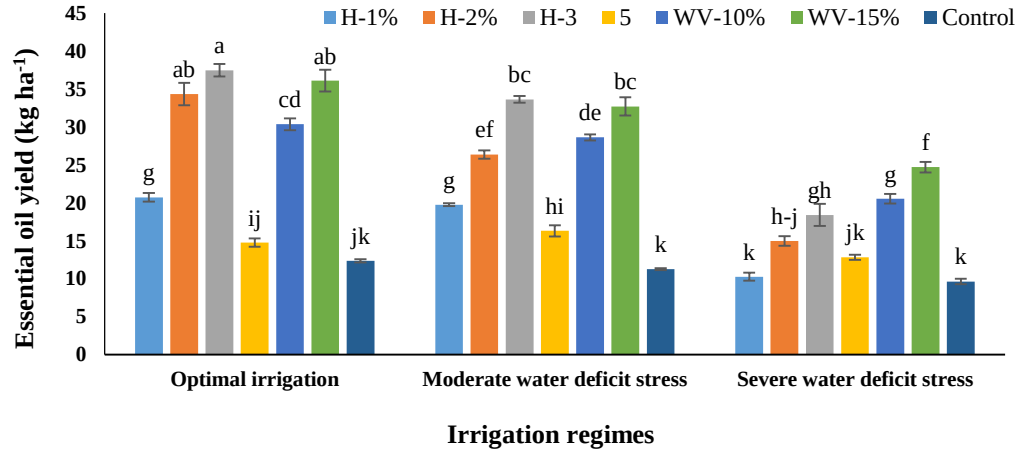
۳-۳. درصد و عملکرد اسانس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که برهمکنش محلول‌پاشی و رژیم‌های آبیاری اثر معنی‌داری در سطح یک درصد روی درصد و عملکرد اسانس نعناع فلفلی داشت (جدول ۲). مقایسه میانگین برهمکنش محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک و رژیم‌های آبیاری نشان داد که تیمارهای محلول‌پاشی ۱۵ و ۱۰ درصد سرکه چوب و سه درصد اسیدهیومیک در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و محلول‌پاشی ۱۰ و ۱۵ درصد سرکه چوب و سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب بیشترین درصد اسانس را نسبت به سایر تیمارها داشتند (شکل ۱). در شرایط تنش کم‌آبی شدید محتوی اسانس ۱۷/۰۳ درصد کاهش یافت (شکل ۱). درحالی‌که با محلول‌پاشی یک، دو و سه درصد اسیدهیومیک درصد اسانس به‌ترتیب ۳۲/۲۵، ۶۲/۰۵ و ۷۲/۳۵ درصد افزایش یافت (شکل ۱) و محلول‌پاشی ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد سرکه چوب به‌ترتیب ۲۲/۹۱، ۸۲/۲۹ و ۹۰/۷۹ درصد نسبت به عدم محلول‌پاشی (شاهد) باعث افزایش درصد اسانس شد (شکل ۱). مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای مورد بررسی نشان داد که بیشترین عملکرد اسانس در تیمار محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۷/۴۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۲) که با تیمارهای کاربرد دو درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۴/۳۴ کیلوگرم در هکتار و محلول‌پاشی ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط آبیاری مطلوب با ۳۶/۱۱ کیلوگرم در هکتار در یک گروه آماری قرار گرفت (شکل ۲). افزایش تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد اسانس شد؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۹/۳۷ و ۴۰/۱۷ درصد کاهش عملکرد اسانس اتفاق افتاد (شکل ۲). استفاده از سرکه چوب و اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد اسانس نعناع فلفلی شد؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پاشی سرکه چوب از صفر به ۱۵ درصد، عملکرد اسانس ۸۱/۲۹ درصد افزایش یافت (شکل ۲) و افزایش غلظت محلول‌پاشی اسیدهیومیک از صفر به سه درصد، باعث افزایش ۶۹/۲۸ درصدی عملکرد اسانس شد (شکل ۲). گزارش شده است که اسیدهیومیک از طریق اثرات مثبت فیزیولوژیک آن از جمله اثر روی متابولیسم سلول‌های گیاهی و افزایش غلظت کلروفیل برگ باعث افزایش عملکرد در گیاهان می‌شود (Nardi *et al*., 2002). اگرچه مقدار متابولیت‌های ثانویه تحت کنترل ژن‌ها هستند، مقدار غلظت و تجمع آن‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر شرایط محیطی قرار داد (Omid Beigi, 2012). با افزایش میزان اسانس در اثر مصرف اسیدهیومیک، می‌توان بیان کرد ازآنجایی‌که اسانس‌ها، ترکیبات ترپنوئیدی بوده و بیوسنتز واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوپرونوئیدها) نیازمند ATP و NADPH هستند و باتوجه‌به این مطلب که حضور عناصری نظیر فسفر نقش مهمی در ساختارهای سازنده اسانس ها یعنی ایزوپنتنیل‌پیروفسفات (IPP) و دی‌متیل‌آلیل‌پیروفسفات (DMAPP) دارند (Sangwan *et al*., 2001)، اسیدهیومیک از طریق فراهم‌کردن جذب بیشتر فسفر و نیتروژن که در اجزاء تشکیل‌دهنده اسانس حضور دارند، موجب افزایش میزان اسانس پیکر رویشی گیاه می‌شود. همچنین، نیتروژن از طریق افزایش تعداد و سطح برگ‌ها و فراهم‌کردن زمینه مناسب برای دریافت انرژی نورانی خورشید و نیز شرکت در ساختار کلروفیل و آنزیم‌های درگیر در متابولیسم

کربن فتوسنتزی، موجب افزایش بازده فتوسنتزی شده و نقش کلیدی در افزایش میزان اسانس دارد (Niakan & Khavarinezhad, 2003).



شکل ۱. مقایسه میانگین درصد اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب و تنش کم‌آبی (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است. H-1%: محلول‌پاشی یک درصد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی)).



شکل ۲. مقایسه میانگین عملکرد اسانس نعناع فلفلی تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب و تنش کم‌آبی (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار است. H-1%: محلول‌پاشی یک درصد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی)).

۴-۳. کلروفیل a، b و کل

نتایج نشان داد اثر اصلی تنش کم‌آبی بر محتوی کلروفیل b در سطح احتمال پنج درصد و کلروفیل کل در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری داشت (جدول ۴). همچنین اثر اصلی محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک بر محتوی کلروفیل a، b و کل در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). بیشترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل با کاربرد سه درصد اسیدهیومیک و ۱۵ درصد سرکه چوب به‌دست آمد (شکل ۳). درحالی‌که کلروفیل b با محلول‌پاشی دو و سه درصد اسیدهیومیک و کاربرد ۱۰ و ۱۵ درصد سرکه چوب بیشترین بود (جدول ۵). بیشترین مقدار کلروفیل b در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی متوسط مشاهده شد (جدول ۵) و بیشترین مقدار کلروفیل کل در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد (جدول ۵). پایین‌بودن میزان کلروفیل می‌تواند به‌علت کاهش سنتز کلروفیل و افزایش تخریب آن باشد. تقلیل رنگیزه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل a، براثر خشکی ممکن است درنتیجه کاهش سنتز مجموعه رنگدانه‌های اصلی کلروفیل، تخریب نوری مجتمع‌هایی باشد که پروتئینی رنگدانه‌های کلروفیل a

و b از دستگاه فتوسنتزی محافظت می‌کند. کاهش سنتز کمپلکس اصلی رنگدانه کلروفیل، تشدید فعالیت آنزیم‌های کلروفیلاز و پراکسیداز، تولید ترکیبات فنلی، افزایش رادیکال‌های فعال اکسیژن و آسیب‌رساندن به غشاء کلروپلاست و اختلال در جذب نیتروژن از خاک به‌عنوان عوامل کاهنده غلظت کلروفیل در تنش‌های شدید شناخته شده است (Smirnoff, 1993). علت افزایش احتمالی رنگیزه‌های فتوسنتزی به‌علت بهبود شرایط تغذیه‌ای گیاه از طریق محلول‌پاشی اسیدهیومیک در مقایسه با شاهد (عدم محلول‌پاشی) است، به‌گونه‌ای‌که توانست از اثرات ناشی از تنش بکاهد. باتوجه‌به نتایج، افزایش قابل توجه جذب نیتروژن در حضور اسیدهیومیک، می‌توان استنباط کرد که اسیدهیومیک قادر به جذب عناصر است که درنتیجه آن باعث افزایش محتوی کلروفیل گیاه می شود. افزایش محتوی کلروفیل برگ ممکن است به‌دلیل تسریع جذب نیتروژن، متابولیسم بهتر نیتروژن و تولید پروتئین‌های محافظت‌کننده به‌دلیل استفاده از اسیدهیومیک باشد (Haghighi *et al*., 2012). اسیدهیومیک با قراردادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه، میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را به‌صورت راحت‌تری در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Davoodifard *et al*., 2012). در گزارشی، تولید بیشتر مقدار کلروفیل در لوبیا بااستفاده‌از کاربرد اسیدهیومیک مشاهده شده است (Ayas & Gulser, 2005).

جدول ٤. تجزیه واریانس برخی از صفات بیوشیمیایی نعناع فلفلی در تیمارهای محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی.

S.O.V	d.f	Mean Squares						
		Chlorophyll a	Chlorophyll b	Total chlorophyll	Leaf N content	Proline	Catalase	Peroxidase
Block	2	0.01ns	0.004ns	0.011ns	0.00001ns	0.0001ns	0.000001ns	0.03ns
Water deficit stress (W)	2	0.04ns	0.04*	0.172**	0.91**	0.001**	0.0007**	0.43**
Error 1	4	0.01	0.01	0.005	0.001	0.00005	0.00001	0.01
Foliar application (S)	6	0.08**	0.02**	0.176**	0.62**	0.002**	0.001**	2.54**
W*S	12	0.01ns	0.01ns	0.008ns	0.02**	0.0004*	0.0001**	0.34**
Error 2	36	0.004	0.004	0.009	0.002	0.0002	0.00001	0.02
C.V (%)	-	2.93	8.09	3.18	2.27	2.16	6.57	5.26

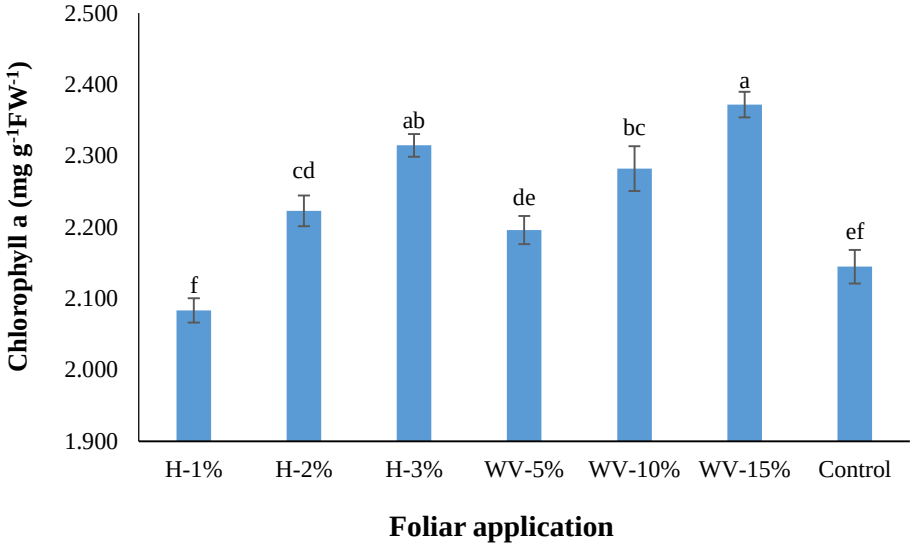
ns، * و ** به‌ترتیب نشانگر عدم معنی‌داری و معنی‌داربودن در سطح احتمال پنج و یک درصد هستند.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که محتوی نیتروژن برگ تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی و آبیاری در سطح احتمال یک درصد قرار گرفت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار نیتروژن برگ با ۲/۳ درصد از تیمار محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب به‌دست آمد (جدول ۶). با افزایش شدت تنش کم‌آبی، محتوی نیتروژن برگ کاهش یافت، به‌طوری‌که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط ۸/۲۵ درصد و در شرایط تنش کم‌آبی شدید ۲۱/۴۷ درصد کاهش نیتروژن برگ مشاهده شد (جدول ۶). محلول‌پاشی اسیدهیومیک با غلظت یک درصد اسیدهیومیک، ۴۲/۰۲ درصد، دو درصد اسیدهیومیک، ۴۹/۰۳ درصد و سه درصد اسیدهیومیک، ۷۰/۴۵ درصد مقدار نیتروژن برگ را افزایش داد (جدول ۶). درحالی‌که محلول‌پاشی سرکه چوب با غلظت ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد به‌ترتیب ۳۴/۲۹، ۴۹/۱۴ و ۴۲/۹۳ درصد باعث افزایش محتوی نیتروژن برگ شدند (جدول ۶). اسیدهیومیک دارای فعالیت شبه هورمونی است و باکمک‌به افزایش جذب عناصری همانند فسفر و نیتروژن در گیاه، موجب افزایش محتوی نیتروژن گیاه می‌شود (Nardi *et al*., 2002). اسیدهیومیک با بالابردن میزان تولید ترکیبات آلی نیتروژن‌دار همانند پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه، سرعت رشد و تولید زیست‌توده در گیاه بنت‌گراس را افزایش داد (Sharifi *et al*., 2002). استفاده از ترکیبات آلی مانند اسیدهیومیک از طریق ایجاد شرایط مناسب برای افزایش در محتوی نیتروژن گیاهان، سبب افزایش رشد و عملکرد آن‌ها می‌شود (Ayas & Gulser, 2005).

۵-۳. پرولین، کاتالاز و پراکسیداز

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که پرولین تحت تأثیر برهمکنش محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی در سطح احتمال پنج درصد قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان پرولین در تیمار محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک در شرایط تنش کم‌آبی (۰/۶۱۲ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ) مشاهده شد (جدول ۶) که با تیمارهای کاربرد دو درصد اسیدهیومیک (۰/۶۰۹ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ)، محلول‌پاشی ۱۰ (۰/۵۹۶ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ) و ۱۵ (۰/۶۰۵ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ)

درصد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی شدید، محلول‌پاشی یک درصد (۰/۶ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ)، دو درصد (۰/۵۹۹ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ) و سه درصد (۰/۶۰۴ میکرومول پرولین در گرم وزن تر برگ) اسیدهیومیک در شرایط تنش کم‌آبی متوسط در یک گروه آماری قرار گرفت (جدول ۶).



شکل ۳. تأثیر محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب روی کلروفیل a نعناع فلفلی (حروف مشترک نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار می‌باشد (H-1%: محلول‌پاشی یک درصد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد، و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی)).

جدول ۵. تأثیر تنش کم‌آبی و محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب روی کلروفیل b و کلروفیل کل نعناع فلفلی.

Water deficit stress	Chlorophyll b (mg $g^{-1}FW^{-1}$)	Total chlorophyll (mg $g^{-1}FW^{-1}$)
Optimal irrigation	0.871±0.022a	3.145±0.033a
Moderate waterdeficit stress	0.835±0.018ab	3.059±0.024b
Severe waterdeficit stress	0.771±0.018b	2.965±0.022c
Spraying		
H-1%	0.801±0.019bc	2.884±0.026e
H-2%	0.868±0.026a	3.091±0.024c
H-3%	0.878±0.015a	3.192±0.018ab
WV-5%	0.800±0.023bc	2.996±0.018d
WV-10%	0.842±0.011ab	3.124±0.034bc
WV-15%	0.855±0.026ab	3.226±0.035a
Control	0.737±0.014c	2.882±0.031e

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف م شترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌با شند. بعد از علامت ± خطای ا ستاندارد قرار دارد (H-1%: محلول‌پا شی یک در صد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد، و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی)).

نتایج تجزیه واریانس نشـان داد که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسـیداز تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشـی و رژیم‌های آبیاری در سـطح احتمال یک درصـد قرار گرفتند (جدول ۴). بیشـترین فعالیت آنزیم کاتالاز در تیمار محلول‌پاشـی پنج در صد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی شدید م شاهد شد (جدول ۶)، درحالی‌که بی شترین میزان فعالیت آنزیم پراک سیداز با کاربرد ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی شدید به‌دست آمد (جدول ۶). پرولینیک ا سید آمینه آزاد آنتی‌اکسیدانت غیر آنزیمی است که گیاهان برای خنثی‌کردن اثرات بازدارنده گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) به آن احتیاج دارند (Lotfi *et al*., 2014). نتایج اکثر تحقیقات حکایت از افزایش محتوی پرولین در اثر تنش خشـکی در گیاهان مختلف می‌باشـد (Lotfi *et al*., 2014;

Rostami *et al*., 2018). در گل گاوزبان اروپایی برهمکنش تنش خشکی و اسیدهیومیک بر میزان پرولین تأثیر معنی‌داری داشت (Heidari *et al*., 2015). به‌علاوه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه پونه در شرایط تنش خشکی افزایش یافت (Perez-Murcia *et al*., 2006).

جدول ٦. مقایسه میانگین برخی از صفات بیوشیمیایی نعناع فلفلی تحت تأثیر برهمکنش تیمارهای محلول‌پاشی و تنش کم‌آبی.

Treatments		Leaf N (%)	Proline (µmol proline g F.W^{-1})	Catalase (U/mg protein)	Peroxidase (U/mg protein)
Optimal irrigation	H-1%	1.934±0.021ef	0.568±0.002e-i	0.032±0.001i	2.305±0.029i
	H-2%	2.046±0.007d	0.584±0.006c-f	0.054±0.000de	2.878±0.040ef
	H-3%	2.300±0.019a	0.582±0.003d-g	0.060±0.001c	2.858±0.084f
	WV-5%	1.807±0.011gh	0.560±0.004hi	0.048±0.000ef	1.971±0.053j
	WV-10%	2.115±0.009c	0.589±0.001b-e	0.049±0.001ef	2.461±0.034hi
	WV-15%	1.970±0.006e	0.579±0.007d-h	0.056±0.000cd	3.248±0.013cd
	Control	1.319±0.020m	0.561±0.001hi	0.030±0.002i	1.865±0.089j
Moderate water deficitstress	H-1%	1.820±0.003g	0.600±0.004a-d	0.042±0.000gh	2.307±0.013i
	H-2%	1.885±0.010f	0.599±0.004a-d	0.047±0.001f	2.588±0.030gh
	H-3%	2.222±0.020b	0.604±0.004a-c	0.060±0.001c	3.385±0.030bc
	WV-5%	1.674±0.009i	0.562±0.004g-i	0.046±0.001fg	2.455±0.040hi
	WV-10%	1.743±0.008h	0.589±0.005b-e	0.058±0.001cd	2.908±0.064ef
	WV-15%	1.754±0.013h	0.581±0.006d-g	0.048±0.001f	2.708±0.027fg
	Control	1.279±0.020m	0.570±0.001e-i	0.031±0.002i	1.801±0.065j
Severe water deficit stress	H-1%	1.488±0.016kl	0.563±0.005f-i	0.049±0.002ef	1.908±0.042j
	H-2%	1.570±0.010j	0.609±0.003ab	0.069±0.001b	3.565±0.061b
	H-3%	1.769±0.007gh	0.612±0.003a	0.061±0.001c	3.098±0.030de
	WV-5%	1.476±0.006l	0.573±0.005f-i	0.039±0.000h	2.508±0.020g-i
	WV-10%	1.646±0.010i	0.596±0.004a-d	0.076±0.001a	2.735±0.034fg
	WV-15%	1.552±0.007jk	0.605±0.003a-c	0.067±0.001b	3.821±0.039a
	Control	1.093±0.003n	0.558±0.002i	0.039±0.001h	1.895±0.018j

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار می‌باشند.بعد از علامت ± خطای استاندارد قرار دارد (H-1%: محلول‌پاشی یک درصد اسیدهیومیک، H-2%: محلول‌پاشی دو درصد اسیدهیومیک، H-3%: محلول‌پاشی سه درصد اسیدهیومیک، WV-5%: محلول‌پاشی سرکه چوب پنج درصد، WV-10%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۰ درصد، WV-15%: محلول‌پاشی سرکه چوب ۱۵ درصد، و Control: شاهد (بدون محلول‌پاشی)).

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد افزایش تنش کم‌آبی باعث کاهش عملکرد اسانس شد؛ به‌طوری‌که در شرایط تنش کم‌آبی متوسط و شدید به‌ترتیب ۹/۳۷ و ۴۰/۱۷ درصد کاهش عملکرد اسانس اتفاق افتاد. استفاده از سرکه چوب و اسیدهیومیک به‌عنوان کودهای آلی سبب بهبود رشد و عملکرد نعناع فلفلی شد. نتایج نشان داد که محلول‌پاشی اسیدهیومیک و سرکه چوب، در شرایط تنش کم‌آبی نیز باعث بهبود رشد گیاه نعناع فلفلی شد. محلول‌پاشی سرکه چوب و اسیدهیومیک باعث افزایش عملکرد اسانس نعناع فلفلی شد؛ به‌طوری‌که با افزایش غلظت محلول‌پاشی سرکه چوب از صفر به ۱۵ در صد، عملکرد اسانس ۸۱/۲۹ در صد افزایش یافت و افزایش غلظت محلول‌پاشی اسیدهیومیک از صفر به سه در صد، باعث افزایش ۶۹/۲۸ در صدی عملکرد اسانس شد. باتوجه‌به محدودیت آب، استفاده از سه درصد اسیدهیومیک در شرایط آبیاری مطلوب و تنش کم‌آبی متوسط و کاربرد ۱۵ درصد سرکه چوب در شرایط تنش کم‌آبی شدید پیشنهاد می‌شود.

۵. منابع

Abbaszadeh, B., Sharifi Ashourabadi, E., Lebaschi, M.H., Naderi Hajibagher Kandy, M., & Moghadami, F. (2007). The effect of drought stress on proline contents, soluble sugars, chlorophyll and relative water contents of balm (*Melissa officinalis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *23*(4), 504-513. (In Persian).

Abedi, T., & Pakniyat, H. (2010). Antioxidant enzyme changes in response to drought stress in ten cultivars of oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Czech Journal of Genetics and Plant Breeding*, *4*, 27-34.

Ahmad, Y.M., Shahlaby, E.A., & Shnan, N.T. (2011). The use of organic and inorganic cultures in improving vegetative growth, yield characters and antioxidant activity of rosella plants (*Hibiscus sabdariffa* L.). *African Journal of Biotechnology*, *10*(11), 1988-1996.

Apai, W., & Thongdeethae, S. (2002). *Wood vinegar: New organic for Thai Agriculture*. In: *Proceeding of 4th Toxicity Division Conference, Department of Agriculture*. Pp. 166-169.

Arnon, D.I. (1949). Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphennol oxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology*, *24*(1), 1-15.

Ayas, H., & Gulser, F. (2005). The effect of sulfur and humic acid on yield components and macronutrient contents of spinach. *Journal of Biological Sciences*, *5*(6), 801-804.

Azeri Nasrabadi, A., & Attardi, B. (2007). Final report on the effects of different irrigation water on the yield of two forage sorghum cultivars. *Institute of Soil and Water Research*. 15p. (In Persian).

Azizi, M., & Safaei, Z. (2016). The effects of foliar application of humic acid and nano fertilizer on morphological traits, yield, essential oil content and yield of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Journal of Horticultural Sciences*, *30*(4), 671-680.

Bates, L.S., Waldern, R.P., & Teave, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Burnette, R. (2010). *An introduction to wood vinegar. ECHO Asia Regional Office*. From http://c.ymcdn.com/sites/www.echocommunity.org.

Cavani, L., Ciavatta, C., & Gessa, C. (2003). Identification of organic matter from peat, leonardite and lignite fertilizers using humification parameters and electrofocusing. *Bioresour Technology*, *86*, 45-52.

Dalvand, M., Solgi, M., & Khaleghi, A.R. (2018). Effects of foliar application of humic acid and drought stress on growth and physiological characteristics of marigold (*Tageterecta*). *Soil and Plant Interactions (Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture)*, *2*(34), 67-79.

Davoodifard, M., Habibi, D., & Davoodifard, F. (2012). Effects of salinity stress on membrane stability, chlorophyll content and yield components of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria and humic acid. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, *2*(8), 76-81. (In Persian).

Delfine, S., Togenetti, R., Desiderio, E., & Alivino, A. (2005). Effect of foliar application of N and humic acids on growth and yield of durum wheat. *Agronomy for Sustainable Development*, *25*, 183-191.

Dursun, A., Guvenc, I., & Turan, M. (2002). Effects of different levels of humic acid on seedling growth and macro and micronutrient contents of tomato and eggplant. *Acta Agronomy Botanica*, *56*, 81-88.

Erkossa, T., Stahr, K., & Tabor, G. (2002). Integration of organic and inorganic fertilizers: Effect on vegetable productivity. *Ethiopian Institute of Agricultural Research*, *82*, 247-256.

Fan, H.X., Wang, W., Sun, X., Li, Y., Sun, X., & Zheng, C. (2014). Effects of humic acid derived from sediments on growth, photosynthesis and chloroplast ultra structure in *chrysanthemum*. *Scientia Horticultura*, *177*, 118-123.

Guillen, M.D., & Manzanos, M.J. (2002). Study of the volatile composition of an aqueous oak smoke preparation. *Food Chemistry*, *79*, 283-292.

Guvence, I., Dursun, A., Turan, M., Tuzel, Y., Burrage, S.W., Bailey, B.J., Gul, A., Smith, A.R., & Tuncay, O. (1999). Effect of different foliar fertilizers on growth, yield and nutrient content of lettuce and crisp lettuce. *Acta Horticulturae*, *491*, 247-252.

Haghighi, M., Kafi, M., & Fang, P. (2012). Photosynthetic activity and N metabolism of lettuce as affected by humic acid. *International Journal of Vegetable Science*, *18*, 182-189.

Harp, S.M., Kerven, G.L., Edwards, D.G., & Ostatek-Boczynski, Z. (2000). Characterisation of fulvic and humic acids from leaves of *Eucalyptus camaldulensis* and from decomposed hay. *Soil Biochemical*, *32*, 1331-1336.

Heidari, M., Reza Miri, H., & Minaie, A. (2015). Activities of antioxidant enzymes and biochemical compounds of borage plant (*Borago officinalis*) in response to drought stress treatments and humic acid. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, *2*(6), 159-170.

Heidarzadeh, A., & Modarres-Sanavy, S.A.M. (2021). Effects of application and type of amino acids on the activity of antioxidant enzymes, proline content and seed yield of lentil (*Lens culinaris* Medik.). *Plant Productions*, *44*(3), 381-394. (In Persian).

Heidarzadeh, A., Modarres-Sanavy, S.A.M., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Changes in yield and essential oil compositions of *Dracocephalum kotschyi* boiss. in response to azocompost, vermicompost, nitroxin, and urea under water deficit stress. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, *22*, 896-913.

Izadi, Z., Asnaashari, M., & Ahmadvand, G.H. (2009). The effect of drought stress on yield, proline, soluble sugars, relative water content and the essential oil of peppermint (*Mentha piperita*). *Iranian Horticultural Science and Technology*, *10*(3), 223-234. (In Persian).

Kaya, M., Atak, M., Khawar, K., Ciftei, C.Y., & Ozcan, S. (2014). Effect of pre-sowing seed treatment with zinc and foliar spray of humic acids on yield of cowpea. *International Journal of Agriculture & Biology, 7*(6), 875-878.

Kheiry, A., Tori, H., & Mortazavi, N. (2017). Effects of drought stress and jasmonic acid elicitors on morphological and phytochemical characteristics of peppermint (*Mentha piperita* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 33*(2), 268-280. (In Persian).

Lotfi, M., Abbaszadeh, B., & Mirza, M. (2014). The effect of drought stress on morphology, proline content and soluble carbohydrates of tarragon (*Artemisia dracunculus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, *30*(1), 19-29. (In Persian).

Moghbeli, T., & Arvin, M.J. (2014). Effect of seed preparation with application of growth regulators on germination, growth and yield melon fruit. *Journal Production and Processing of Agricultural and Horticultural Products, 4*(14), 23-33.

Mozafari, S., Khorasani Nejad., S., & Ghorgin Shabankareh, H. (2017). The effect of irrigation regimes and the application of humic acid on some of the physiological and biochemical characteristics of purpura herb in greenhouse conditions. *Journal of Crop Improvement, 19*(2), 401-416. (In Persian).

Mungkunkamchao, T., Kesmala, T., Pimratch, S., Toomsan, B., & Jothityangkoon, D. (2013). Wood vinegar and fermented bioextracts: Natural products to enhance growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Horticultural Science and Technology*, *154*, 66-72.

Muscolo, A., Sidari, M., & Nardi, S. (2013). Humic substance: Relationship between structure and activity. Deeper information suggests univocal findings. *Journal of Geochemical Exploration*, *129*, 57-63.

Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., & Vianello, A. (2002). Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*, *34*, 1527-1536.

Niakan, M., Khavarnezhad, R.A., & Rezai, M.B. (2003). The effect of different amounts of fertilizer NPK on fresh and dry weight, leaf and oil content of *Mentha piperitae* L. *Journal of Medicinal and Aromatic Plant Research of Iran*, *20*, 131-148. (In Persian).

Omid Beigi, R. (2012). *Processing of Medicinal Plant*. Astan Ghods Razavi. (In Persian).

Omid Baigi, R. (2009). *Production and Processing of Medicinal Plants* (Vol. 2). Astan Quds Razavi. (In Persian).

Perez-Murcia, M.D., Moral, R., Moreno-Caselles, J., Perez-Espinosa, A., & Paredes, C. (2006). Use of composted untreated waste municipal in growth media for broccoli. *Journal of Bioresource and Technology*, *97*,123-130.

Rahi, A.R., Davodifard, M., Azizi, F., & Habibi, D. (2012). Investigating the effects of different amounts of humic acid and studying the process of response curves in species (*Dactylis glomerata*). *Journal of Agriculture and Plant Breeding*, *8*(3), 15-28.

Rajinder, S.D. (1987). Glutahione status and protein synthesis during drought and subsequent dehydration in *Torula rulis*. *American Society of Plant Physiologists*, *83*, 816-819.

Rostami, G.H., Moghadam, M., Saeedi Poya, E., & Ajdanian, L. (2018). Effect of humic acid foliar application on some morpho-physiological and biochemical characteristics of green mint (*Mentha spicata* L.) under drought stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *12*(1), 95-110.

Sabzevari, S., & Khazaee, H. (2009). Effect of spraying of different humic acid levels on growth characteristics, performance and wheat performance of pishtaz cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Agricultural Ecology*, *1*(2), 53-63.

Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.A., Shabih, F., & Sangwan, R.S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulation*, *34*, 3-21.

Sanjari Mianjye, M., Cirrus Mehr, A., &, Fakhery, B. (2015). Effect of drought stress on some physiological characteristics of *Hibiscus sabdarifa. Journal of Crop Improvement*, *17*(2), 403-414. (In Persian).

Sharif, M., Riaz, A., Khattak, M., & Sarir, M. (2002). Effect of lignitic coal derived humic acid on growth of maize Plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis, 33*, 3567-3580.

Smirnoff, N. (1993). The role active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist, 125*, 27-28.

Tiilikkala, K., Fagernas, L., & Tiilikkala, J. (2010). History and use of wood pyrolysis liquids as biocide and plant protection product. *The Open Agriculture Journal, 4*, 111-118.

Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S., & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soli Science and Plant Nutrition*, *52*, 489-495.

Yatagai, M., & Unrinin, G. (1989). Germination and growth regulation effects of wood vinegar components and their homologs on plant seeds - acids and neutrals. *Mokuzai Gakkaishi*, *35*, 564–571.

Yuan, T., Wang, J., Sun, X., Yan, J., Wang, Z., & Niu, J. (2017). Effect of combined application of humic acid and nitrogen fertilizer on nitrogen uptake, utilization and yield of winter wheat. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, *3*, 74-82.

Zulkarami, B., Ashrafuzzaman, M., Husni, M.O., & Razi Ismail, M. (2011). Effect of pyroligneous acid on growth, yield and quality improvement of rock melon in soilless culture. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(12), 1508-1514.