

Effects of drought and salinity stress on chemical constituents of essential oils from different plant organs of *Ammi visnaga* L.

Pooran Golkar^{1*}, Golnaz Arab², Mohammad Reza Vahabi³ and Hamid Reza Eshghizadeh⁴

1*- Corresponding author, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
E-mail: poorangolkar@gmail.com

2- M.Sc. graduated, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4- Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Received: March 2023

Revised: May 2023

Accepted: June 2023

Abstract

Background and objectives: *Ammi visnaga* L. is a medicinal and aromatic plant in the Apiaceae family. The essential oils of this plant have highly valuable aromatic compounds with valuable therapeutic and nutritional properties. Environmental stresses affect the quantity and quality of essential oils (EOs) in medicinal plants. This study was carried out to evaluate the independent and combined effects of salinity and drought stresses on EOs (%) and their chemical constituents in different organs of *A. visnaga* (seeds and head branches) under field conditions.

Methodology: This study was carried out in the research farm of Isfahan University of Technology located in Lavark, Najafabad, using a split-plot design with three replications. Each replicate consisted of two rows (3 m long) of *A. visnaga* seeds. Different levels of salinity stress and drought stress were considered as main plots and subplots, respectively. Three levels of salinity stress [S1 (0 mM NaCl), S2 (80 mM NaCl), and S3 (80 mM NaCl)] and three drought stress levels based on soil depletion rate [D1: normal 50%, D2: moderate stress 60% and D3: severe stress 85%] were applied. Applying salt and drought stresses simultaneously started at the flowering stage (10%) and continued until the full maturity stage. After the full maturity stage of the plants, seed yield was measured. Then, the EOs extraction was done based on the Clevenger method in about 4 hours from head branches and seed samples for all studied treatments. The chemical constituents were identified using Gas Chromatography (GC) and Gas Chromatography/Mass Spectrometry (GC/MS) techniques.

Results: The independent and combined stresses of drought and salinity caused a significant increase in EOs (%) of *A. visnaga*. The highest EOs in the head branch (1.26%) were detected under non-drought and medium salinity stress conditions (D1S1). The lowest EOs (0.25%) were observed under non-drought and non-salinity conditions (D1S1). The highest EOs (0.25%) in seed samples were observed under D2S2 conditions (moderate drought and salinity stress), but the least amount (0.12%) was found under D1S2 conditions (moderate salinity stress) and D1S3 (severe salinity stress). The analysis of essential EOs identified 25 compounds in both seeds and head branch samples. These compounds belong to six main chemical groups. The most and lowest compounds belonged to the groups of hydrocarbon monoterpenes and oxygenated diterpenes in both branches and seeds, respectively. Cembrene was identified as the main chemical compound in seed and head branch EOs. The lowest values for cembrene were reported as 23.32 % and 26.16% in seed and head branch EOs, respectively. The highest values



for cembrene were reported as 33.31% and 36.62% in seed and head branch EOs under treatment. The compound 2-methyl-2-methylbutyl ester was identified as the second most abundant compound in the head branches and seeds of *A. visnaga*. The highest amount of this compound was observed in seed EOs (9.38%) under mild drought and mild salinity stress (D2S2), and the highest amount of this compound was observed in head branch EOs (18.5%) under mild drought stress (D2S1) conditions.

Conclusion: According to the study results, drought and salinity stress caused a quantitative and qualitative increase in *A. visnaga* EOs. Considering the climatic conditions of the arid and semi-arid regions of Iran and the consequent gradual salinization of soils, this plant can be considered a plant of choice in medicinal plant breeding programs, as well as goals related to the food and pharmaceutical industries.

Keywords: Essential oil, Apiaceae, head branch, seed, cembrene, monoterpenes.

اثر تنش‌های خشکی و شوری بر ترکیب‌های شیمیایی اسانس در اندام‌های مختلف گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga L.*)

پوران‌دخت گلکار^{۱*}، گلناز عرب^۲، محمدرضا وهابی^۳ و حمیدرضا عشقی‌زاده^۴

۱- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، پست الکترونیک: poorangolkar@gmail.com

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۴- دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش: خرداد ۱۴۰۲

تاریخ اصلاح نهایی: اردیبهشت ۱۴۰۲

تاریخ دریافت: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

سابقه و هدف: گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga L.*) از گیاهان دارویی و معطر و متعلق به خانواده چتریان است. اسانس این گیاه دارای ترکیب‌های معطر مهم با خواص ارزشمند درمانی و تغذیه‌ای می‌باشد. تنش‌های محیطی تأثیر معنی‌داری بر روی کمیت و کیفیت اسانس در گیاهان دارویی دارند. این مطالعه به منظور بررسی اثرهای مستقل و توأم تنش‌های شوری بر بازده اسانس و اجزای اسانس در اندام‌های مختلف خلال دندان (بذر و سرشاخه) در شرایط مزرعه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها: این آزمایش به صورت اسپلیت پلات و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در لورک نجف‌آباد انجام شد. در هر تکرار ۲ ردیف کاشت به طول ۳ متر از بذرهای گیاه خلال دندان کاشته شد. سطوح مختلف تنش شوری به عنوان پلات‌های اصلی و سطوح مختلف تنش خشکی به عنوان پلات‌های فرعی در نظر گرفته شدند. سطوح شوری به ترتیب شامل S₁ (صفر میلی‌مولار)، S₂ (۸۰ میلی‌مولار) و S₃ (۱۰۰ میلی‌مولار) از نمک کلرید سدیم و سطوح خشکی به ترتیب براساس ۵۰٪ (D₁)، ۷۰٪ (D₂) و ۸۵٪ (D₃) تخلیه آب از ظرفیت زراعی خاک در نظر گرفته شدند. اعمال تنش‌های شوری و خشکی به صورت همزمان از مرحله ۱۰٪ گلدهی بوته‌ها شروع و تا آخرین مرحله رسیدگی ادامه یافت. پس از رسیدگی کامل بوته‌ها، عملکرد بوته‌ها اندازه‌گیری شد. سپس اسانس نمونه‌ها از اندام‌های سرشاخه و بذر با استفاده از روش کلونجر و در طی زمان حدود ۴ ساعت استخراج شد. آنگاه ترکیبات شیمیایی اسانس با دستگاه گاز کروماتوگرافی گازی و گاز کروماتوگرافی متصل به طیف‌سنج جرمی شناسایی گردید.

نتایج: تنش‌های مستقل و توأم خشکی و شوری باعث افزایش معنی‌دار درصد اسانس در گیاه خلال دندان شد. بیشترین درصد اسانس سرشاخه (۱/۲۶٪) در شرایط عدم وقوع تنش خشکی و تنش متوسط شوری (D₁S₂) و کمترین درصد اسانس در سرشاخه (۰/۲۵٪) در شرایط شاهد (D₁S₁) مشاهده شد. بیشترین درصد اسانس بذر (۰/۲۵٪) در شرایط D₂S₂ (تنش متوسط خشکی و شوری) و کمترین مقدار (۰/۱۲٪) در شرایط D₁S₂ (عدم وقوع تنش خشکی و شوری متوسط) مشاهده گردید. نتایج تجزیه ترکیب‌های اسانس در مجموع ۲۵ ترکیب در اسانس بذر و سرشاخه شناسایی کرد که بیشترین و کمترین ترکیب‌ها به ترتیب متعلق به گروه‌های مونوترپن‌های هیدروکربن و دی‌ترین‌های اکسیژنه در هر دو اندام سرشاخه و بذر بود. نتایج تجزیه اسانس، سمبرن (cembrene) را به عنوان ترکیب اصلی در بذر و سرشاخه شناسایی کرد که کمترین مقدار سمبرن در اسانس بذر (۲۳/۳٪) و اسانس سرشاخه (۲۶/۲٪) و بیشترین مقدار سمبرن در تنش ترکیبی شدید خشکی و شوری (D₃S₃) به ترتیب با مقدار ۳۳/۳٪ (بذر) و ۳۶/۶٪ (سرشاخه) گزارش شد. ترکیب ۲-متیل-۲-متیل بوتیل استر، به عنوان دومین ترکیب مهم شناسایی شده در اندام‌های سرشاخه و بذر خلال دندان مشاهده شد. بیشترین مقدار آن در اسانس بذر (۹/۴٪) تحت شرایط تنش توأم خشکی ملایم و شوری ملایم (D₂S₂) و بیشترین مقدار این ترکیب در اسانس سرشاخه (۱۸/۵٪) تحت شرایط تنش ملایم خشکی (D₂S₁) مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده از کروماتوگرافی، تنش‌های خشکی و شوری باعث افزایش درصد اسانس و ترکیب‌های شیمیایی اجزای اسانس در خلال دندان شد. با توجه به شرایط اقلیمی نواحی خشک و نیمه‌خشک کشور و به تبع آن شور شدن تدریجی خاک‌ها، این گیاه می‌تواند به‌عنوان گیاهی انتخابی در برنامه‌های اصلاحی گیاهان دارویی و اهداف مرتبط با صنایع غذایی و دارویی مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، چتریان، سرشاخه، بذر، سمبرن، مونوترین.

مقدمه

گیاهان دارویی از ثروت‌های بزرگ ملی و گنجینه‌های با ارزش ژنتیکی در هر کشور محسوب می‌شوند و گیاهان اسانس‌دار از جمله آنها هستند که اهمیت ویژه‌ای دارند. کشور ایران به دلیل شرایط آب و هوایی و تنوع اقلیمی گسترده، یکی از بهترین مناطق جهان برای کشت و تکثیر گیاهان دارویی محسوب می‌شود. اسانس‌ها ترکیباتی مایع، شفاف و فرار هستند که معمولاً توسط تمام اندام‌های هوایی گیاه از جمله جوانه، گل، میوه و دانه ترشح می‌شوند (Sangwan *et al.*, 2001). امروزه استفاده از اسانس گیاهان دارویی در پزشکی، صنایع غذایی، تولید مواد شوینده و تولید مواد آرایشی و بهداشتی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تولید اسانس در گیاهان دارویی نه تنها وابسته به گونه گیاهی و وضعیت متابولیکی بافت‌های منبع دارد، بلکه تحت کنترل عوامل ژنتیکی و محیطی می‌باشد (Taarit *et al.*, 2010). بررسی واکنش گیاهان دارویی به تنش‌های محیطی نقش به‌سزایی در استحصال عملکرد مطلوب کمی و کیفی در گیاهان دارویی دارد.

خلال دندان (*Ammi visnaga* L.) گیاهی علفی و یک‌ساله و متعلق به خانواده چتریان است (Khalil *et al.*, 2020). خلال دندان گل‌آذین چتر مرکب با تعداد زیادی شعاع‌های اصلی (در هر چتر ۲۵ تا ۴۵ شعاع)، ضخیم و بلند به طول ۵ تا ۷ سانتی‌متر می‌باشد که هر یک در انتها به حدود ۳۰ شعاع فرعی به طول ۰/۵ تا ۱/۵ سانتی‌متر منشعب می‌شود و این شعاع‌های کوتاه، هر یک به گلی سفید رنگ ختم می‌شوند (Chevallier, 2016). بذر خلال دندان ریز و دارای طعم و رایحه معطر و تند می‌باشد و کاربردهای متعددی در صنایع غذایی و دارویی دارد. مناطق

مدیترانه‌ای شمال آفریقا، آسیا و اروپا از مراکز جغرافیایی منشأ برای گیاه خلال دندان بیان شده است (Khalil *et al.*, 2020). این گیاه به‌صورت پراکنده در مناطق مختلفی از شمال و جنوب ایران پراکنش طبیعی دارد. ترکیب‌های اصلی تشکیل دهنده این گیاه فیتوسترول‌ها، گاما-پیرونها، کومارین‌ها و فورانوکرومون‌ها هستند که از جمله ترکیب‌های مهم در فورانوکرومون‌ها می‌توان خلین و ویسناگین را نام برد (Ahmed *et al.*, 2021). خلال دندان از زمان‌های قدیم در طب عامیانه توسط مردم خاورمیانه استفاده می‌شده است. از بذر و اندام‌های هوایی گیاه در درمان بیماری‌های مختلف کلیوی و تنفسی مانند آسم (Hashim *et al.*, 2014؛ Jaradat *et al.*, 2017)، درمان آرتروز صدری به دلیل فعالیت گشادکنندگی عروق محیطی و کرونری (Ahmed *et al.*, 2021)، درمان دیابت و بیماری‌های پوستی از جمله پیسی (Jaradat *et al.*, 2017) و کاهش بیماری‌های التهابی (Ahmed *et al.*, 2021) استفاده می‌شود. گیاه خلال دندان حاوی اسانس در اندام‌های مختلف و عمدتاً در گل‌ها و بذر است (Feirouz & Salima, 2014). ماهیت ترکیب‌های اصلی اسانس خلال دندان تا حد زیادی به قسمت گیاه و مرحله تکامل و شرایط رشدی گیاه بستگی دارد (Sellami *et al.*, 2013). ترکیب‌های اصلی اسانس بذرهای خلال دندان شامل ۲-متیل ۲-متیل بوتیل استر، ایزوبوتیل ایزوبوتیرات، لینالول، سمبرن و تیمول می‌باشد که اثرهای ضد ویروسی، ضد باکتریایی و ضد اسپاسمی برای آن گزارش شده است (Khalfallah *et al.*, 2011). مطالعاتی که به تفاوت در ترکیب شیمیایی اسانس خلال دندان و مقادیر مربوط به آنها پرداخته است گویای آن است که وجود این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در کموتایپ‌ها و منشأ

مختلف بیوشیمیایی در برخی از گیاهان دارویی از جمله مرزه (*Satureja hortensis* L.) انجام شده است (Fabriki & Mehrabad-Pourbenab, 2016). تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تأثیر توأم تنش‌های خشکی و شوری بر کمیّت و اجزای اسانس در گیاه خلال دندان انجام نشده است. یکی از اهداف مهم در گیاهان دارویی، تولید جمعیت‌های با میزان بالای ترکیبات حائز اهمیت در این گیاهان می‌باشد. بنابراین، یافته‌های این پژوهش می‌تواند با هدف افزایش عملکرد اسانس و بهره‌برداری اقتصادی از ترکیب‌های اصلی مؤثره اسانس با خواص دارویی (از جمله ترکیب‌های سمیرن و لیمونن) در گیاه خلال دندان از طریق توسعه کشت آن، به‌ویژه در مناطق تحت تأثیر تنش‌های ملایم خشکی یا شوری در کشور، حائز اهمیت باشد.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش

بذرهای گیاه خلال دندان (توده نجف‌آباد اصفهان)، به‌صورت آزمایش اسپلیت پلات (دو عامل) در قالب طرح بلوک کامل تصادفی، در مزرعه آموزشی-تحقیقاتی لورک دانشگاه صنعتی اصفهان (عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۶۰۰ متری از سطح دریا) در اسفند سال ۱۳۹۹ کاشته شد. سطوح مختلف تنش شوری به‌عنوان پلات‌های اصلی و سطوح مختلف تنش خشکی به‌عنوان پلات‌های فرعی در نظر گرفته شدند. بارش سالیانه ۱۴۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه آن برابر ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد بود. بافت خاک مزرعه از نوع لومی-رسی با میزان $\text{pH} = 7/5$ و هدایت الکتریکی $2/02$ دسی‌زیمنس بر متر بود. در هر تکرار ۲ ردیف کاشت به طول ۳ متر از بذرهای گیاه خلال دندان کاشته شد. تیمارهای تنش خشکی در سه سطح مختلف براساس میزان تخلیه ظرفیت زراعی خاک (شاهد: 50% (D1)، تنش ملایم: 60% (D2) و تنش شدید: 85% (D3) اعمال شد (Ehsanzadeh & Gholami, 2019). رطوبت قابل استفاده خاک و حجم آب مورد

جغرافیایی همراه با تغییرات محیطی مانند نوع خاک و تنش‌های محیطی باشد (Feirouz & Salima, 2014). اسانس بذرهای گیاه خلال دندان دارای خواص شل‌کنندگی عضلات و عروق، کاهش‌دهنده درد ناشی از سنگ کلیه و اثرهای ضدالتهابی و ضد میکروبی می‌باشد (Feirouz & Salima, 2014; Khalil et al., 2020).

تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری از طریق ایجاد تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر جنبه‌های مختلف رشد و نمو، عملکرد اسانس و ترکیب‌های شیمیایی اسانس در گیاهان دارویی تأثیر می‌گذارند (Sarmoum et al., 2019). گیاهان دارویی ممکن است در شرایط تنش‌های محیطی میزان اسانس بیشتری تولید کنند، در نتیجه بازدهی اقتصادی بهتری داشته باشند (Selmar et al., 2017). طبق مطالعات انجام شده، تنش خشکی منجر به افزایش معنی‌دار عملکرد اسانس و ترکیب‌های شیمیایی اسانس (سدرن، دلتا-کادینن و آلفا-کادینول) در گیاه دارویی نوروک (*Salvia leriifolia* Benth.) (Dashti et al., 2015) شده است. سایر مطالعات نیز کاهش میزان عملکرد اسانس را در رازیانه (*Foeniculum vulgare*) (Mohamed & Abdu, 2004) و زنیان (*Trachyspermum ammi*) (Abdoli et al., 2020) تحت تنش خشکی گزارش کرده‌اند. در بررسی تنش شوری در ژنوتیپ‌های مختلف بومادران هزار برگ (*Achillea millefolium*)، افزایش تنش شوری منجر به افزایش اسانس و کاهش صفات فیزیولوژیکی و عملکرد گیاه براساس وزن خشک، نسبت به شرایط شاهد شد (Dehghan & Rahimmalek, 2018).

در طی سال‌های اخیر با توجه به روند فزاینده‌ای که در افزایش زمین‌های تحت تأثیر تنش‌های توأم خشکی و شوری مشاهده شده است، ارزیابی تغییرات بازده اسانس و ترکیب‌های شیمیایی آن در گیاهان دارویی بیش از قبل احساس می‌شود. بنابراین مطالعه روش‌هایی که بتوان از گیاه با ارزش خلال دندان ماده مؤثره بیشتری تولید کرد، ارزشمند است. مطالعات اندکی در زمینه بررسی توأم اثرهای تنش‌های شوری و خشکی بر روی عملکرد دانه و صفات

اسانس در ظرف جداگانه‌ای جمع‌آوری و توسط سولفات سدیم بدون آب آبگیری شد. برای جلوگیری از تجزیه اسانس به‌وسیله نور و حرارت، ویال حاوی اسانس را در فویل پیچیده و در یخچال نگهداری گردید. بازده اسانس نمونه‌ها بر اساس وزن خشک ماده گیاهی (بذر و سرشاخه) محاسبه گردید. عملکرد اسانس (بذر) از حاصلضرب عملکرد دانه (گرم/متر مربع) در بازده اسانس (درصد) بدست آمد.

ارزیابی کیفیت اسانس

شناسایی ترکیب‌های شیمیایی اسانس بدست آمده از بذر و سرشاخه‌های گیاه خلال دندان در تیمارهای مختلف شوری و خشکی توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC/MS) انجام شد. دستگاه گاز کروماتوگرافی مورد استفاده، مدل A ۷۸۹۰ ساخت شرکت Agilent آمریکا و ستون مویینه غیرقطبی مورد استفاده HP-5 به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، ضخامت فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر و دتکتور از نوع FID بود. برنامه‌ریزی حرارتی ستون GC و GC/MS به این ترتیب بود: دمای اولیه ۵۰ درجه سانتی‌گراد با زمان نگهداری ۳ دقیقه، سپس افزایش دما به میزان ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و نگهداری در همین دما برای ۲ دقیقه، سپس افزایش دمای ۶ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۲۷۰ درجه سانتی‌گراد و نگهداری در این دما برای ۵ دقیقه و سپس دما با سرعت ۱۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا دمای ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت. در نهایت دما به مدت ۵ دقیقه در ۲۸۹ درجه سانتی‌گراد نگه داشته شد. از گاز هلیم به‌عنوان گاز حامل با سرعت جریان ۰/۹ میلی‌لیتر بر دقیقه و طیف‌سنج جرمی با انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت استفاده شد. دستگاه طیف‌سنج جرمی متصل به گاز کروماتوگرافی مدل A 5975 ساخت شرکت Agilent آمریکا و ستون مویینه HP5 با زمان اسکن ۰/۵ ثانیه و

نیاز برای هر پلات در هر سطح آبیاری در ناحیه بین ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی محاسبه گردید (Ehsanzadeh & Gholami Zali, 2019). براساس این نیاز آبی، حجم آب آبیاری محاسبه شده و برای هر پلات از طریق لوله خرطومی سه اینچی متصل به کنتور به هر پلات وارد شد. تنش شوری در سه سطح [شاهد (S1)، ۸۰ میلی‌مولار (S2) و ۱۰۰ میلی‌مولار (S3)] از نمک کلرید سدیم با در نظر گرفتن جرم مولی نمک NaCl (۵۸/۴۴ گرم در لیتر) اعمال شد. اعمال تنش‌های شوری و خشکی به‌صورت همزمان از مرحله ۱۰٪ گلدهی بوته‌ها شروع و تا آخرین مرحله رسیدگی ادامه یافت (Yavari, 2020). اسامی تیمارهای ترکیبی تنش شوری و خشکی بدین صورت نامگذاری شدند: D1S1 (عدم وقوع تنش خشکی و شوری)، D1S2 (عدم وقوع تنش خشکی و شوری متوسط)، D1S3 (عدم وقوع تنش خشکی و شوری شدید)، D2S1 (تنش متوسط خشکی و عدم شوری)، D2S2 (تنش متوسط خشکی و شوری)، D2S3 (تنش متوسط خشکی و شوری شدید)، D3S1 (تنش شدید خشکی و عدم شوری)، D3S2 (تنش شدید خشکی و شوری)، D3S3 (تنش شدید خشکی و شوری). برای اندازه‌گیری عملکرد بذر، ۱۰ بوته از هر تکرار به‌صورت تصادفی انتخاب شد.

تجزیه آماری

سطوح مختلف تنش شوری به‌عنوان پلات‌های اصلی و سطوح مختلف تنش خشکی به‌عنوان پلات‌های فرعی در نظر گرفته شدند. مقایسه میانگین صفات با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD%5) به کمک نرم‌افزار SAS انجام شد.

استخراج اسانس

اسانس‌گیری در مرحله رسیدگی کامل با استفاده از ۵۰ گرم دانه و سرشاخه (جداگانه) آسیاب شده به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر انجام شد. مدت استخراج اسانس برای همه نمونه‌ها حدود ۴ ساعت طول کشید.

سرشاخه (۱/۰۳٪) و بذر (۰/۲۰٪) مربوط به شرایط تنش متوسط شوری (S2) بود. یادآوری می‌شود که درصد اسانس بذر و سرشاخه در شرایط تنش شدید شوری (S3) با اختلاف معنی‌دار بیشتر از تیمار شاهد بود (جدول ۱). نتایج جدول مقایسات میانگین اثر شوری نشان داد که وقوع تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار عملکرد اسانس بذر شد (جدول ۱). بیشترین عملکرد اسانس (۱۲/۱۶٪) در شرایط عدم وقوع تنش (S1) و کمترین عملکرد اسانس (۶/۰۱٪) در شرایط تنش شدید شوری (S3) حاصل شد.

اثر سطوح اصلی خشکی بر بازده اسانس و عملکرد اسانس گیاه خلال دندان

طبق نتایج جدول مقایسه میانگین اثر خشکی بر صفات مرتبط با اسانس گیاه خلال دندان، مشاهده شد که وقوع تنش خشکی سبب افزایش معنی‌دار درصد اسانس سرشاخه و بذر خلال دندان شد (جدول ۱). کمترین بازده اسانس سرشاخه و بذر گیاه خلال دندان به ترتیب با ۰/۷۵٪ و ۰/۱۳٪ مربوط به شرایط شاهد (D1) و بیشترین بازده اسانس سرشاخه (۰/۸۵٪) و بذر (۰/۲۱٪) به ترتیب مربوط به شرایط تنش متوسط خشکی (D2) و تنش شدید خشکی (D3) بود (جدول ۱). در شرایط تنش خشکی (D2 و D3) میزان بازده اسانس سرشاخه (۰/۸۵٪) به حدود ۴ برابر بازده اسانس بذر (۰/۲۰٪) رسید و به صورت قابل توجهی از درصدهای اسانس در شرایط بدون تنش خشکی برای سرشاخه (۰/۷۵٪) و بذر (۰/۱۳٪) بیشتر بودند (جدول ۱). طبق نتایج جدول مقایسه میانگین اثر خشکی بر عملکرد اسانس مشاهده شد که وقوع تنش خشکی سبب کاهش معنی‌دار عملکرد اسانس شد (جدول ۱). کمترین عملکرد اسانس با ۶/۶۵ گرم بر مترمربع مربوط به شرایط تنش شدید خشکی (D3) و بیشترین عملکرد اسانس با ۱۱/۹۸ گرم بر مترمربع مربوط به شرایط شاهد (D1) بود (جدول ۱).

ناحیه جرمی از ۳۵ تا ۳۰۰، انرژی یونیزاسیون برابر ۷۰ الکترون ولت بود. از گاز حامل هلیوم با خلوص ۹۹/۹٪ با میزان جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد. یک میکرولیتر از اسانس به دستگاه تزریق شد. شناسایی ترکیب‌های موجود در اسانس به کمک شاخص‌های بازداری آنها در گاز کروماتوگرافی و مقایسه آنها با کتابخانه‌های مرجع از طریق مقایسه طیف‌های جرمی انجام گردید (Adams, 2007).

نتایج

اثر سطوح اصلی شوری و خشکی بر عملکرد بذر گیاه خلال دندان

مقایسه میانگین سطوح اصلی تنش شوری نشان داد که تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار عملکرد بذر شد، به طوری که عملکرد بذر از مقدار ۷۲/۸۰ گرم در مترمربع در شرایط شاهد به میزان ۳۵/۵۵ گرم در مترمربع در شرایط تنش شدید (کاهش ۵۱ درصدی) اُفت پیدا کرد و اختلاف بین عملکرد بذر در هر سه سطح (عدم تنش، تنش متوسط و تنش شدید) تنش شوری معنی‌دار بود (جدول ۱). همچنین تنش خشکی منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد بذر شد، به طوری که عملکرد بذر از مقدار ۸۷/۸۲ گرم در مترمربع در شرایط شاهد به میزان ۳۱/۸۲ گرم در مترمربع در شرایط تنش شدید خشکی اُفت کرد و عملکرد دانه کاهش ۶۳ درصدی در تیمار تنش شدید خشکی (D3) نسبت به تیمار شاهد نشان داد (جدول ۱).

اثر سطوح اصلی شوری بر بازده اسانس و عملکرد اسانس گیاه خلال دندان

نتایج جدول مقایسات میانگین اثر شوری بر صفات مرتبط با اسانس گیاه خلال دندان نشان داد که وقوع تنش شوری سبب افزایش معنی‌دار بازده اسانس در اندام‌های سرشاخه و بذر شد (جدول ۱). کمترین بازده اسانس سرشاخه (۰/۶۸٪) و بذر (۰/۱۸٪) مربوط به شرایط عدم وقوع تنش شوری (S1) و بیشترین بازده اسانس برای

جدول ۱- مقایسه میانگین تاثیر تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد بذر و درصد و عملکرد اسانس بذر گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*)

Table 1. Means comparison of salinity and drought stresses effects on seed yield and percentage and *Ammi visnaga* seed essential oil yield

Salinity levels	Essential oil (%)		Seed yield (g.m ⁻²)	Seed essential oil yield (g.m ⁻²)
	Seeds	Head branches		
Control	0.17 ^c ±0.008	0.68 ^c ± 0.1	72.80 ^a ± 13.8	12.16 ^a ±1.68
80 mM NaCl	0.19 ^a ± 0.018	1.03 ^a ± 0.09	48.19 ^b ±7.34	8.52 ^b ±0.47
100 mM NaCl	0.18 ^b ±0.016	0.73 ^b ±0.05	35.55 ^c ±5.75	6.01 ^c ± 0.37

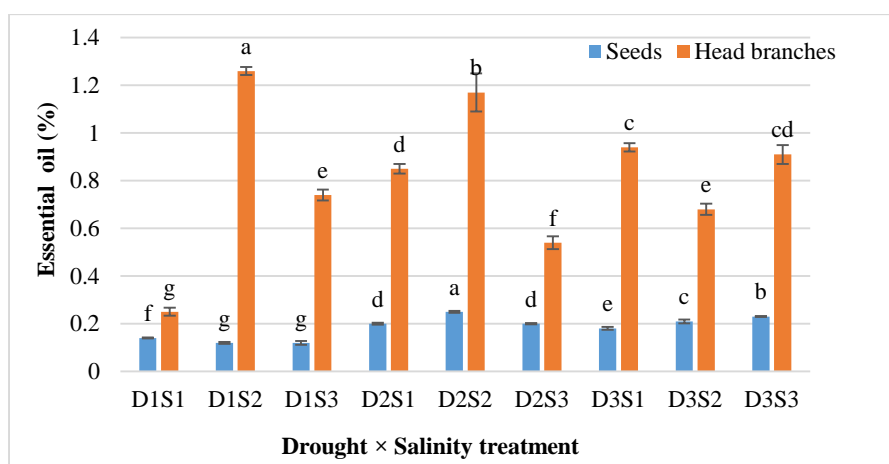
Drought levels	Essential oil (%)		Seed yield (g.m ⁻²)	Essential oil yield (g.m ⁻²)
	Seeds	Head branches		
50% of FC	0.13 ^b ±0.003	0.75 ^b ± 0.14	87.82 ^a ± 10.41	11.98 ^a ±1.73
60% of FC	0.21 ^a ± 0.008	0.85 ^a ± 0.09	36.91 ^b ±3.15	8.05 ^b ±0.68
80% of FC	0.21 ^a ± 0.007	0.84 ^a ± 0.04	31.82 ^c ±2.99	6.65 ^c ±0.23

In each column, means (±SE) with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

خشکی و شوری متوسط) و DIS3 (عدم وقوع تنش خشکی و شوری شدید) مشاهده شد (شکل ۱). مطابق با این نتایج، تنش‌های ترکیبی ملایم خشکی و شوری باعث افزایش بازده اسانس در خلال دندان گردید.

اثر متقابل خشکی و شوری بر عملکرد بذر و اسانس بذر در اندام‌های مختلف خلال دندان مقایسه میانگین اثرهای متقابل تنش‌های خشکی و شوری نشان داد که عملکرد بذر از شرایط شاهد (DIS1) (۱۲۸ گرم در متر مربع) به ۲۲ گرم در متر مربع در تیمار شدید تنش خشکی و شدید تنش شوری (D3S3) رسید که حکایت از تأثیر کاهشی در عملکرد دانه در شرایط تنش‌های ترکیبی شوری و خشکی داشت (شکل ۲).

اثر متقابل خشکی و شوری بر بازده اسانس و عملکرد اسانس در اندام‌های مختلف خلال دندان تفاوت قابل توجه در درصد اسانس در دو اندام سرشاخه و بذر خلال دندان و روند تغییرات متفاوت آنها در سطوح مختلف تیماری مشاهده شد (شکل ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و شوری بر بازده اسانس نشان داد که اعمال تیمارهای توأم شوری و خشکی باعث افزایش معنی‌دار بازده اسانس سرشاخه و بذر شد (شکل ۱). طبق نتایج، بیشترین بازده اسانس سرشاخه (۱/۲۶٪) در شرایط عدم وقوع تنش خشکی و تنش متوسط شوری (DIS2) و کمترین میزان آن (۰/۲۵٪) در شرایط شاهد (DIS1) حاصل شد (شکل ۱). همچنین بیشترین بازده اسانس بذر (۰/۲۵٪) در شرایط D2S2 (تنش متوسط خشکی و شوری) و کمترین مقدار آن (۰/۱۲٪) در شرایط DIS2 (عدم وقوع تنش

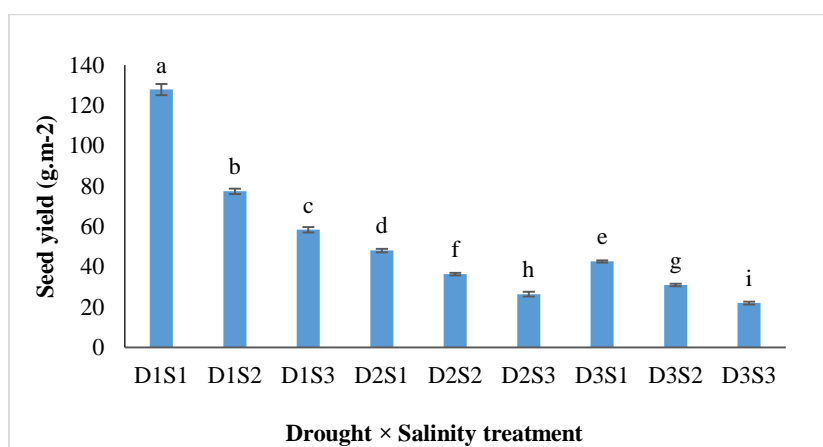


شکل ۱- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی بر درصد اسانس گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*)

Figure 1. Means comparison of drought × salinity stresses interactions on *Ammi visnaga* essential oil percentage

D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد بذر گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*)

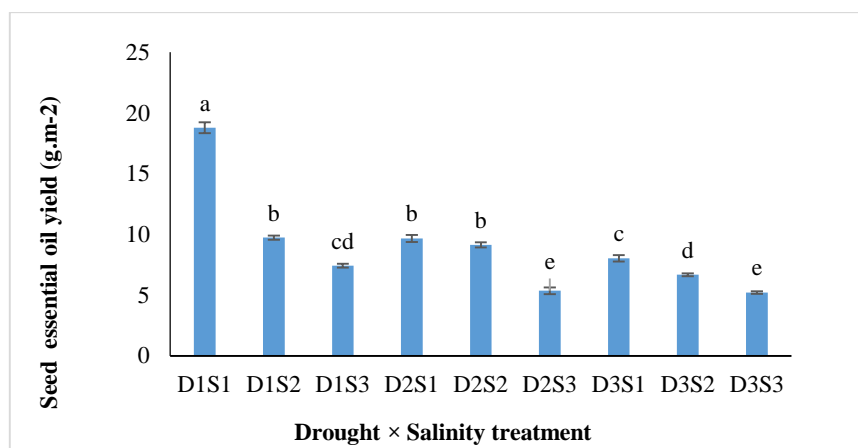
Figure 2. Means comparison of drought × salinity stresses interactions on *Ammi visnaga* seed yield

D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively

Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

تأثیر اثرهای متقابل تنش‌های شوری و خشکی بر ترکیب‌های اسانس در اندام‌های مختلف ترکیب‌های شیمیایی اسانس بذر و سرشاخه گیاه خلال دندان تحت شرایط محیطی اثرهای متقابل تنش‌های خشکی و شوری، با دستگاه‌های GC و GC/MS شناسایی شد (جدول‌های ۲ و ۳). از کل ۲۵ ترکیب شناسایی شده در این مطالعه، ۲۰ ترکیب در اسانس بذر (جدول ۲) و ۱۹ ترکیب در اسانس سرشاخه (جدول ۳) شناسایی شد که در برخی موارد با هم تفاوت داشتند.

نتایج بررسی تأثیر تنش‌های ترکیبی شوری و خشکی بر عملکرد اسانس بذر تقریباً روندی مخالف با روند تغییرات بازده اسانس بذر داشت (شکل ۳). بیشترین عملکرد اسانس (۱۸/۷۸ گرم بر مترمربع) در شرایط شاهد (D1S1) و کمترین عملکردهای اسانس (۵/۲۲ و ۵/۳۷ گرم بر مترمربع) به ترتیب در شرایط وقوع تنش شدید خشکی و شوری (D3S3) و وقوع تنش متوسط خشکی و شوری (D2S2) مشاهده شد.



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی بر عملکرد اسانس بذر گیاه دندان (*Ammi visnaga*)

Figure 3. Means comparison of drought x salinity stresses interactions on *Ammi visnaga* seed essential oil yield
D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

آن در اسانس بذر (۹/۴٪) تحت شرایط تنش توأم خشکی ملایم و شوری ملایم (D2S2) (جدول ۲) و بیشترین مقدار این ترکیب در اسانس سرشاخه (۱۸/۵٪) تحت شرایط تنش ملایم خشکی (D2S1) حاصل شد (جدول ۳). بنابراین، طبق این نتایج می‌توان بیان کرد که اعمال تنش‌های توأم شوری و خشکی مقدار ۲-متیل-۲-متیل بوتیل استر موجود در اسانس بذر و سرشاخه را تا حدود ۵۰٪ نسبت به شرایط شاهد افزایش داد. همچنین در هر دو شرایط تنش و شاهد، درصد این ترکیب در اسانس سرشاخه دو برابر اسانس بذر در خلال دندان بود.

لیمونن به‌عنوان دومین ماده اصلی شناسایی شده در اسانس استخراج شده از بذر خلال دندان بود (جدول ۲). مقدار لیمونن موجود در اسانس بذر در شرایط شاهد ۲۳/۱٪ بود که اعمال سطوح مختلف تنش باعث افزایش در مقدار آن شد (جدول ۲). بیشترین مقدار آن (۲۷٪) در تنش ملایم خشکی و عدم تنش شوری (D2S1) و تنش توأم شدید خشکی و ملایم شوری (D3S2) (۲۶/۸٪) (حدود ۱۷٪ افزایش نسبت به شاهد) مشاهده شد (جدول ۲). بتا-پینن از دیگر ترکیب‌های مونوترپنی می‌باشد که به‌عنوان یکی از ترکیب‌های اصلی در اسانس سرشاخه خلال دندان مورد

در مقایسه بین ترکیب‌های شناسایی شده در اسانس اندام‌های مورد مطالعه، سمبرن به‌عنوان اصلی‌ترین ترکیب شناسایی شده (از گروه منوترپن‌های هیدروکربن) در هر دو اندام بذر و سرشاخه در اسانس خلال دندان شناسایی شد (جدول‌های ۲ و ۳). مقدار این ترکیب تحت شرایط شاهد در اسانس بذر و سرشاخه به‌ترتیب ۲۳/۳٪ و ۲۶/۲٪ بود. تنش‌های اعمال شده باعث افزایش مقدار این ترکیب در هر دو اندام شد و بیشترین مقدار سمبرن مربوط به اعمال توأم تنش شدید خشکی و شدید شوری (D3S3) بود که در اندام بذر میزان آن ۳۳/۳٪ و در سرشاخه ۳۶/۶٪ بود. طبق نتایج این مطالعه می‌توان بیان کرد که ترکیب سمبرن در هر دو شرایط شاهد و تنش در سرشاخه اندکی بیشتر از بذر بود و تنش مقدار این ترکیب را در هر دو بخش گیاه (بذر و سرشاخه) به‌صورت قابل‌توجهی (حدود ۳۵٪) افزایش داد. ترکیب ۲-متیل-۲-متیل بوتیل استر (methyl, 2--2) به‌عنوان دومین ترکیب مهم شناسایی شده در اندام‌های سرشاخه و بذر خلال دندان بود. مقدار این ترکیب تحت شرایط شاهد در اسانس بذر و سرشاخه خلال دندان به‌ترتیب ۶/۲٪ و ۱۲/۱٪ بود که اعمال تنش‌های توأم مقدار آن را افزایش داد. بیشترین مقدار

مقدار این ترکیب در اندام بذر در تیمار D2S1 (۸/۱۲٪) و در اندام سرشاخه در تیمار D1S3 (۸٪) مشاهده شد. نتایج این مطالعه نشان داد ترکیب‌های تیمول، دلنا-کادینن، ۲-متیل‌دسیل‌استر، نئوفتالین، بتا-کاروفیلین و لیمونن تنها در اسانس بذر خلال دندان وجود داشتند (جدول ۲). از سویی ترکیب‌های لینالول، ۲-متیل، ۳-متیل بوتیل‌استر، اکتادسن، اکتادکان و بتا-پینن فقط در اسانس سرشاخه خلال دندان مورد مطالعه مشاهده شد (جدول ۳).

مطالعه، شناسایی شد (جدول ۳). مقدار این ترکیب تحت شرایط شاهد ۱۰/۶٪ بود که تنش ملایم شوری (D1S2) آن را تا ۱۴/۹٪ و تنش توأم شدید خشکی و شدید شوری (D3S3) آن را تا ۱۳/۹٪ (حدود ۴۰٪ افزایش نسبت به شاهد) افزایش داده است. ترکیب آلفا-سیس-ژرانیول استات (α -cis-geraniol acetate) از دیگر ترکیب‌های مشترک شناسایی شده در اسانس بذر و سرشاخه بود که مقدار آن در اسانس نمونه شاهد بذر و سرشاخه به ترتیب ۶/۳٪ و ۶/۲٪ مشاهده شد (جدول‌های ۲ و ۳). بیشترین

جدول ۲- اجزای اسانس بذر گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*) تحت اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی

Table 2. *Ammi visnaga* seed essential oil compounds affected by drought \times salinity stresses interactions

Compound (%)	RI	Drought \times Salinity treatments								
		D1S1	D1S2	D1S3	D2S1	D2S2	D2S3	D3S1	D3S2	D3S3
n-allyl isovalerate	930	3.8	6.8	6.9	3.4	5.5	4.0	5.5	1.4	1.4
Sabinene	965	0.4	0.8	0.9	0.6	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3
β -myrcene	986	1.9	1.5	2.1	1.6	1.6	2.4	2.8	2.2	1.7
limonene	1022	23.1	24.1	24.1	27.0	25.6	21.2	25.9	26.8	25.9
β -ocimene	1045	1.6	2.2	2.0	2.9	2.3	2.6	0.9	1.9	0.9
2-methyl, 2-methyl butyl ester	1105	6.2	6.4	8.9	8.9	9.3	7.3	6.5	8.8	8.1
thymol	1286	1.9	0.3	0.7	1.0	0.8	0.6	0.4	0.5	0.7
β -cubebene	1343	3.8	8.9	5.5	4.5	5.0	4.9	5.8	2.8	1.9
α -copaene	1371	0.2	1.2	0.6	1.1	1.5	0.7	1.2	1.6	1.2
β -damascenone	1380	0.5	0.5	1.0	0.6	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3
2-methyl decyl ester	1385	2.5	4.1	2.2	3.0	2.6	2.9	3.9	3.5	2.6
β -bourbonene	1388	3.0	3.5	1.7	0.6	1.9	1.0	1.5	2.3	1.0
β -caryophyllene	1405	1.9	1.1	2.2	1.1	1.9	2.9	1.5	1.01	1.9
α -cis-geraniol acetate	1470	6.3	6.7	7.1	8.1	7.4	7.4	6.3	7.0	6.2
δ -cadinene	1521	0.6	0.6	0.8	0.4	0.7	0.7	0.6	0.8	0.7
nerolidol	1560	0.2	0.6	0.2	1.8	1.0	0.3	0.4	0.2	0.3
cis-farnesol	1740	0.2	0.6	0.7	1.5	1.3	1.5	1.2	1.2	0.3
neophytadiene	1828	3.2	4.4	3.3	3.9	2.6	2.5	2.4	3.4	3.9
cembrene	1934	23.3	23.8	25.4	25.7	27.8	29.7	29.2	30.9	33.3
phytol	1943	0.2	0.2	0.4	0.3	0.3	0.36	0.4	0.3	0.3
Total identified	85.4	88.4	99.2	99.9	97.4	99.9	98.5	99.4	99.8	99.3
Unidentified	14.6	11.5	0.8	0.05	2.55	0.04	1.4	0.5	0.14	0.7

RI: retention index; D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively

جدول ۳- اجزای اسانس سرشاخه گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*) تحت اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی

Table 3. *Ammi visnaga* head branches essential oil compounds affected by drought × salinity stresses interactions

Compound (%)	RI	Drought × Salinity treatments								
		D1S1	D1S2	D1S3	D2S1	D2S2	D2S3	D3S1	D3S2	D3S3
2-methyl, 3-methyl butyl ester	761	1.5	3.4	3.7	3.7	3.0	3.3	3.4	3.1	2.4
n-ally isovalerate	930	8.8	8.1	9.1	9.8	7.6	9.4	9.33	9.78	7.2
β-pinene	931	10.6	14.9	12.6	12.7	13.5	12.4	11.1	7.9	13.9
sabinene	965	1.5	0.4	1.46	1.4	0.25	1.2	1.2	0.8	0.6
β-myrcene	986	1.2	1.2	1.4	1.6	1.73	2.75	0.88	1.31	1.6
β-ocimene	1045	3.6	1.6	2.7	2.9	2.6	3.3	2.3	2.9	1.4
linalool	1094	2.2	2.3	3.1	3.5	2.5	2.8	2.8	3.7	2.3
2-methyl, 2-methyl butyl ester	1105	12.1	13.7	14.8	18.5	12.3	14.5	14.1	14.5	13.8
β-cubebene	1343	2.1	2.4	5.4	2.4	2.5	2.4	3.4	2.9	2.2
α-copaene	1371	0.3	0.9	0.5	0.4	0.6	0.1	0.1	0.6	0.6
β-damascenone	1380	0.3	0.5	1.1	0.6	0.5	0.3	0.5	0.7	0.5
β-bourbonene	1388	2.1	3.5	0.5	0.6	1.9	0.4	1.2	1.0	0.7
α-cis-cyclogeraniol	1471	6.2	7.1	8	6.5	7.3	6.9	7.5	7.5	6.1
nerolidol	1560	0.4	0.5	0.4	1.0	0.9	0.3	0.2	0.7	0.5
cis-farnesol	1740	2.6	8.3	1.3	1.5	1.4	1.4	0.9	1.1	0.7
octadecene	1785	5.2	3.5	3.4	3.5	3.6	3.6	4.3	4.1	3
octadecane	1801	0.6	1.7	1.6	2	2.5	2.15	3.3	3.2	1.3
cembrene	1934	26.1	24.9	27.7	25.7	33.6	30.6	32.9	32.5	36.6
phytol	1943	0.38	0.4	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4
Total identified		88.4	99.9	99.9	99.4	99.3	99.1	100.4	99.5	96.6
Unidentified		11.5	0.05	0.04	0.53	0.7	0.9	0.4	0.4	3.4

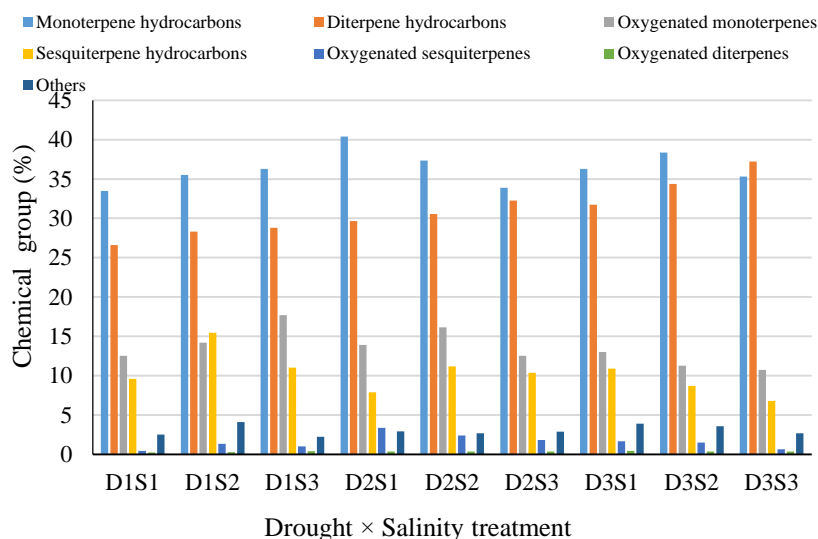
RI: retention index; D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively

بود (شکل‌های ۴ و ۵). مقدار ترکیب‌های دی‌ترین اکسیژنه به‌عنوان کمترین گروه شناسایی شده در هر دو اندام سرشاخه و بذر شناسایی شد. دامنه تغییرات مقدار ترکیب‌های مونوترین هیدروکربنه در اسانس بذر از ۳۳/۴۸٪ در تیمار شاهد (D1S1) تا ۵۳/۳٪ در تیمار D3S3 (شکل ۴) و در اسانس سرشاخه از ۲۸/۴۹٪ در تیمار شاهد تا ۳۰/۳۶٪ در تیمار تنش شدید شوری و ملایم خشکی (D2S3) تعیین شد (شکل ۵). می‌توان نتیجه گرفت که ترکیب تنش شدید شوری و خشکی ملایم (D2S3) باعث افزایش قابل توجه مونوترین‌های هیدروکربنه در اسانس سرشاخه شد. مقدار ترکیب‌های دی‌ترین هیدروکربنی در شرایط شاهد در اسانس بذر (۲۶/۶٪) و سرشاخه خلال دندان (۲۶/۲٪) یکسان بود و

مقایسه درصد گروه‌های شیمیایی تشکیل دهنده اسانس در اندام‌های مختلف در این تحقیق ۲۵ ترکیب متعلق به ۶ گروه اصلی شیمیایی شامل مونوترین هیدروکربنه، دی‌ترین هیدروکربنه، مونوترین اکسیژنه، سزکوئی‌ترین هیدروکربنه، سزکوئی‌ترین اکسیژنه و دی‌ترین اکسیژنه در تیمارهای اثر متقابل شوری × خشکی در خلال دندان شناسایی شد. در بین گروه‌های شیمیایی ترکیب‌های اسانس، بیشترین ترکیب‌ها به ترتیب به مونوترین‌های هیدروکربنه و دی‌ترین‌های هیدروکربنه در نمونه‌های سرشاخه و بذر خلال دندان و در تمامی تیمارهای اثر متقابل شوری × خشکی مشاهده شد. مقدار سزکوئی‌ترین‌ها (هیدروکربنی و اکسیژنی) در هر دو اندام کمتر از این ترکیب‌ها

(D1S1) تا ۳۷/۲٪ در تیمار تنش شدید خشکی و شدید شوری (D3S3) (شکل ۴) و در اسانس سرشاخه از ۲۴/۹۵٪ در تیمار عدم تنش خشکی و شوری متوسط (D1S2) تا ۳۶/۶۲٪ در تیمار تنش شدید خشکی و شدید شوری (D3S3) (شکل ۵) مشاهده گردید.

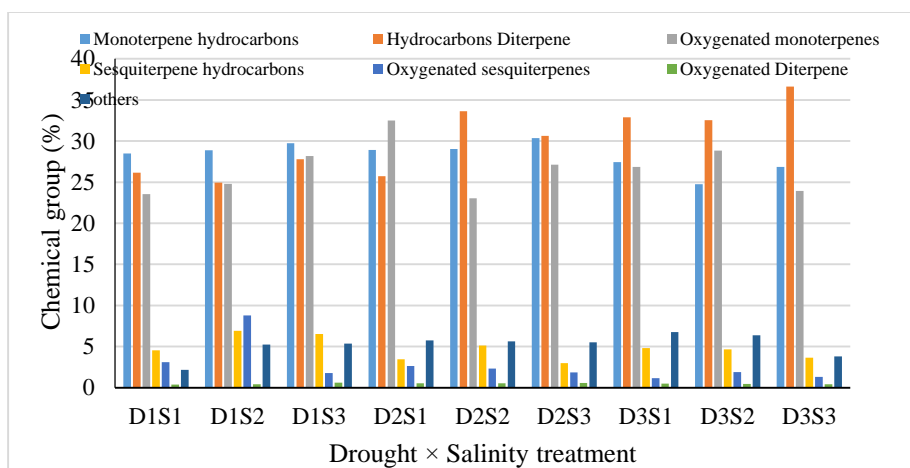
تنش توأم خشکی شدید و شوری شدید (D3S3) نیز باعث افزایش تقریباً یکسان آنها به میزان ۳۷/۲٪ در اسانس بذر (شکل ۴) و ۳۶/۶٪ در اسانس سرشاخه (شکل ۵) شد. محدوده مقدار دی‌ترین هیدروکربن موجود در اسانس بذر خلال دندان از ۲۶/۶٪ در تیمار عدم تنش شوری و خشکی



شکل ۴- مقایسه درصد گروه‌های شیمیایی، تشکیلات دهنده اسانس بذر گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*) تحت اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی

Figure 4. Comparison of chemical groups percentage in *Ammi visnaga* seed essential oil affected by drought × salinity stresses interactions

D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively



شکل ۵- مقایسه درصد گروه‌های شیمیایی، تشکیلات دهنده اسانس سرشاخه گیاه خلال دندان (*Ammi visnaga*) تحت اثر متقابل تنش‌های شوری و خشکی

Figure 5. Comparison of chemical groups' percentage in *Ammi visnaga* head branches essential oil affected by drought × salinity stresses interactions

D1, 2, and 3: drought stress based on soil depletion rate including 50 (no stress), 60 (moderate stress), and 85% (severe stress), respectively; S1, 2, and 3: 0, 80, and 100 mM NaCl, respectively

بحث

اندام‌های مختلف گیاهان دارای ظرفیت متفاوتی برای تولید اسانس هستند و برای دستیابی به بیشترین عملکرد اسانس، آگاهی داشتن از اندام با درصد اسانس بالا ضروریست (Hedayati et al., 2016; Sefidkon et al., 2006). با توجه به نتایج این مطالعه، تنش‌های خشکی و شوری منجر به افزایش معنی‌دار در بازده اسانس و میزان برخی از ترکیب‌های شیمیایی در اسانس گیاه خلال دندان شد. از این رو، انتخاب سطح مناسبی از تنش‌های ذکر شده به صورت مستقل یا ترکیبی می‌تواند مورد توجه به‌نژادگران گیاهان دارویی به‌عنوان یک هدف اصلاحی در افزایش بازده اسانس اندام مد نظر باشد و از سوی دیگر برای استفاده در صنایع دارویی، غذایی و آرایشی بهداشتی مورد توجه قرار بگیرد. مطابق با نتایج این مطالعه، تنش شوری در سطوح متوسط و شدید تغییرات افزایشی معنی‌داری در بازده اسانس بذر و سرشاخه خلال دندان ایجاد کرد. اعمال تنش خشکی منجر به افزایش معنی‌دار بازده اسانس در خلال دندان شد. درصد اسانس سرشاخه در شرایط تنش‌های ترکیبی شوری و خشکی حدود پنج برابر شرایط عدم وقوع تنش افزایش نشان داد ولی درصد اسانس بذر در شرایط تنش‌های ترکیبی شوری و خشکی به حدود دو برابر نسبت به شرایط عدم وقوع تنش افزایش نشان داد. نتایج مشابهی از افزایش درصد اسانس در شرایط تنش‌های محیطی در سایر گیاهان دارویی از جمله رازیانه (Mohamed & Abdu 2004)، زنیان (Abdoli et al., 2020)، نعنا (*Mentha spp.*) (Misra & Srivastava, 2000) و آویشن دناپی (*Thymus daenensis*) (Bahreininejad et al., 2013) گزارش شده است. همچنین گزارش‌هایی وجود دارد که اعمال تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر درصد اسانس گیاه دارویی زنیان نداشته است (Razavizadeh et al., 2014)، یا بعکس باعث کاهش معنی‌دار بازده اسانس در برخی گیاهان دارویی از جمله بابونه آلمانی (*Matricaria chamomile*) شده است (Razmjoo et al., 2008). در گیاهان دارویی، افزایش تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس نتیجه بارزی از تأثیر

مقدار ترکیب‌های مونوترپن اکسیژنه در شرایط شاهد در اسانس سرشاخه (۲۳/۵٪) (شکل ۵) حدود دو برابر اسانس بذر (۱۲/۵٪) (شکل ۴) بود. این مقادیر و نسبت در شرایط توأم تنش خشکی شدید و شوری شدید (D3S3) نیز با تفاوت جزئی صدق می‌کند که برای اسانس سرشاخه ۲۳/۹٪ و برای اسانس بذر (۰/۷٪) بود. محدوده مقادیر مونوترپن اکسیژنی موجود در اسانس در اسانس بذر خلال دندان از ۱۰/۷۴٪ در تنش شدید خشکی و شوری (D3S3) تا ۱۷/۶۸٪ در تیمار تنش شدید شوری (D1S3) و در اسانس سرشاخه از ۲۳/۰۵٪ در تیمار تنش ملایم خشکی و شدید شوری (D2S3) تا ۲۸/۸۵٪ در تیمار تنش ملایم شوری و تنش شدید خشکی (D3S2) (شکل ۵) بود.

ترکیب‌های سزکوئی‌ترین هیدروکربنه در شرایط شاهد در اسانس بذر (۹/۶٪) (شکل ۴) و حدود دو برابر در اسانس سرشاخه (۴/۶٪) (شکل ۵) بود. محدوده تغییرات سزکوئی‌ترین هیدروکربنی موجود در اسانس بذر خلال دندان از ۶/۸٪ در D3S3 تا ۱۵/۴۷٪ در D1S2 (شکل ۴) و در اسانس سرشاخه از ۳٪ در تیمار D2S3 تا ۶/۹٪ در تیمار D1S2 (شکل ۵) تعیین شد. مقدار ترکیب‌های سزکوئی‌ترین اکسیژنه در شرایط شاهد در اسانس سرشاخه (۳/۱٪) (شکل ۵) و حدود ۶ برابر در اسانس بذر (۰/۴۶٪) (شکل ۴) خلال دندان بود. محدوده مقادیر سزکوئی‌ترین اکسیژنی موجود در اسانس بذر خلال دندان از ۰/۴۶٪ در D1S1 تا ۳/۳۶٪ در D2S1 (شکل ۴) بود. مقدار ترکیب‌های دی‌ترین اکسیژنه (به‌عنوان کمترین مقدار شناسایی شده از بین ترکیب‌های) در شرایط شاهد در اسانس سرشاخه (۰/۳۸٪) (شکل ۵) و بیشتر از اسانس بذر (۰/۲۳٪) (شکل ۴) بود. محدوده مقادیر دی‌ترین اکسیژنی در اسانس بذر خلال دندان از ۰/۲۳٪ در شرایط شاهد (D1S1) تا ۰/۴۵٪ در تیمار تنش شدید خشکی (D3S1) (شکل ۴) و در اسانس سرشاخه از ۰/۳۸٪ در تیمار شاهد (D1S1) تا ۰/۶۲٪ در تیمار تنش شدید شوری (D1S3) (شکل ۵) تغییرات نشان داد.

تنش‌های محیطی بر میزان فعالیت‌های بیوشیمیایی گیاه از طریق افزایش خالص جذب مواد غذایی یا تخصیص بخش بیشتری از مواد غذایی به سمت اندام‌های تولیدکننده اسانس است (Biswas *et al.*, 2011). در شرایط تنش‌های محیطی از جمله خشکی و شوری، تراکم بیشتر غدد روغنی، به دلیل کاهش سطح برگ، منجر به افزایش مقدار تجمع اسانس می‌شود (Selmar *et al.*, 2017). نتایج متفاوت در مورد نحوه تغییرات بازده اسانس گیاهان دارویی به تنش‌های محیطی بستگی به شدت و نوع تنش و عوامل مختلف مورفولوژی، رشدی، اکوفیزیولوژی و بیوشیمیایی گیاه دارد (Biswas *et al.*, 2011). ماهیت ترکیب‌های اصلی اسانس خلال دندان تا حد زیادی وابسته به قسمت ژنوتیپ گیاه و مرحله تکاملی آن می‌باشد. مقایسه ترکیبات تشکیل دهنده اسانس اندام‌های این گیاه نشان داده است که تنوع شیمیایی نسبتاً خوبی بین ترکیب‌های اسانس وجود دارد (Khalfallah *et al.*, 2011). در مطالعه Khadhri و همکاران (۲۰۱۱)، ۴۱ ترکیب در اسانس بذر دو گونه بومی خلال دندان کشور تونس گزارش شد که اجزای اصلی شناسایی شده لینالول، ایزوآمیل ۲-متیل بوتیرات و ایزو آمیل ایزووالریات بودند. همچنین در مطالعه دیگری ترکیب‌های اصلی اسانس خلال دندان بومی کشور مراکش شامل ۲-۲ دای متیل بوتانوئیک اسید، لیمونن، پولگون و بتا-اوسیمین گزارش شد (Kamal *et al.*, 2022). در مطالعه بررسی ترکیب‌های شیمیایی اسانس ژنوتیپ‌های بومی کشور الجزایر، ۳۹ ترکیب شیمیایی گزارش شد که ترکیب‌های ۲-متیل ۲-متیل بوتیل استر، بوتانوئیک اسید دسیل استر، لینالول و تیمول به‌عنوان ترکیب‌های اصلی اسانس بودند (Khalfallah *et al.*, 2011). در نتایج این مطالعه علاوه بر تشابهات، تفاوت‌هایی نیز در ترکیب‌های اصلی اسانس تحت شرایط عدم وقوع تنش و همین‌طور تحت تأثیر تنش‌های ترکیبی شوری و خشکی مشاهده شد. تفاوت‌های مشاهده شده با نتایج قبلی می‌تواند علاوه بر تفاوت در اکوتیپ مورد استفاده (ژنوتیپ ایرانی) ناشی از اثرهای معنی‌دار تنش‌های محیطی خشکی و شوری بر تنوع شیمیایی ترکیب‌های

اسانس در این مطالعه باشد. عوامل تنش‌های محیطی خشکی و شوری می‌توانند منجر به فعال یا غیرفعال شدن گروه‌های آنزیمی خاصی شوند که منجر به بالا یا پایین شدن تنظیم برخی مسیرهای بیوسنتزی و افزایش یا کاهش ترکیب‌های خاصی از اسانس شود (Gouvea *et al.*, 2012). در این مطالعه تحت تأثیر تنش‌های ترکیبی خشکی و شوری، سمبرن، لیمونن، ۲-متیل ۲-متیل بوتیل استر، سیس-ژرانیول استات و کوبین به‌عنوان ترکیب‌های اصلی تشکیل دهنده اسانس بذر شناسایی شدند (جدول ۲). ترکیب‌های سمبرن، ۲-متیل ۲-متیل بوتیل استر، بتا-پینن، آلیل ایزووالریات و سیس-ژرانیول استات (جدول ۳) به‌عنوان ترکیب‌های اصلی تشکیل دهنده اسانس سرشاخه شناسایی گردیدند. لیمونن به‌عنوان یکی از ترکیب‌های اصلی در اسانس بذر خلال دندان شناسایی شد و میزان تغییرات آن در محدوده ۲۱/۲۱٪ تا ۲۷/۰۱٪ بود. عدم شناسایی لیمونن در اسانس سرشاخه می‌تواند ناشی از ماهیت متفاوت ساختاری و پاسخ متفاوت اندام‌های گیاهی خلال دندان به تنش‌های محیطی باشد. با توجه به اهمیت ویژه لیمونن به‌عنوان یک ترکیب مونوترپنی در صنایع غذایی و دارویی، استفاده بهینه از اسانس بذر خلال دندان در شرایط تیماری ملایم از تنش خشکی می‌تواند اقتصادی و پربازده باشد. ترکیب سیس-ژرانیول استات کاربردهای ویژه‌ای در صنعت اسانس و تهیه عطر دارد و مطابق با نتایج این مطالعه، تولید بهینه این ترکیب می‌تواند تحت شرایط تنش‌های شدید شوری در اندام‌های بذر و سرشاخه خلال دندان انجام شود. مشابه با نتایج این مطالعه، بتا-پینن به‌عنوان ترکیب اصلی اسانس در سایر گیاهان دارویی خانواده چتریان از جمله زیره سبز (Sedláková *et al.*, 2003) و باریجه (Jalali *et al.*, 2012) گزارش شده است. میزان سایر ترکیب‌های شناسایی شده تحت شرایط تیمارهای مختلف ترکیبی شوری و خشکی، تفاوت‌های نسبتاً بالایی را از نظر مقدار در دو اندام سرشاخه و بذر نشان دادند. بررسی منابع نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای در مورد نحوه تأثیر تنش شوری بر درصد اسانس و اجزای تشکیل دهنده گیاه خلال دندان گزارش

نشده است. گزارش‌هایی در مورد تأثیر مثبت تنش شوری بر کمیت و کیفیت اسانس در سایر گیاهان تیره چتریان از جمله زنیان وجود دارد که هم‌راستا با نتایج این مطالعه هستند (Ashraf & Orooj 2006؛ Yavari, 2020). تنش شوری باعث تغییراتی در ترکیب‌های اصلی اسانس گیاه مرزه رشینگری (*Satureja rechingeri*) از جمله کارواکرول، لینالول، تیمول و ۴-تریپتول شد ولی روند مشخصی (افزایشی یا کاهش) در سطوح مختلف شوری مشاهده نشد (Amiri & Ghasemi Ramazanabad, 2018).

تنش خشکی باعث افزایش محتوای دو گاما-پیرون مهم خلین (*khellin*) و ویسناگین (*visnagin*) در اندام‌های مختلف ساقه، سرشاخه و بذر و بعکس کاهش معنی‌دار عملکرد بذر در خلال دندان شد (Osama *et al.*, 2019). نتایج مشابهی در مورد تأثیر مثبت تنش خشکی بر روی کاهش عملکرد اسانس و بعکس افزایش درصد اسانس در گیاه زنیان (Razavizadeh *et al.*, 2014) و رازیانه (Zaeid *et al.*, 2014) گزارش شده است که با نتایج حاصل از این مطالعه مشابهت دارد. افزایش معنی‌دار تیمول و لیمونن به ترتیب در اسانس زنیان (Razavizadeh *et al.*, 2014) و رازیانه (Zaeid *et al.*, 2014) تحت تنش خشکی گزارش شده است. در مطالعه دیگری، تنش شدید خشکی در زیره، ترکیب‌های اصلی اسانس زیره سبز از جمله کومین آلدئید، گاما-تریپنین، پارا-سیمن و بتا-پینین را کاهش داده است (Laribi *et al.*, 2009). مطابق با نتایج این مطالعه، کشت گیاه خلال دندان در شرایط اقلیمی ایران به ویژه مناطق مرکزی کشور با اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌تواند باعث غالب شدن ترکیب‌هایی با خواص دارویی از جمله سمبرن، ۲-متیل ۲-متیل بوتیل استر، لیمونن و بتا-پینین در اسانس این گیاه ارزشمند دارویی شود. تأثیر توأم تنش‌های شوری و خشکی در این مطالعه منجر به تغییرات مقدار گروه‌های شیمیایی شناخته شده در اسانس خلال دندان نسبت به شرایط شاهد شد. طبق نتایج این مطالعه، اعمال توأم تنش شدید خشکی و شدید شوری (D3S3) باعث افزایش قابل توجه مقدار دی‌ترین هیدروکربنی در اسانس بذر و سرشاخه

خلال دندان شد. تنش‌های ترکیبی خشکی و شوری تأثیر چندانی بر مقدار مونوترپن اکسیژنی اسانس بذر نداشت و این تأثیر افزایشی بر اندام سرشاخه بیشتر مشاهده شد. تنش‌های شدید خشکی و شوری باعث کاهش مقدار سزکوئی‌ترین هیدروکربنی در اسانس بذر و سرشاخه خلال دندان شد ولی تنش ملایم شوری باعث افزایش قابل توجه آن هم در اسانس بذر و هم در اسانس سرشاخه خلال دندان گردید. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تنش ملایم شوری باعث افزایش قابل توجه مقدار سزکوئی‌ترین اکسیژنی در اسانس سرشاخه خلال دندان (حدود سه برابر نسبت به شاهد) و تنش ملایم خشکی باعث افزایش بسیار قابل توجه آن در اسانس بذر خلال دندان (حدود هفت برابر نسبت به شاهد) شد. با توجه به خاصیت آنتی‌اکسیدانی و خواص ضد سرطانی موجود در سزکوئی‌ترین‌ها (Rezaieseresht *et al.*, 2020)، اندام سرشاخه در خلال دندان، تحت تأثیر تنش‌های ملایم شوری، می‌تواند منبع بالقوه‌ای از نظر تولید بهینه این ترکیب‌های مهم دارویی در درمان بیماری‌های سرطان مورد استفاده قرار گیرد. در همین راستا، گزارش‌هایی وجود دارد که بیان می‌کنند ترکیب‌های شیمیایی اسانس خلال دندان عمدتاً بین گروه‌های نانوترپن و مونوترپن توزیع می‌شوند (Abdul-Jalil *et al.*, 2010) و دی‌ترین‌ها و سزکوئی‌ترین‌ها در مقادیر کم در اسانس این گیاه شناسایی شده است (Sellami *et al.*, 2013) که تا حدودی با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. با این تفاوت که در اسانس خلال دندان مورد مطالعه در این پژوهش، نانوترپن‌ها مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند و ترکیب‌های غالب اسانس مونوترپن‌ها و دی‌ترین‌ها، هیدروکربنی بوده‌اند (Khadhri *et al.*, 2011). با توجه به اثرهای متنوع بیولوژیکی و دارویی ترپنوئیدها، اسانس این گونه می‌تواند مورد توجه صنایع دارویی و غذایی قرار بگیرد. به‌طور کلی مقایسه نتایج بدست آمده از این پژوهش، نشان می‌دهد اگرچه تولید متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس با کنترل ژنتیکی همراه است، ولی ساخت آنها در گیاه به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل از جمله نوع و شدت تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد.

- Bahreininejad, B., Razmjoo, J. and Mirza, M., 2013. Influence of water stress on morpho-physiological and phytochemical traits in *Thymus daenensis*. *International Journal of Plant Production*, 7: 155-166.
- Biswas, S., Koul, M. and Bhatnagar, A.K., 2011. Effect of salt, drought and metal stress on essential oil yield and quality in plants. *Natural Product Communications*, 6(10): 1559-1564.
- Chevallier, A., 2016. *Encyclopedia of Herbal Medicine: 550 Herbs and Remedies for Common Ailments*. Penguin.
- Dashti, M., Mirza, M., Kafi, M. and Tavakkoli, H., 2015. Effects of water deficit stress on *Salvia lerifolia* Benth. yield and essential oil composition. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(2): 262-274.
- Dehghan, A. and Rahimmalek, M., 2018. The effect of salt stress on morphological traits and essential oil content of Iranian and foreign yarrow (*Achillea millefolium* L.) genotypes. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, 9(2): 23-38.
- Ehsanzadeh, P. and Gholami Zali, A., 2019. Physiological, antioxidative and yield responses of three fennel genotypes to exogenous proline under drought stress condition. *Journal of Plant Process and Function*, 8(32): 1-18.
- Fabriki Ourang, S. and Mehrabad-Pourbenab, S., 2016. The effects of drought and salt stresses on some morphological and biochemical parameters of savory (*Satureja hortensis* L.). *Eco-phytochemical Journal of Medicinal Plants*, 4(3): 23-35.
- Feirouz, B. and Salima, K.G., 2014. Antibacterial activity and chemical composition of *Ammi visnaga* L. essential oil collected from Boumerdes (Algeria) during three periods of the plant growth. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(6): 1317-1328.
- Gouvea, D.R., Gobbo-Neto, L. and Lopes, N.P., 2012. The influence of biotic and abiotic factors on the production of secondary metabolites in medicinal plants. *Plant bioactives and drug discovery: Principles, Practice, and Perspectives*, 17: 419.
- Hashim, S., Jan, A.S.A.D., Marwat, K.B. and Khan, M.A., 2014. Phytochemistry and medicinal properties of *Ammi visnaga* (Apiaceae). *Pakistan Journal of Botany*, 46(3): 861-867.
- Hedayati, A., Mirjalili, M.H. and Hadian, J., 2016. Chemical diversity in the essential oil from different plant organs of *Salvia sahendica* Boiss. & Buhse. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(4): 897-906.
- Jalali, T.H., Ebrahimian, Z.J., Armando, J.D. and Domingues, M., 2012. Deeper insight into the

به‌طور کلی نتایج این مطالعه نشان داد که گیاه خلال‌دندان افزایش معنی‌داری از نظر بازده اسانس تحت شرایط تنش‌های مستقل شوری و خشکی و تنش‌های ترکیبی خشکی و شوری نشان داد که می‌تواند بیانگر سازگاری مطلوب کشت‌وکار این گیاه دارویی در مناطق تحت تأثیر تنش‌های ملایم از خشکی و شوری باشد. وقوع تنش‌های خشکی و شوری درصد اسانس سرشاخه را به مراتب خیلی بیشتر از درصد اسانس بذر در گیاه خلال‌دندان افزایش داد. با توجه به میزان اسانس و ترکیبات مفید تشکیل‌دهنده آن، امیدواریم که متخصصان به‌زراعی و به‌نژادی با اقدام به زراعی کردن خلال‌دندان (ازجمله کشت و بهره‌برداری در زمین‌های متأثر از تنش‌های محیطی شوری و خشکی به‌صورت مقطعی و مدیریت شده) بتوانند در راستای استفاده از ترکیبات مؤثر در این گیاه در صنایع دارویی کشور گام بردارند.

References

- Abdoli, S., Ghassemi-Golezani, K. and Alizadeh-Salteh, S., 2020. Responses of ajowan (*Trachyspermum ammi* L.) to exogenous salicylic acid and iron oxide nanoparticles under salt stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(29): 36939-36953.
- Abdul-Jalil, T.Z., Saour, K. and Nasser, A.A., 2010. Phytochemical Study of some flavonoids present in the fruits of Two *Ammi* L. species wildy grown in Iraq. *Iraqi Journal of Pharmaceutical Sciences*, 19: 48-57.
- Adams, R.P., 2007. Identification of essential oil components by gas chromatography /quadrupole mass spectroscopy. *Allured, Carol Stream*, 745p.
- Ahmed, S.S.T., Fahim, J. and Abdelmohsen, U.R., 2021. Chemical and biological potential of *Ammi visnaga* (L.) Lam. and *Apium graveolens* L.: A review. *Journal of advanced Biomedical and Pharmaceutical Sciences*, 4(3): 160-176.
- Amiri, H. and Ghasemi Ramazanabad, Z., 2018. The effects of salinity on chemical composition of essential oil of *Satureja rechingeri*. *Journal of Plant Research*, 31: 248-257.
- Ashraf, M. and Orooj, A., 2006. Salt stress effects on growth, ion accumulation and seed oil concentration in an arid zone traditional medicinal plant ajwain (*Trachyspermum ammi* [L.] Sprague). *Journal of Arid Environments*, 64(2): 209-220.

- growth parameters and essential oil content of *Matricaria chamomile*. International Journal of Agriculture and Biology, 10(4): 451-454.
- Rezaieseresht, H., Shobeiri, S.S. and Kaskani, A., 2020. Chenopodium botrys essential oil as a source of sesquiterpenes to induce apoptosis and G1 cell cycle arrest in cervical cancer cells. Iranian Journal of Pharmaceutical Research, 19(2): 341-351.
 - Sangwan, N.S., Farooqi, A.H.S., Shabih, F. and Sangwan, R.S., 2001. Regulation of essential oil production in plants. Plant Growth Regulation, 34: 3-21.
 - Sarmoum, R., Haid, S., Biche, M., Djazouli, Z., Zebib, B. and Merah, O., 2019. Effects of salinity and water stress on the essential oil components of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). Agronomy, 214.
 - Sedláková, J., Kocourková, B., Lojtková, L. and Kubáň, V., 2003. The essential oil content in caraway species (*Carum carvi* L.). Horticultural science, 30(2): 73-79.
 - Sefidkon, F., Abbasi, K. and Khaniki, G.B., 2006. Influence of drying and extraction methods on yield and chemical composition of the essential oil of *Satureja hortensis*. Food chemistry, 99(1): 9-23.
 - Sellami, H.K., Napolitano, A., Masullo, M., Smiti, S., Piacente, S. and Pizza, C., 2013. Influence of growing conditions on metabolite profile of *Ammi visnaga* umbels with special reference to bioactive furanochromones and pyranocoumarins. Phytochemistry, 95: 197-206.
 - Selmar, D., Kleinwächter, M., Abouzeid, S., Yahyazadeh, M. and Nowak, M., 2017. The impact of drought stress on the quality of spice and medicinal plants. 159-175, In: Ghorbanpour, M. and Varma, A. (Eds.), Medicinal Plants and Environmental Challenges, Springer Cham, 429p.
 - Taarit, M.B., Msaada, K., Hosni, K. and Marzouk, B., 2010. Changes in fatty acid and essential oil composition of sage (*Salvia officinalis* L.) leaves under NaCl stress. Food Chemistry, 119(3): 951-956.
 - Yavari, P., 2020. Variation of morphological characteristics essential oil yield and phenolic content of ajowan *Trachyspermum ammi* L. accessions under salt stress Parisa Yavar. MsC thesis, Department of Agronomy and Plant Breeding Isfahan University of Technology, Iran.
 - Zaeid, F.A., Omer, E.A., Amin, A.Y. and Hanafy, S.A., 2014. Effect of putrescine and salicylic acid on Ajwain plant (*Trachyspermum ammi*) at vegetative stage grown under drought stress. International Journal of Agricultural Science and Research, 4(6): 61-80.
 - monoterpenic composition of *Ferula gummosa* oleo-gum-resin from Iran. Industrial Crops and Products, 36: 500-507.
 - Jaradat, N.A., Zaid, A.N., Al-Ramahi, R., Alqub, M.A., Hussein, F., Hamdan, Z., Mustafa, M., Qneibi, M. and Ali, I., 2017. Ethnopharmacological survey of medicinal plants practiced by traditional healers and herbalists for treatment of some urological diseases in the West Bank/Palestine. BMC Complementary Alternative Medicine, 17: 255.
 - Khadhri, A., El Mokni, R., Mguis, K., Ouerfelli, I. and Araujo M., 2011. Variability of two essential oils of *Ammi visnaga* (L.) Lam. a traditional Tunisian medicinal plant. Journal of Medicinal Plants Research, 5: 5079-5082
 - Kamal, F.Z., Stanciu, G.D., Lefter, R., Cotea, V.V., Niculaua, M., Ababei, D.C., Ciobica, A. and Ech-Chahad, A., 2022. Chemical composition and antioxidant activity of *Ammi visnaga* L. essential oil. Antioxidants, 11(2): 347.
 - Khalfallah, A., Labeled, A., Semra, Z., Kaki, B., Kabouche, A., Touzani, R. and Kabouche, Z., 2011. Antibacterial activity and chemical composition of the essential oil of *Ammi visnaga* L. (Apiaceae) from Constantine, Algeria. International Journal of Medicine and Aromatic Plant, 1(3): 302-305.
 - Khalil, N., Bishr, M., Desouky, S. and Salama, O., 2020. *Ammi visnaga* L., a potential medicinal plant: A review. Molecule, 25: 301.
 - Laribi, B., Bettaieb, I., Kouki, K., Sahli, A., Mougou, A. and Marzouk, B., 2009. Water deficit effects on caraway (*Carum carvi* L.) growth, essential oil and fatty acid composition. Industrial Crops and Products, 30(3): 372-379.
 - Misra, A. and Srivastava, N. K., 2000. Influence of water stress on Japanese mint. Journal of Herbs Spices and Medicinal Plants, 7: 51-58.
 - Mohamed, M.A. and Abdu, M., 2004. Growth and oil production of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.): effect of irrigation and organic fertilization. Biological Agriculture and Horticulture, 22(1): 31-39.
 - Osama, S., El Sherei, M., Al-Mahdy, D.A., Bishr, M. and Salama, O., 2019. Effect of Salicylic acid foliar spraying on growth parameters, γ -pyrones, phenolic content and radical scavenging activity of drought stressed *Ammi visnaga* L. plant. Industrial Crops and Products, 134: 1-10.
 - Razavizadeh, R., Shafeghat, M. and Najafi, S., 2014. Effect of water deficit on morphological and physiological parameters of *Carum copticum*. Iranian Journal of Plant Biology, 6(22): 25-38.
 - Razmjoo, K.H., Heydarizadeh, P. and Sabzalian, M.R., 2008. Effect of salinity and drought stresses on