Research Article

Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research
Vol. 39, No. 4, Page 551-567 (2023)

DOI: 10.22092/ijmapr.2023.361957.3308

The effect of UV radiation, time, and storage conditions on essential oil compounds and some physiological traits of *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey.

Fatemeh Mahdi-Navasi[1], Bohloul Abbaszadeh[2*], Vahid Abdossi[3], Marjan Diyanat[3] and Razieh Azimi[4]

1- Ph.D. student, Agriculture and food science faculty, Science research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2*- Corresponding author, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, E-mail: babaszadeh@rifr-ac.ir
3- Department of Agricultural and Horticultural Sciences, SR. C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4- Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: April 2023 Revised: July 2023 Accepted: September 2023

Abstracct

Bachground and objective: *Satureja mutica* Fisch & C.A. Mey is a perennial plant that can be cultivated under irrigation conditions and in rainfed drylands. It has anti-flatulent, appetizing, sexual enhancement, anti-fungal and anti-bacterial effects. Drying increases product shelf life by stopping enzymes, pathogens, and microorganisms. The factors that affect essential oils and their content are temperature, drying time, and the type of plant. Microwaves for drying are one of the newer methods. Their advantages include shortening drying time, maintaining quality, reducing energy consumption, preserving dried plants' color, and improving effective ingredients.

Methodology: The flowering shoots were collected from the Research Institute of Forests and Rangelands research farm in 2019. Plants in the insectarium were exposed to UV-B light treatment through UV-B lamps. The plants were turned over every half hour. Irradiation agents were selected based on the preliminary test, including durations of 0, 2.5, 5, and 10 hours. After irradiation, the samples were stored in sealed bags under two conditions: refrigerator at 4°C and room temperature. The storage time was 0, 120, and 240 hours. Therefore, the sources of variation include irradiation duration in four levels (0, 2.5, 5, and 10 hours), storage conditions in two conditions (room temperature 25-27°C and fridge with a temperature of 4°C), and storage duration factor in three levels (0, 120 and 240 hours).202 grams of fresh samples (equivalent to 80 grams of dry matter) and 80 grams of dried samples in other treatments were extracted by water distillation in 3 repetitions for 2 hours. The obtained essential oils were stored in sealed bottles inside the refrigerator at 4 °C until injected into GC and GC/MS devices for quantitative and qualitative analysis. Carbohydrate, phenol, and free radical inhibition (by the DPPH method) were measured. Data were analyzed using SPSS version 18, and the means were compared with the LSD test at $P \geq 0.05$.

Results: Variance analysis of essential oil percentage showed that UV-B factor, storage condition (SC), storage time (ST) at the 1% level, and SC ST interaction at the 5% level had a significant effect. Due to the increase in irradiation duration, the percentage of essential oil extracted from the plant increased. This percentage increased to 0.42% in the control and 0.71% in the 10-hour treatment. Based on a mean comparison, the amount of essential oil in the shade increased from 0.48% to 0.54%. Mean comparison of the effect of storage conditions (SC) on storage time (ST) revealed that the highest percentage was related to the shade storage treatment for 240 hours with 0.61%. The mean comparison of the interaction effect of the three treatments showed that the percentage of thymol was the highest at 45% in the conditions without

Copyright: © 2023 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijmapr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

irradiation refrigerator×without storage. The results of the simple correlation of the traits demonstrated that thymol had a significant negative relationship with α-thujone, α-terpenine, and carvacrol. Carvacrol showed a significant negative correlation with major compounds, paracymene and thymol. It was observed that the highest antioxidant activity was obtained from 10 hours of UV-B radiation. A mean comparison of the effect of UV-B rays on the amount of phenol indicated that its amount increased in the 2.5-hour treatment compared to the other treatments. The highest antioxidant percentage could be achieved after 10 hours of irradiation in the refrigerator for 240 hours.

Conclusion: The conversion of compounds occurs by irradiation of UV-B rays in the drying stages, and the amount of paracymene and thymol is reduced, and the amount of carvacrol is increased. Therefore, in *S. mutica*, which has thymol and carvacrol compounds, drying treatments aiming to increase the specific composition can be very effective. Also, the amount of thymol and carvacrol in dried plants may decrease compared to fresh plants. The increase in antioxidant activity in the treatment of 10 hours of UV-B radiation confirms the viability of plant cells and their efforts to prevent environmental stress through the increase of antioxidant enzymes.

Keywords: Essential oil, UV-B radiation, antioxidant activity, phenol, *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey.

تأثیر تابش اشعه UV-B، زمان و شرایط نگهداری بر ترکیبات اسانس و برخی صفات فیزیولوژیک *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey.

فاطمه مهدی نوه‌سی[۱]، بهلول عباس‌زاده[۲*]، وحید عبدوسی[۳]، مرجان دیانت[۳] و راضیه عظیمی[۴]

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده کشاورزی و صنایع غذایی تهران، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست الکترونیک: babaszadeh@rifr-ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم باغبانی و زراعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: فروردین ۱۴۰۲ تاریخ اصلاح نهایی: تیر ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: شهریور ۱۴۰۲

چکیده

سابقه و هدف: مرزه موتیکا با نام علمی *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey.، گیاهی چندساله، قابل کشت در شرایط آبی و دیمزارهای پرباران است. دارای خواص ضد نفخ، اشتهاآور، تقویت‌کننده قوای جنسی، قارچ و ضد باکتری می‌باشد. هدف اصلی فرایند خشک کردن، افزایش عمر انبارمانی محصول با متوقف کردن فعالیت آنزیم‌ها، پاتوژن‌ها و میکروارگانیسم‌ها است. ازجمله عواملی که اسانس و محتوای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهند، دما، مدت زمان خشک کردن و نوع گیاه هستند. کاربرد امواج میکروویو در خشک کردن گیاهان ازجمله روش‌های جدید بوده که از مزیت مهم آن می‌توان به کوتاه شدن زمان خشک کردن، حفظ کیفیت، کاهش مصرف انرژی، حفظ رنگ گیاهان خشک شده و بهبود مواد مؤثره اشاره کرد.

مواد و روش‌ها: سرشاخه گلدار از مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری شد. گیاهان در انسکتاریوم در معرض تیمار نور UV-B از طریق لامپ‌های UV-B قرار داده شدند. هر نیم ساعت گیاهان زیرورو می‌شدند. عامل پرتودهی شامل مدت زمان صفر، ۲/۵، ۵، ۱۰ ساعت و براساس آزمایش مقدماتی انتخاب شد. نمونه‌ها پس از پرتودهی در کیسه‌های دربسته در دو شرایط یخچال دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و شرایط اتاق نگهداری شدند. مدت زمان نگهداری در سه سطح ۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ ساعت بود. بنابراین، منابع تغییر شامل مدت پرتودهی در چهار سطح (۰، ۲/۵، ۵ و ۱۰ ساعت)، شرایط نگهداری در دو شرایط (دمای اتاق ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد و سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد) و عامل مدت زمان نگهداری در سه سطح (۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ ساعت) بودند. ۲۰۲ گرم از نمونه تر و تازه (برابر ۸۰ گرم ماده خشک) و ۸۰ گرم از نمونه‌های خشک شده در سایر تیمارها، به روش تقطیر با آب در ۳ تکرار به مدت ۲ ساعت اسانس‌گیری شدند. اسانس‌های بدست آمده تا زمان تزریق به دستگاه‌های GC و GC/MS برای انجام آنالیز کمّی و کیفی، در شیشه‌های دربسته داخل یخچال در دمای ۴°C نگهداری شدند. میزان کربوهیدرات، فنل و مهار رادیکال آزاد (به روش DPPH) اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS version 18 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح $P\leq ۰/۰۵$ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت.

نتایج: تجزیه واریانس درصد اسانس نشان داد که عامل UV-B، شرایط نگهداری (SC) و مدت نگهداری (ST) در سطح ۱٪ و اثر متقابل SC×ST در سطح ۵٪ اثر معنی‌دار داشت. مشاهده شد که بر اثر افزایش مدت زمان تابش، بر درصد اسانس استخراجی از گیاه اضافه شد، به‌طوری که در شاهد ۰/۴۲٪ و در تیمار ۱۰ ساعت به ۰/۷۱٪ افزایش یافت. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با نگهداری گیاه در سایه نسبت به نگهداری در یخچال مقدار اسانس از ۰/۴۸٪ به ۰/۵۴٪ افزایش یافت. مقایسه میانگین اثر شرایط نگهداری (SC) در مدت نگهداری (ST) نشان داد که بیشترین درصد مربوط به تیمار نگهداری در سایه به مدت ۲۴۰ ساعت با میانگین ۰/۶۱٪ بود. مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه تیمارها نشان داد که درصد ترکیب تیمول در شرایط بدون پرتودهی×یخچال×بدون انبارداری با

۴۵٪ بیشترین بود. نتایج همبستگی ساده صفات نشان داد که تیمول با ترکیب‌های آلفا-توجون، آلفا-ترپینن و کارواکرول رابطه منفی معنی‌دار داشت. کارواکرول با هر دو ترکیب عمده پارا-سیمن و تیمول همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد. مشاهده شد که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از تیمار تابش ۱۰ ساعت UV-B بدست آمد. مقایسه میانگین اثر اشعه UV-B بر میزان فنل نشان داد که مقدار آن در تیمار ۲/۵ ساعت نسبت به بقیه تیمارها افزایش داشت. بیشترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۰ ساعت پرتودهی×نگهداری در یخچال×۲۴۰ ساعت انبارداری حاصل شد.

نتیجه‌گیری کلی: با تابش اشعه UV-B در مراحل خشک کردن، تبدیل ترکیبات اتفاق می‌افتد و از مقدار پارا-سیمن و تیمول کاسته شده و بر میزان کارواکرول افزوده می‌شود، بنابراین در مرزه موتیکا که هر دو ترکیب تیمول و کارواکرول را دارد، استفاده از تیمارهای خشک کردن با هدف افزایش ترکیب خاص، می‌تواند بسیار مؤثر باشد. همچنین مقدار تیمول و کارواکرول در مرحله خشک شدن ممکن است نسبت به گیاه تر و تازه کاهش یابد. افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار تابش ۱۰ ساعت UV-B مؤید زنده بودن سلول‌های گیاهی و تلاش آنها برای جلوگیری از تنش‌های محیطی از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، اشعه UV-B، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، فنل، مرزه موتیکا (*Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey.).

مقدمه

حدود ۷۰۰۰ گونه متعلق به بیش از ۲۳۰ جنس در خانواده Lamiaceae گزارش شده است. در بین این جنس‌ها، مرزه‌ها بیش از ۲۰۰ گونه علفی یا بوته‌ای دارند که بیشتر معطر بوده و به مقدار زیادی در نواحی مدیترانه، آسیا و برخی از بخش‌های ایالات متحده یافت می‌شوند (Rustaiyan *et al*., 2004). مرزه جنگلی/موتیکا با نام علمی *Satureja mutica* Fisch. & C. A. Mey متعلق به خانواده نعناعیان (Saki *et al*., 2019)، گیاهی چندساله، با ارتفاع حدود ۸۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر و با قطر تاج‌پوشش متوسط یک متر در شرایط کشت آبی و دیمزارهای پرباران است (Abbaszadeh *et al*., 2017). در جوامع سنتی ایران به‌صورت دم‌کرده به‌عنوان ضد نفخ، اشتهاآور و برای تقویت قوای جنسی استفاده می‌شود (Mirheydar, 1993). دارای اهمیت اقتصادی در صنایع غذایی، آرایشی- بهداشتی و دارویی می‌باشد (Lawrence, 2000). در ایران از استان‌های گلستان، گرگان، گیلان، تهران و قزوین از ارتفاع ۲۰۰ تا ۱۹۰۰ متری از سطح دریا گزارش شده است (Gohari *et al*., 2005). این گیاه به علت داشتن ترکیبات فنلی در اسانس و ترکیبات تاننی در برگ (Sefidkon & Jamzad, 2005)، دارای خواص ضد قارچی (Zargani Nejad *et al*., 2019) و ضد باکتریایی (Hagh *et al*., 2019) است.

کیفیت گیاهان دارویی به منشأ جغرافیایی، رقم، مرحله رشدی گیاه در زمان برداشت، انتقال و نحوه خشک کردن و نگهداری بستگی دارد (Patil *et al*., 2001؛ Wendakoon *et al*., 2012). متأسفانه در حال حاضر در کشور ما بیشتر توجه‌ها و حمایت‌ها از توسعه سطح کشت می‌باشد و به مسائل کیفی و روش‌های حفظ یا افزایش کیفیت کمتر توجه می‌شود، این در حالی است که توجه به افزایش کیفیت و نیز مسئله پس از برداشت و فرآوری اولین قدم برای ورود به بازارهای جهانی محسوب می‌گردد. هدف عمده و اصلی فرایند خشک کردن، افزایش عمر انبارمانی محصول با متوقف کردن فعالیت‌های آنزیمی، پاتوژن‌ها و سایر میکروارگانیسم‌ها است. ازجمله عواملی که عملکرد اسانس و محتوای اجزای آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌توان به دما، مدت زمان خشک کردن و نوع گیاه اشاره کرد (Yazdani *et al*., 2006). کاربرد امواج میکروویو در خشک کردن گیاهان ازجمله روش‌های جدید بوده که از مزیت مهم آن می‌توان به کوتاه شدن زمان خشک کردن (Blose & Cusick, 1993)، حفظ کیفیت (Drouzas *et al*., 1999)، کاهش مصرف انرژی (Dıaz *et al*., 2003)، حفظ رنگ گیاهان خشک شده و بهبود مواد مؤثره اشاره کرد.

اشعه UV حدود ۵-۳٪ تشعشعات خورشیدی را تشکیل می‌دهد (Gupta *et al*., 2019) که اشعه UV-B در طول

موج بین ۲۸۰ تا ۳۱۵ نانومتر قرار دارد (Xu *et al*., 2019). همچنین این اشعه بر میزان فعالیت‌های اکسیداتیو، غدد ترشحی، سلولهای مزوفیلی و میزان تولید متابولیت‌های ثانویه مؤثر گزارش شده است (Nazari & Zarinkamar, 2020). پرتودهی اشعه UV پس از برداشت، بر بیولوژی گیاهان و به‌ویژه بر ماده مؤثره می‌تواند مؤثر باشد (Ning *et al*., 2012). آنان اشعه‌های UV-A و UV-B را بر روی گیاه تازه برداشت شده *Lonicera japonica* اعمال کردند، به‌طوری که نتایج نشان داد با تغییر مدت زمان پرتودهی، تغییرات زیادی در نوع ترکیبات بوجود آمد. استفاده از اشعه UV-B در گیاه زنده، موجب کاهش حدود ۷ درصدی اسانس گردید و از سویی در عصاره متانولی قابلیت جاروب اکسیژن‌های آزاد نسبت به شاهد افزایش داشت (Takshak & Agrawal, 2015). در مطالعه دیگری، مشاهده شد که استفاده از اشعه UV-B موجب کاهش رشد شد اما موجب افزایش برخی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی گردید (Indrajith & Ravindran, 2009). اشعه UV-B موجب افزایش میزان تولید و تجمع آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، پرولین، فنل و آسکوربیت اسید در گیاه دارویی *Acorus calamus* گردید (Kumari *et al*., 2010).

با توجه به اینکه گونه مرزه موتیکا یکی از مرزه‌های چندساله بومی ایران بوده، بالاترین عملکرد سرشاخه گلدار را در بین تمام مرزه‌ها داشته و به لحاظ زراعی قابل رقابت با بیشتر گیاهان زراعی رایج بوده و به لحاظ ترکیبات فنلی از ارزش دارویی بالایی برخوردار است. در همین راستا، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور در حال معرفی ارقام زراعی آن می‌باشد. بنابراین بررسی و انتشار تمام مسائل زراعی و فرآوری آن ازجمله خشک کردن از اهمیت بالایی برخوردار است، به همین منظور بررسی اثر خشک کردن و ضدعفونی آن تحت تیمارهای اشعه UV-B انجام شد.

مواد و روش‌ها

سرشاخه گلدار نمونه‌های مرزه موتیکا از مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور واقع در کرج (۵ کیلومتری جنوب‌شرق شهرستان کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۱ درجه شرقی، ارتفاع ۱۳۲۰ متری از سطح دریا، متوسط بارندگی منطقه حدود ۲۳۵ میلی‌متر، حداقل درجه حرارت آن ۲۰- درجه سانتی‌گراد و حداکثر درجه حرارت آن ۳۸ درجه سانتی‌گراد، جهت باد غالب منطقه از شرق و جنوب‌شرق) در سال ۱۳۹۹ جمع‌آوری شد.

گیاهان برداشت شده در معرض تیمار نور UV-B از طریق لامپ‌های UV-B قرار داده شدند. به منظور ضدعفونی همه قسمت‌های گیاه، هر نیم ساعت گیاهان زیرورو می‌شدند. عامل پرتودهی شامل مدت زمان صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ ساعت و براساس آزمایش مقدماتی انتخاب شد. نمونه‌ها پس از پرتودهی در کیسه‌های دربسته در دو شرایط یخچال دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و شرایط اتاق نگهداری شدند. مدت زمان نگهداری در سه سطح ۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ ساعت بود. بنابراین، منابع تغییر شامل مدت پرتودهی در چهار سطح صفر، ۲/۵، ۵ و ۱۰ ساعت، شرایط نگهداری در دو شرایط دمای اتاق ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد و سردخانه با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد و عامل مدت زمان نگهداری در سه سطح صفر، ۱۲۰ و ۲۴۰ ساعت بودند. در نتیجه تعداد تیمارهای مورد مطالعه با احتساب ۳ تکرار برای هر تیمار برابر ۷۲ واحد آزمایشی بود که در قالب فاکتوریل و با استفاده از طرح کاملاً تصادفی تجزیه‌وتحلیل شد.

استخراج اسانس

۲۰۲ گرم از نمونه تر و تازه (برابر ۸۰ گرم ماده خشک با توجه به محاسبه درصد رطوبت در گیاه) و ۸۰ گرم از نمونه‌های خشک شده در سایر تیمارها، به روش تقطیر با آب (طرح کلونجر) در ۳ تکرار به مدت ۲ ساعت اسانس‌گیری شدند. اسانس‌ها با استفاده از سولفات سدیم بدون آب، آبگیری شده و پس از توزین اسانس با ترازوی دیجیتالی دقیق، بازده اسانس به صورت درصد براساس وزن گیاه خشک (رطوبت صفر) محاسبه و گزارش شد. اسانس‌های بدست آمده تا زمان تزریق به

دستگاه‌های GC و GC/MS برای انجام آنالیز کمّی و کیفی، در شیشه‌های دربسته داخل یخچال در دمای ۴°C نگهداری شدند.

مشخصات دستگاه‌های GC و GC/MS

مشخصات دستگاه کروماتوگراف گازی (GC): کروماتوگراف گازی فوق سریع (GC-FID) با مدل Thermo-UFM ساخت کشور ایتالیا، مجهز به آشکارساز FID و داده‌پرداز با نرم‌افزار Chrom-card 2006 بود. ستون DB-5 نیمه‌قطبی (به طول ۱۰ متر، قطر داخلی ۰/۱ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۴ میکرون) استفاده شد. دمای محفظه تزریق ۲۸۵°C و دمای آشکارساز ۲۸۰°C تنظیم شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون شامل افزایش دما از ۶۰ تا ۲۸۰°C با سرعت افزایش ۴۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه بوده و بعد به مدت ۳ دقیقه در دمای ۲۸۰°C نگه داشته شد. گاز حامل استفاده شده هلیوم با سرعت جریان ۰/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه بود.

مشخصات دستگاه GC/MS: آنالیز نمونه با دستگاه کروماتوگراف گازی Agilent 7890A متصل به طیف‌سنج جرمی 5975CAgilent از نوع چهار قطبی (ساخت آمریکا)، مجهز به ستون DB-5 (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون) انجام شده است. برنامه‌ریزی حرارتی ستون عبارت است از: افزایش درجه حرارت از ۶۰ تا ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش ۳ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و افزایش به ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت افزایش ۲۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه (در نهایت ۳ دقیقه در این دما نگه داشته شده است). درجه حرارت محفظه تزریق ۲۶۰ درجه سانتی‌گراد و دمای ترانسفرلاین ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شده است. گاز حامل هلیوم بوده که با سرعت ۳۰/۶ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کند. زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و اسکن ناحیه جرمی از ۴۰ تا ۳۴۰ بوده است.

شناسایی ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس

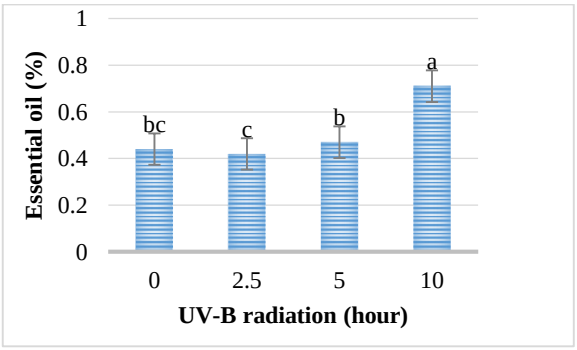
با استفاده از شاخص بازداری، مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه با ترکیب‌های استاندارد و استفاده از اطلاعات کتابخانه‌ای دستگاه (Adams, 2017)، ترکیب‌های تشکیل دهنده اسانس‌ها شناسایی شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک

صفات فیزیولوژیک شامل میزان کربوهیدرات، فنل و مهار رادیکال DPPH طبق روش Mashayekhi و Atashi (۲۰۱۶) اندازه‌گیری شد.

تجزیه‌وتحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS version 18 و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD در سطح ۰/۰۵ $P\leq$ تجزیه‌وتحلیل شد.



شکل ۱- مقایسه میانگین اثر مدت زمان تابش UV-B بر درصد اسانس مرزه موتیکا (*Satureja mutica*)

Figure 1. Means comparison of UV-B radiation duration effects on *Satureja mutica* essential oil percentage

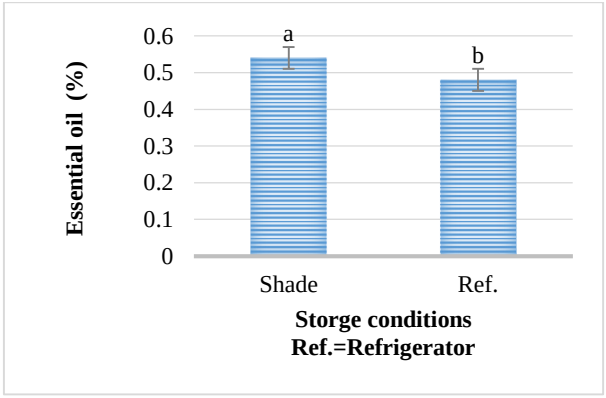
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

نتایج

نتایج تجزیه واریانس درصد اسانس نشان داد که عامل UV-B، شرایط نگهداری (SC) و مدت نگهداری (ST) در سطح ۱٪ و اثر متقابل SC×ST در سطح ۵٪ اثر معنی‌دار داشت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عامل UV-B،

شرایط نگهداری (SC)، مدت نگهداری (ST) و اثر متقابل UV×SC، UV×ST، SC×ST و UV×SC×ST بر کلیه ترکیبات اسانس در سطح ۱٪ اثر معنی‌دار داشت (جدول ۱). مشاهده شد که بر اثر افزایش مدت زمان تابش، بر درصد اسانس استخراجی از گیاه اضافه شد، به‌طوری که در شاهد ۰/۴۲٪ و در تیمار ۱۰ ساعت به ۰/۷۱٪ افزایش یافت (شکل ۱).

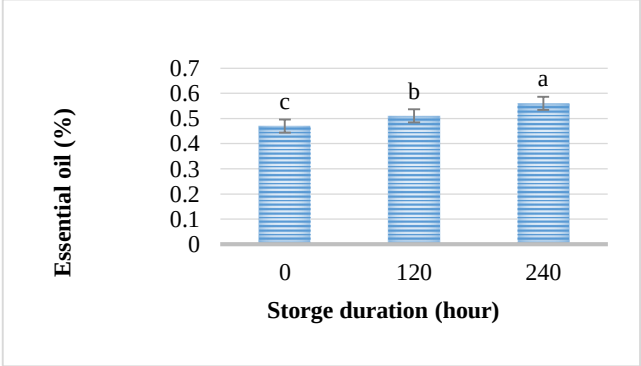
مقایسه میانگین‌ها نشان داد با نگهداری گیاه در سایه نسبت به نگهداری در یخچال مقدار اسانس از ۰/۴۸٪ به ۰/۵۴٪ افزایش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- مقایسه میانگین اثر شرایط نگهداری بر درصد اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Figure 2. Means comparison of storage conditions effects on *Satureja mutica* essential oil percentage

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



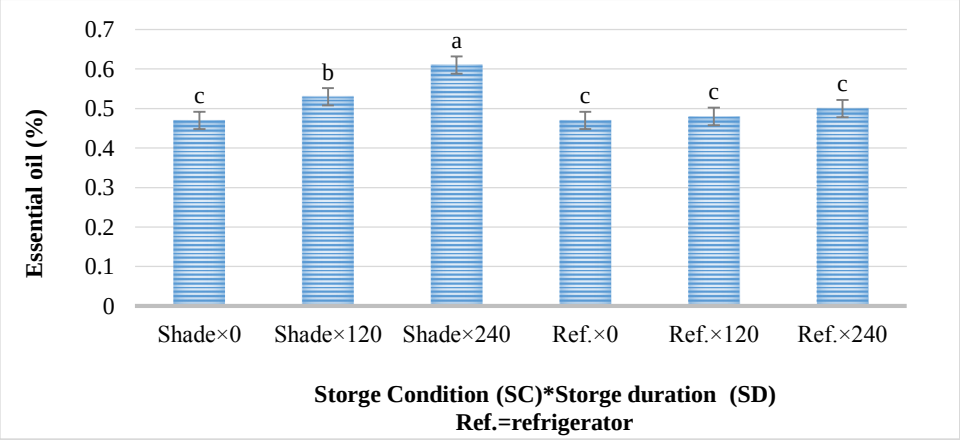
شکل ۳- مقایسه میانگین اثر مدت نگهداری بر درصد اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Table 3. Means comparison of storage time effects on*Satureja mutica* essential oil percentage

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

مشاهده شد که با نگهداری گیاهان، درصد اسانس استخراجی از گیاه از ۰/۴۷٪ به ۰/۵۶٪ افزایش پیدا کرد (شکل ۳).

مقایسه میانگین اثر شرایط نگهداری (SC) در مدت نگهداری (ST) بر درصد اسانس مرزه موتیکا نشان داد که بیشترین درصد مربوط به تیمار نگهداری در سایه به مدت ۲۴۰ ساعت با میانگین ۰/۶۱٪ بود (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل شرایط نگهداری × مدت نگهداری بر درصد اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Figure 4. Means comparison of storage conditions × storage time interactions on *Satureja mutica* essential oil percentage

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

مقایسه میانگین اثر متقابل سه‌گانه مدت زمان تابش (UV-B) در شرایط نگهداری (SC)، در مدت نگهداری (ST) بر ترکیبات اسانس مرزه موتیکا نشان داد که درصد پارا-سیمن در دو تیمار، اثر متقابل بدون پرتودهی× نگهداری در سایه× نگهداری به مدت ۱۲۰ ساعت در سایه و اثر متقابل بدون پرتودهی× نگهداری ۱۲۰ ساعت× در یخچال به‌ترتیب با ۴۶٪ و ۴۵٪ بالاترین بودند (جدول ۲). درصد ترکیب تیمول در شرایط بدون پرتودهی×یخچال×بدون انبارداری با ۴۵٪ بیشترین بود. وضعیت کارواکرول تقریباً متفاوت از دو ترکیب عمده دیگر بود، زیرا درصد این ترکیب در تیمار اثر متقابل ۱۰ ساعت پرتودهی×۱۲۰ ساعت نگهداری× در شرایط سایه بود که بیشترین درصد را داشت (جدول ۲).

نتایج همبستگی ساده صفات تحت تأثیر مدت زمان تابش (UV-B) در شرایط نگهداری (SC)، در مدت نگهداری (ST) بر ترکیبات اسانس مرزه موتیکا نشان داد که پارا-سیمن با ترکیبات پیش‌ساز خود (آلفا-توجون، آلفا-پینن و آلفا-ترپینن) همبستگی منفی معنی‌دار داشت (جدول ۳). همچنین این ترکیب با سیس سابنین هیدرات، کارواکرول و بتا-بیسابولن همبستگی منفی معنی‌دار و با کارواکرول متیل اتر و کاریوفیلن اکساید همبستگی مثبت معنی‌دار داشت. مشاهده شد که تیمول با ترکیبات آلفا-توجون، آلفا-ترپینن و کارواکرول رابطه منفی معنی‌دار داشت. کارواکرول با هر دو ترکیب عمده پارا-سیمن و تیمول همبستگی منفی معنی‌دار نشان داد.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر مدت زمان تابش **UV-B** (**U**)، شرایط (**SC**) و مدت نگهداری (**ST**) بر محتوی و درصد ترکیبات اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Table 1. ANOVA of UV-B radiation duration (U), conditions (SC) and storage duration (ST) effects on content and *Satureja mutica* essential oil compounds percentage

S.O.V.	d.f.	Essential oil content	α-thujene	α-pinene	α-terpinene	*p*-cymene	*cis*-sabinene hydrate	Borneol	Carvacrol methyl ether	Thymol	Carvacrol	*E*-caryophyllene	β-bisabolene	Caryophyllene oxide
U	3	0.32**	0.46**	0.01*	12.83**	1701.00**	0.83**	0.06**	7.24**	338.00**	3664.00**	0.33**	0.09**	4.35**
SC	1	0.06**	0.02*	0.05**	10.84**	174.00**	0.19**	0.01^{ns}	0.14**	49.40**	11.00**	0.32**	0.06**	3.21**
ST	2	0.04**	0.74**	0.12**	13.31**	261.00**	0.02*	0.01^{ns}	0.11**	167.00**	1.69*	0.02^{ns}	0.06**	0.28**
U×SC	3	0.01^{ns}	0.16**	0.03**	11.83**	62.60**	0.02*	0.02*	0.39**	89.70*	17.80**	0.29**	0.01^{ns}	0.01^{ns}
U×ST	6	0.00^{ns}	0.12**	0.04**	13.24**	94.50**	0.10**	0.03**	0.63**	22.10**	48.50**	0.28**	0.05**	0.014**
SC×ST	2	0.01*	0.03*	0.01*	11.31**	26.40**	0.03*	0.01^{ns}	0.01^{ns}	52.20**	2.70**	0.11**	0.04**	0.35**
U×SC×ST	6	0.00^{ns}	0.07**	0.01*	11.43**	88.80**	0.10**	0.01*	0.27**	40.35**	14.20**	0.22**	0.04**	0.10**
Experimental error	48	0.00	0.01	0.01	0.01	0.35	0.01	0.01	0.01	0.30	0.49	0.02	0.01	0.01
C.V. (%)	-	11.80	9.30	14.87	8.50	4.50	12.40	20.00	8.35	3.40	2.50	10.80	13.90	11.70

ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان تابش **UV-B** (**U**) × شرایط نگهداری (**SC**) × مدت نگهداری (**ST**) بر درصد ترکیبات اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Table 2. Means comparison of UV-B radiation duration (U) × storage conditions (SC) × storage duration (ST) interactions on *Satureja mutica* essential oil compounds percentage

TS (hour)	SC	U (hour)	α-thujene	α-pinene	α-terpinene	*p*-cymene	*cis*-sabinene hydrate	Borneol	Carvacrol methyl ether	Thymol	Carvacrol	*E*-caryophyllene	β-bisabolene	Caryophyllene oxide
0	Shade	0	0.7^{fg}	0.4^{e-h}	0.6^{e-h}	41.9^{c}	0.3^{l}	0.6^{ab}	2.1^{de}	26.9^{gh}	7.1^{j}	1.2^{efg}	0.3^{i}	1.4^{cd}
12	Shade	0	0.6^{gh}	0.4^{e-h}	0.7^{d-g}	46.3^{a}	0.6^{h-k}	0.7^{a}	2.3^{cd}	27.1^{gh}	7^{j}	1.3^{def}	$0.5f^{ghi}$	1.6^{bc}
240	Shade	0	0.6^{gh}	0.5^{d-h}	0.6^{e-h}	43.3^{b}	0.5^{jk}	0.4^{bcdef}	2.4^{bc}	26.7^{gh}	6.8^{j}	1.7^{bc}	0.5^{e-h}	1.7^{b}
0	Ref.	0	0.6^{gh}	0.5^{de-h}	0.6^{e-h}	18.8^{hij}	0.8^{d-g}	0.6^{ab}	3^{a}	45.8^{a}	11.8^{h}	1.7^{bc}	0.7^{a-e}	2.3^{a}
120	Ref.	0	0.7^{gh}	0.4^{e-h}	0.6^{e-h}	45.8^{a}	0.5^{ijk}	0.4^{b-f}	2.6^{b}	26.6^{hi}	6.4^{j}	1.2^{efg}	0.5^{f-i}	1.4^{cd}
240	Ref.	0	0.8^{ef}	0.5^{d-h}	0.6^{e-h}	42.8^{bc}	0.4^{kl}	0.4^{b-f}	2.5^{b}	31.9^{bc}	9.2^{i}	1.5^{cd}	0.4^{f-i}	1.3^{de}
0	Shade	2.5	0.6^{gh}	0.3^{ghi}	0.7^{d-g}	19.2^{g-j}	1.3^{a}	0.5^{abc}	2.1^{de}	28.2^{ef}	34.8^{ef}	1.8^{ab}	0.8^{ab}	1.1^{f}
120	Shade	2.5	1.1^{cd}	0.5^{d-h}	10.7^{a}	25.5^{e}	0.9^{cd}	0.3^{f}	1.7^{f}	20.6^{m}	32.2^{g}	1.3^{def}	0.6^{e-h}	0.9^{g}
240	Shade	2.5	1.3^{a}	0.6^{ab}	0.8^{de}	22.2^{f}	0.7^{g-j}	0.5^{abc}	0.7^{k}	25.2^{jk}	41.4^{b}	0.95^{g}	0.4^{hi}	0.6^{jkl}
0	Ref.	2.5	0.6^{fg}	0.3^{ghi}	0.7^{d-g}	19.6^{ghi}	1.2^{ab}	0.5^{abc}	1.9^{e}	28.9^{e}	33.6^{f}	1.8^{ab}	0.9^{a}	1.2^{ef}
120	Ref.	2.5	1.0^{d}	0.5^{d-h}	1.1^{b}	21.5^{f}	1.1^{b}	0.5^{abc}	1.5^{fg}	25.5^{jk}	35.1^{e}	1.7^{bc}	0.6^{c-g}	0.8^{ghi}
240	Ref.	2.5	0.7^{fg}	0.3^{ghi}	0.8^{de}	18.7^{ij}	1^{bc}	0.5^{abc}	1.5^{fg}	25.7^{ij}	37.5^{d}	2.1^{a}	0.7^{a-e}	0.7^{hij}
0	Shade	5	0.8^{ef}	0.4^{e-h}	1.1^{b}	16.5^{m}	0.5^{ijk}	0.4^{b-f}	0.9^{ijk}	31.3^{bcd}	36^{e}	1^{fg}	0.5^{f-i}	0.4^{m}
120	Shade	5	1.1^{bcd}	0.5^{d-h}	1.1^{b}	22.1^{f}	0.6^{h-k}	0.3^{f}	0.9^{ijk}	32.2^{b}	31.3^{g}	1.5^{cd}	0.6^{e-h}	0.5^{klm}
240	Shade	5	1.1^{bcd}	0.5^{d-h}	0.9^{cd}	21.4^{f}	0.8^{def}	0.3^{f}	1.1^{ij}	30.6^{d}	32.3^{g}	1.4^{cd}	0.8^{ab}	0.5^{klm}
0	Ref.	5	1.0^{de}	0.6^{ab}	1.1^{b}	16.9^{lm}	0.7^{g-j}	0.4^{b-f}	0.8^{jk}	31.3^{bcd}	35.9^{e}	1.2^{efg}	0.6^{c-g}	0.4^{m}
120	Ref.	5	1.2^{abc}	0.6^{ab}	1.2^{b}	16.1^{m}	0.7^{g-j}	0.4^{b-f}	1.1^{hi}	27.7^{fg}	37.4^{d}	1.4^{de}	0.7^{a-e}	0.4^{m}
240	Ref.	5	1.2^{abc}	0.6^{ab}	1.2^{b}	17.6^{kl}	0.5^{ijk}	0.4^{b-f}	0.8^{jk}	31^{cd}	34.7^{ef}	1.3^{de}	0.6^{c-g}	0.4^{m}
0	Shade	10	0.5^{h}	0.2^{i}	0.8^{de}	19.9^{gh}	0.5^{ijk}	0.3^{f}	1.3^{gh}	24.6^{k}	39.2^{c}	1.3^{de}	0.8^{ab}	0.7^{hij}
120	Shade	10	0.6^{gh}	0.4^{e-h}	0.6^{e-h}	18.3^{jk}	0.8^{def}	0.4^{b-f}	1.1^{ij}	22.8^{l}	43.3^{a}	1.5^{cd}	0.6^{c-g}	0.9^{g}
240	Shade	10	1.1^{cd}	0.6^{ab}	0.8^{de}	27.5^{d}	0.8^{d-g}	0.5^{abc}	2.1^{de}	20.7^{m}	35.4^{e}	1.1^{efg}	0.5^{f-i}	0.9^{g}
0	Ref.	10	0.5^{gh}	0.3^{ghi}	0.7^{d-g}	20.2^{g}	0.7^{g-j}	0.3^{f}	1.2^{hi}	24.6^{k}	38.3^{cd}	1.5^{cd}	0.9^{a}	0.8^{ghi}
120	Ref.	10	0.1^{cd}	0.6^{ab}	0.8^{d-g}	22.3^{f}	0.9^{cd}	0.4^{b-f}	1.1^{ij}	19.1^{n}	40.8^{b}	1.3^{def}	0.5^{f-i}	0.7^{hij}
240	Ref.	10	1.3^{ab}	0.7^{a}	0.8^{d-g}	26.3^{e}	0.9^{cd}	0.5^{abc}	1.6^{fg}	19^{n}	35.4^{e}	1.1^{efg}	0.6^{c-g}	0.8^{ghi}

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

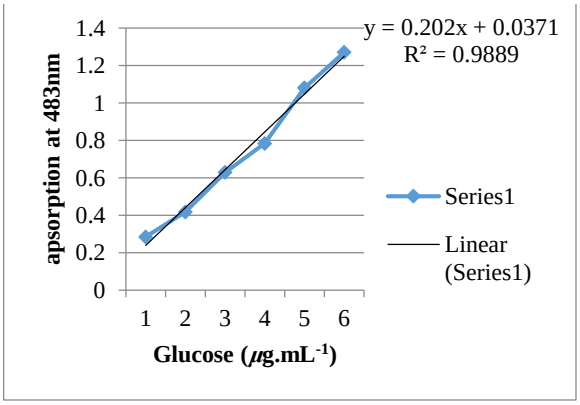
جدول ۳- همبستگی ترکیبات اسانس مرزه موتیکا (***Satureja mutica***) تحت تأثیر مدت زمان تابش **UV-B** × شرایط نگهداری × مدت نگهداری

Table 3. *Satureja mutica* essential oil compounds correlation under UV-B radiation duration × storage conditions × storage duration

	α-thujene	**α-pinene**	**α-terpinene**	***p*-cymene**	***cis*-sabinene hydrate**	**Borneol**	**Carvacrol methyl ether**	**Thymol**	**Carvacrol**	***E*-caryophyllene**	**B-bisabolene**	**Caryophyllene oxide**
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1											
2	0.79^{**}	1										
3	0.23^{*}	0.06^{ns}	1									
4	-0.23^{*}	-0.02^{ns}	-0.05^{ns}	1								
5	0.04^{ns}	0.08^{ns}	0.13^{ns}	-0.48^{**}	1							
6	-0.16^{ns}	0.06^{ns}	-0.3^{**}	0.21^{*}	$.018^{ns}$	1						
7	-0.47^{**}	-0.15^{ns}	-0.03^{ns}	0.64^{**}	-0.07^{ns}	0.38^{**}	1					
8	-0.19^{*}	-0.13^{ns}	-0.024^{*}	-0.1^{ns}	-0.17^{ns}	0.13^{ns}	0.27^{*}	1				
9	0.36^{**}	0.08^{ns}	0.09^{ns}	-0.85^{**}	0.48^{**}	-0.29^{*}	-0.78^{**}	-0.37^{**}	1			
10	-0.35^{**}	-0.31^{**}	-0.1^{ns}	-0.16^{ns}	0.53^{**}	0.13^{ns}	0.25^{*}	0.26^{*}	-0.01^{ns}	1		
11	-0.14^{ns}	-0.15^{ns}	-0.05^{ns}	-0.5^{**}	0.57^{**}	-0.03^{ns}	-0.11^{ns}	0.11^{ns}	0.39^{**}	0.54^{**}	1	
12	-0.54^{**}	-0.18^{ns}	-0.07^{ns}	0.59^{**}	-0.08^{ns}	0.46^{**}	0.87^{**}	0.36^{**}	-0.078^{**}	0.26^{*}	-0.07^{ns}	1

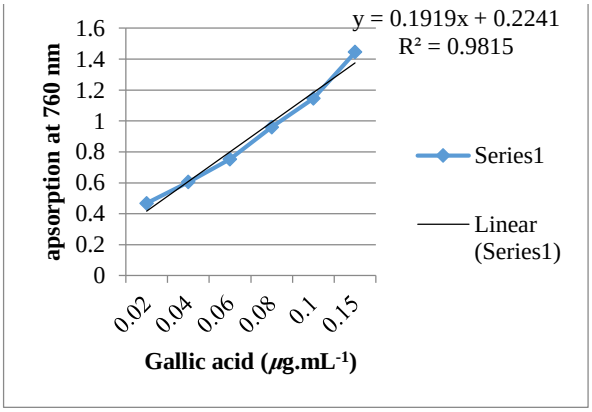
ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively

صفات فیزیولوژیک عصاره اتانولی مرزه موتیکا شامل میزان کربوهیدرات، فنل و مهار رادیکال DPPH طبق روش Mashayekhi و Atashi (۲۰۱۶) اندازه‌گیری شد. منحنی کالیبراسیون نمونه‌های استاندارد مربوط در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. میزان کربوهیدرات برحسب میکروگرم گلوکز در میلی‌لیتر عصاره و محتوای تام فنولی عصاره براساس میکروگرم گالیک اسید در گرم عصاره در جدول‌های ۴ و ۵ گزارش شد.



شکل ۵- منحنی استاندارد گلوکز (محاسبه کربوهیدرات)

Figure 5. Standard curve of glucose (calculation of carbohydrates)



شکل ۶- منحنی استاندارد اسید گالیک (محاسبه فنل)

Figure 6. Standard curve of gallic acid (calculation of phenol)

نتایج حاصل از تجزیه صفات فیزیولوژیک تحت تأثیر اشعه UV-B و سایر عامل‌ها نشان داد که اثر عامل UV-B بر فنل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. شرایط نگهداری، مدت نگهداری، اثر متقابل SC×ST و اثر متقابل سه‌گانه (UV×SC×TS) بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات در سطح ۱٪ معنی‌دار شدند. اثر متقابل عامل‌های UV×SC و UV×ST بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی و کربوهیدرات معنی‌دار بود (جدول ۴).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقدار فنل در تیمار ۲/۵ ساعت پرتودهی UV-B نسبت به بقیه تیمارها افزایش داشت و بین بقیه تیمارها اختلاف آماری وجود نداشت (جدول ۵). همچنین مشاهده شد که بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی از تیمار تابش ۱۰ ساعت UV-B بدست آمد و نیز دیده شد که با افزایش مدت زمان تابش از ۲/۵ ساعت به ۵ و ۱۰ ساعت از میزان کربوهیدرات کاسته شد.

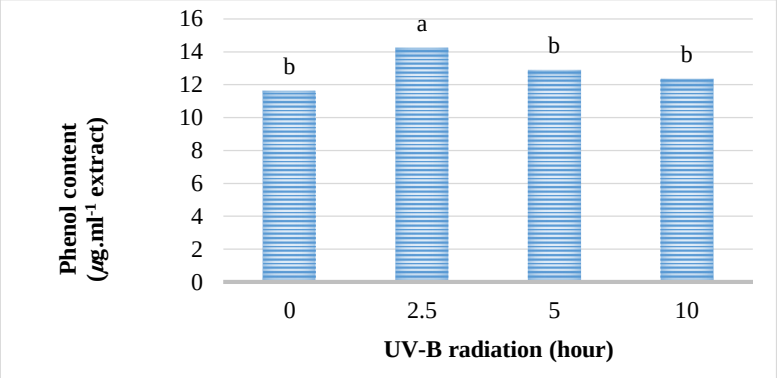
جدول ۴- تجزیه واریانس اثر مدت زمان تابش **UV-B** (**U**)، شرایط (**SC**) و مدت نگهداری (**ST**) بر صفات فیزیولوژیک مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Table 4. ANOVA of UV-B radiation duration (U), conditions (SC) and storage duration (ST) effects on *Satureja mutica* physiological traits

S.O.V.	d.f.	Phenol	DPPH	Carbohydrate
U	3	21.7^{**}	1749^{**}	14.98^{**}
SC	1	0.11^{ns}	2026^{**}	1.77^{ns}
ST	2	2.29^{ns}	972^{**}	0.16^{ns}
U×SC	3	4.46^{ns}	857^{**}	6.47^{**}
U×ST	6	4.25^{ns}	389^{**}	3.23^{**}
SC×ST	2	3.21^{ns}	336^{**}	6.3^{**}
U×SC×ST	6	6^{ns}	171^{**}	2.1^{*}
Experimental error	48	3.24	2.01	0.71
C.V. (%)	-	14.1	4.5	14.8

ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively

مقایسه میانگین اثر اشعه UV-B بر میزان فنل نشان داد افزایش داشت (شکل ۷).
که مقدار آن در تیمار ۲/۵ ساعت نسبت به بقیه تیمارها



شکل ۷- مقایسه میانگین اثر مدت زمان تابش **UV-B** بر محتوی فنل مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Figure 7. Means comparison of UV-B radiation duration effects on phenol content of *Satureja mutica*
Means with common letters are in the same statistical group at 5% probability level (LSD test).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل مدت زمان تابش **UV-B** (**U**) × شرایط نگهداری (**SC**) × مدت نگهداری (**ST**) بر صفات فیزیولوژیک مرزه موتیکا (***Satureja mutica***)

Table 5. Means comparison of UV-B radiation duration (U) × storage conditions (SC) × storage duration (ST) interactions on *Satureja mutica* physiological traits

ST (hour)	SC	U (hour)	DPPH (%)	Carbohydrte content ($\mu g.ml^{-1}$ extract)
0	Shade	0	35.19^{p}	8.84^{a}
120	Shade	0	35.97^{op}	7.35^{bc}
240	Shade	0	38.15^{no}	6.22^{cd}
0	Refrigerator	0	50.26^{kl}	5.69^{def}
120	Refrigerator	0	51.4^{jkl}	5.16^{def}
240	Refrigerator	0	53.33^{ij}	5.9^{cde}
0	Shade	2.5	60^{ef}	8.5^{ab}
120	Shade	2.5	52.1^{jk}	6.38^{cd}
240	Shade	2.5	55.02^{hi}	5.52^{def}
0	Refrigerator	2.5	57.17^{gh}	5.32^{def}
120	Refrigerator	2.5	57.88^{fg}	6.73^{cd}
240	Refrigerator	2.5	58.99^{efg}	6.62^{cd}
0	Shade	5	49.23^{l}	4.41^{ef}
120	Shade	5	50^{kl}	4.18^{f}
240	Shade	5	77.23^{c}	5.25^{def}
0	Refrigerator	5	61.22^{e}	5.33^{def}
120	Refrigerator	5	55.23^{hi}	4.03^{f}
240	Refrigerator	5	51.16^{jkl}	5.61^{def}
0	Shade	10	40.29^{mn}	4.1^{f}
120	Shade	10	41.17^{m}	5.5^{def}
240	Shade	10	81.19^{b}	4.47^{ef}
0	Refrigerator	10	77.23^{c}	4.35^{ef}
120	Refrigerator	10	73.02^{d}	5.87^{cde}
240	Refrigerator	10	96.007^{a}	6.34^{cd}

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

مقایسه میانگین اثر سه‌گانه مدت زمان تابش (UV-B) در شرایط نگهداری (SC)، در مدت نگهداری (ST) بر خصوصیات فیزیولوژیک مرزه موتیکا نشان داد که بیشترین درصد فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار ۱۰ ساعت پرتودهی×نگهداری در یخچال×۲۴۰ ساعت انبارداری حاصل شد. بیشترین کربوهیدرات در شرایط بدون پرتودهی×شرایط سایه×بدون نگهداری بدست آمد (جدول ۵).

نتایج همبستگی ساده صفات تحت تأثیر مدت زمان تابش (UV-B) در شرایط نگهداری (SC)، در مدت نگهداری (TS) بر صفات فیزیولوژیک مرزه موتیکا نشان داد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی با میزان فنل رابطه مثبت معنی‌دار در سطح ۵٪ داشت (جدول ۶).

جدول ۶- همبستگی صفات فیزیولوژیک مرزه موتیکا (***Satureja mutica***) تحت تأثیر

مدت زمان تابش **UV-B** × شرایط نگهداری × مدت نگهداری

Table 6- *Satureja mutica* physiological traits correlation under UV-B radiation duration × storage conditions × storage duration

	Phenol content	**DPPH**	**Carbohydrate content**
Phenol content	1		
DPPH	0.19^{*}	1	
Carbohydrate content	0.008^{ns}	-0.14^{ns}	1

ns, *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively

بحث

به‌طور کلی، زمانی که در یک پروژه تحقیقاتی بین تیمارها اختلاف آماری مشاهده می‌شود، یعنی پیش‌فرض تأثیرگذاری تیمارها برای انجام تحقیق به درستی تعریف شده است، بنابراین با توجه به معنی‌داری تیمارها در تمامی صفات مورد بررسی، می‌توان به اهمیت موضوع و انتخاب درست آن پی‌برد. همچنین نتایج نشان‌دهنده لزوم پرداختن به مسئله پس از برداشت و امکان افزایش کیفیت گیاهان را بعد از برداشت نشان می‌دهد (جدول‌های ۱ و ۲). نتایج شکل ۱ نشان داد با افزایش طول مدت تابش اشعه UV-B در مراحل خشک کردن، درصد اسانس افزایش یافت، این نتیجه تأییدکننده آن است که میزان استخراج اسانس در گیاه خشک شده بیشتر از گیاه تر می‌باشد. به نظر نمی‌رسد این افزایش درصد به‌دلیل مسئله خشک شدن و یا تأثیر مثبت UV-B باشد، بنابراین نتایج این مطالعه، عدم مطابقت با نتایج تحقیقات Nazari و Zarinkamar (2020) و Ning و همکاران (2012) را نشان داد. در تیمار پرتودهی ۲/۵ ساعت، کاهش اندک در درصد اسانس مشاهده شد که با نتایج (Takshak & Agrawal, 2015) تطابق داشت. نتایج جدول ۲ نشان داد که با تابش اشعه UV-B در مراحل خشک کردن، تبدیل ترکیبات اتفاق می‌افتد و از مقدار پارا–سیمن و تیمول کاسته شده و بر میزان کارواکرول افزوده می‌شود (جدول ۲). بنابراین در گیاهانی مانند مرزه موتیکا که هر دو ترکیب تیمول و کارواکرول را دارند، استفاده از تیمارهای خشک کردن با هدف افزایش ترکیب خاص، می‌تواند بسیار مؤثر و مفید باشد. بنابراین در صورت نیاز به داشتن گیاهانی با ترکیبات پارا–سیمن و تیمول بالا نیازی به استفاده از اشعه UV-B نبوده و پیشنهاد نمی‌شود، اما در صورت نیاز به کارواکرول بالا همان‌طوری که در جدول ۲ مشخص است، استفاده از UV-B می‌تواند بیش از چند درصد افزایش کارواکرول را به همراه داشته باشد. کمبود امکانات استخراج اسانس گیاهان دارویی و افزایش درصد اسانس در گیاهان خشک شده به دلیل افزایش درصد استخراج نسبت به گیاه تر از دلایل اصلی خشک کردن گیاهان دارویی پس از برداشت می‌باشد، اما بایستی علاوه بر درصد اسانس، کیفیت اسانس استخراج شده هم مورد

توجه قرار گیرد. همین‌طور در بررسی اثر شرایط نگهداری بر ترکیبات اسانس مشاهده شد که در صورت نگهداری گیاهان برداشت شده در یخچال (گیاه تر و تازه)، مقدار تیمول و کارواکرول نسبت به نگهداری در سایه و دمای اتاق (گیاه در حال خشک شدن) افزایش داشت، به‌عبارتی در صورت نگهداری گیاه در سایه، تیمول و کارواکرول آن در مرحله خشک شدن از بین خواهد رفت (جدول ۲)، بنابراین مقدار این دو ترکیب در مرحله خشک شدن ممکن است نسبت به گیاه تر و تازه کاهش یابد و برای حفظ کیفیت اسانس باید به این موضوع توجه شود. بررسی جدول ۲ نشان داد که مدت نگهداری (TS) نیز تأثیر به‌سزایی بر ترکیبات اسانس داشت، به‌طوری که با نگهداری گیاهان از مقدار تیمول و کارواکرول کاسته شد، این موضوع تأییدی بر نتایج حاصل از شرایط نگهداری است. بنابراین به‌نظر می‌رسد در گیاه مرزه موتیکا، کیفیت ترکیبات فنلی در اسانس حاصل از گیاه تر و تازه بهتر می‌باشد، هر چند مقدار ترکیبات فنلی که متأثر از درصد اسانس می‌باشد می‌تواند متفاوت باشد. بررسی اثر متقابل تیمارها به محقق امکان تجزیه‌وتحلیل بهتر تیمارها را می‌دهد تا بتوان تیمارهای کاربردی را به درستی تعیین و معرفی کرد، به‌طوری که اثر متقابل مدت زمان تابش UV-B در شرایط نگهداری (SC) (جدول ۴) نشان داد برای داشتن پارا–سیمن بالا، تیمار سایه خشک×بدون استفاده از UV-B مناسب می‌باشد، اما برای داشتن تیمول بالا، تیمار آفتاب خشک×بدون پرتودهی مناسب است و برای کارواکرول بالا، پرتودهی ۱۰ ساعت و نگهداری در شرایط سایه توصیه می‌شود. بررسی اثر مدت زمان تابش (UV-B) در مدت نگهداری (TS) مؤید آن است که مقدار تیمول در تیمار شاهد، یعنی بدون پرتودهی×بدون نگهداری بیشترین بود. اما بیشترین کارواکرول از تیمار بیشترین مدت پرتودهی و بیشترین مدت نگهداری (۱۰ ساعت پرتودهی×۱۲۰ ساعت نگهداری) حاصل می‌شود (جدول ۲). همچنین مشاهده شد که برای داشتن پارا–سیمن بالا دو تیمار اثر متقابل بدون پرتودهی×نگهداری در سایه×نگهداری به مدت ۱۲۰ ساعت در سایه و اثر متقابل بدون پرتودهی×نگهداری ۱۲۰ ساعت×در یخچال مناسب‌تر از بقیه تیمارها بوده و قابل توصیه هستند (جدول ۲). همچنین تیمول در شرایط بدون پرتودهی×یخچال×بدون انبارداری مناسب‌ترین تیمار بود و کارواکرول در تیمار ۱۰ ساعت پرتودهی×۱۲۰ ساعت نگهداری×در شرایط سایه بیشترین درصد را داشت. علت رابطه منفی بین پارا–سیمن با ترکیبات پیش‌ساز خود (آلفا–توجون، آلفا–پینن و آلفا–ترپینن) می‌تواند به دلیل تبدیل پیش‌سازها به پارا–سیمن باشد (جدول ۳)، همین‌طور رابطه منفی بین پارا–سیمن با کارواکرول، احتمال تبدیل بیشتر آن به کارواکرول را تأیید می‌کند. افزایش مقدار فنل در تیمار ۲/۵ ساعت پرتودهی UV-B نشان می‌دهد که در گیاهان تازه برداشت شده که به لحاظ فیزیولوژیکی هنوز سلول‌های گیاهی زنده هستند، گیاه نسبت به پرتودهی واکنش نشان داده و در راستای خنثی کردن اثر تنش ناشی از پرتودهی مقدار فنل خود را افزایش می‌دهد. آنزیم فنیل‌آلانین آمونیالیاز (PAL) و تیروزین آمونیالیاز (TAL) از مهمترین آنزیم‌های حد واسط بین متابولیسم اولیه و ثانویه در گیاهان هستند و آغازگر مسیر فنیل پروپانوئید می‌باشند که L فنیل‌آلانین را با دی‌آمیناسیون به ترانس سینامیک اسید و تیروزین آمونیالیاز (TAL) را به P–کوماریک اسید تبدیل می‌کند. این مسیر اصلی بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه در سلول است که سبب تولید متابولیت‌هایی مانند کومارینها، اسانسها، فلاونوئیدها، لیگنین، تانن و سایر ترکیبات فنلی می‌شود (Taiz & Zeiger, 2006). نتایج تحقیقات ما در این زمینه با تحقیقات Kumari (۲۰۱۰) مطابقت نشان داد. در مطالعه‌ای گزارش شد که تابش UV-B یک تنش محیطی جدی است که تولید گونه‌های اکسیژن فعال مانند رادیکال‌های سوپراکسید، هیدروژن پراکسید، اکسیژن منفرد و رادیکال‌های هیدروکسیل را زیاد می‌کند (He & Häder, 2002) که نتایج آنان مشابه نتایج این تحقیق می‌باشد. افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار تابش ۱۰ ساعت UV-B تأییدکننده زنده بودن سلول‌های گیاهی و تلاش آنها برای جلوگیری از تنش‌های محیطی

حاکم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد که این بخش از نتایج با مشاهدات Indrajith و Ravindran (۲۰۰۹) مطابقت داشت. کاهش میزان کربوهیدرات با طول دوره پرتودهی، نشان از مصرف قندهای تولیدی در اثر تنفس گیاه می‌باشد. بررسی تأثیر شرایط و مدت نگهداری نشان داد که این دو تیمار بر صفات فیزیولوژیک خیلی تأثیرگذار نبودند. گیاهان به این تنش اکسیدانی، با فعال کردن متابولیسم آنتی‌اکسیدانی مانند فعال‌سازی آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز پاسخ می‌دهند و فعالیت این آنزیم‌ها منجر به جاروب کردن ROS شده و از اسیدهای نوکلئیک، لیپیدها و پروتئین‌ها محافظت می‌شود (Zu *et al.*, 2010). همچنین ترکیباتی مانند فنل‌ها و فلاونوئیدها به صورت ترکیبات جذب‌کننده UV در گیاه عمل کرده تا از آسیب ایجاد شده توسط UV جلوگیری شود (Tegelberg *et al.*, 2001). این ترکیبات همچنین نقش حفاظتی در برابر پاتوژن‌ها ایفاء می‌کنند (Hagen *et al.*, 2007). وجود همبستگی مثبت معنی‌دار بین آنتی‌اکسیدانی با میزان فنل نشان می‌دهد که هر دو صفت برای مقابله با تنش در سلول‌های زنده فعال می‌شوند (جدول ۶).

به‌طور کلی مشاهده شد که در اثر افزایش طول مدت تابش اشعه UV-B در مراحل خشک کردن، درصد اسانس افزایش یافت. مشاهده شد که با تابش اشعه UV-B در مراحل خشک کردن، تبدیل ترکیبات اتفاق می‌افتد و از مقدار پارا–سیمن و تیمول کاسته شده و بر میزان کارواکرول افزوده می‌شود. بنابراین در گیاهانی مانند مرزه موتیکا که هر دو ترکیب تیمول و کارواکرول را دارند، استفاده از تیمارهای خشک کردن با هدف افزایش ترکیب خاص، می‌تواند بسیار مؤثر و مفید باشد. در بررسی اثر شرایط نگهداری بر ترکیبات اسانس، مشاهده شد که در صورت نگهداری گیاهان برداشت شده در یخچال (گیاه تر و تازه)، مقدار تیمول و کارواکرول نسبت به نگهداری در سایه و دمای اتاق (گیاه در حال خشک شدن) افزایش یافت. بنابراین مقدار این دو ترکیب در مرحله خشک شدن ممکن است نسبت به گیاه تر و تازه کاهش یابد و برای حفظ کیفیت اسانس باید به این موضوع توجه شود. همچنین، با نگهداری گیاهان از مقدار تیمول و کارواکرول کاسته شد. افزایش میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی در تیمار تابش ۱۰ ساعت UV-B تأییدکننده زنده بودن سلول‌های گیاهی و تلاش آنها برای جلوگیری از تنش‌های محیطی حاکم از طریق افزایش آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان می‌باشد.

References

- Abbaszadeh, B., Layeghhaghighi, M., Asadi Sanam, S., Normand Movayied, F., Ahmadi, Sh., Safaei, L., Davazdahemami, S. and Karimzadeh, K., 2017. The effect of different nutrition treatments on growth and yield of some Satureja species in irrigation conditions in 6 provinces of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, PROJECTH/ RESEARCH NO: 01-09-09-9554-9500, 298p.
- Adams, R.P., 2017. Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography-Mass Spectroscopy. 4nd edn. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, Illinois, 804p.
- Blose, N. and Cusick, D., 1993. Herb drying handbook: includes complete microwave drying instructions. Sterling Publishing Copany Inc., New York, 96p.
- Dıaz, G.R., Martınez-Monzo, J., Fito, P. and Chiralt, A., 2003. Modelling of dehydration-rehydration of orange slices in combined microwave/air drying. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 4(2): 203-209.
- Drouzas, A., Tsami, E. and Saravacos, G., 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. Journal of Food Engineering, 39(2): 117-122.
- Gohari, A.R., Hadjiakhoondi, A., Shafiee, A., Ebrahimi, E.S. and Mozaffarian, V., 2005. Chemical Composition of the Essential Oils of *Satureja atropatana* and *Satureja mutica* Growing Wild in Iran. Journal of Essential Oil Research, 17: 17-18.
- Gupta, M., Dubey, A.K., Kumar, V. and Mehta, D.S., 2019. Solar concentrator based multipurpose sunlight harvesting system without tracking. OSA Continuum, 2: 667-676.
- Hagen, S.F., Borge, G.I.A., Bengtsson, G.B., Bilger, W., Berge, A., Haffner, K. and Solhaug, K.A., 2007. Phenolic contents and other health and sensory related properties of apple fruit (*Malus domestica* Borkh., cv. Aroma): Effect of postharvest UV-B irradiation. Postharvest Biology and Technology, 45: 1-10.
- Hagh, L.G., Arefian, A., Farajzade, A., Dibazar, S. and

Straw in Different Plant Densities. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 50(21): 2683-2693.
- Sefidkon, F. and Jamzad, Z., 2005. Chemical composition of the essential oil of three Iranian *Satureja* species (*S. mutica*, *S. macrantha* and *S. intermedia*). Food chemistry, 91: 1-4.
- Takshak, S. and Agrawal, S.B., 2015. The role of supplemental Ultraviolet-B radiation in altering the metabolite profile, essential oil content and composition, and free radical scavenging activities of *Coleus forskohlii*, an indigenous medicinal plant. Environmental Science and Pollution Research, DOI: 10.1007/s11356-015-5965-6.
- Taiz, L. and Zeiger, E., 2006. Plant physiology (Third edition). Sinauer Associates, Inc., 690p.
- Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R. and Aphalo, P.J., 2001. The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch (*Betula pendula*). Global Change Biology, 7: 839-848.
- Wendakoon, C., Calderon, P. and Gagnon, D., 2012. Evaluation of selected medicinal plants extracted in different ethanol concentrations for antibacterial activity against human pathogens. Journal of Medicinally Active Plants, 1: 60-68.
- Xu, Y., Charles, M.T., Luo, Z., Mimee, B., Tong, Z., Véronneau, P.Y., Roussel, D. and Rolland, D., 2019. Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent Mycosphaerella fragariae infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes. Plant, Cell & Environment, 42: 815-831.
- Yazdani, D., Shahnazi, S., Jamshidi, A., Rezazadeh, S. and Mojab, F., 2006. Study on variation of essential oil quality and quantity in dry and fresh herb of Thyme and Tarragon. Journal of Medicinal Plants, 1(17): 7-15.
- Zargani Nejad, R., Moghimipour, E. and Fakoor, M.H., 2019. Evaluation of Satureja rechingeri Essential Oil on Growth Manufacture by Two Fungi *Aspergillus parasiticus* and *Aspergillus flavus*. Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products, 14(2): e57323.
- Zu, Y.G., Pang, H.H., Yu, J.H., Li, D.W., Wei, X.X., Gao, Y.X. and Tong, L., 2010. Responses in the morphology, physiology and biochemistry of *Taxus chinensis* var. *mairei* grown under supplementary UV-B radiation. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 98: 152-158.

Samiea, N., 2019. The antibacterial activity of "*Satureja hortensis*" extract and essential oil against oral bacteria. Dental research journal1, 6: 153.
- He, Y.Y. and Häder, D.P., 2002. Involvement of reactive oxygen species in the UV-B damage to the cyanobacterium Anabaena Sp. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 66: 73-80.
- Indrajith, A. and Ravindran, K.C., 2009. Antioxidant potential of Indian medicinal plant *Phyllanthus amarus* L. Under supplementary uv-b radiation. Recent Research in Science and Technology, 1(1): 034-042.
- Kumari, R., Singh, S. and Agrawal, S.B., 2010. Response of Ultraviolet-B induced antioxidant defense system in a medicinal plant, Acorus calamus. Journal of Environmental Biology November, 31(6): 907-911.
- Lawrence, B.M., 2000. Progress in essential oils. Perfumer & Flavorist, 25(6): 32-49.
- Mashayekhi, K. and Atashi, S., 2016. The Analyzing Methods In Plant Physiology. Areeo (Agriculture Research, Education and Extension), 326p.
- Mirheydar, H., 1993. Herbal Knowledge. Daftare Nashre Farhang Islami, Vol. 1, 539p.
- Nazari, M. and Zarinkamar, F., 2020. Ultraviolet-B induced changes in *Mentha aquatica* (a medicinal plant) a early and late vegetative growth stages: Investigations at molecular and genetic levels. Industrial Crops & Products journal homepage: 154(2020), 112618. www.elsevier.com/locate/indcrop.
- Ning, W., Peng, X., Ma, L., Cui, L., Lu, X., Wang, J., Tian, J., Li, X., Wang, W. and Zhang, L., 2012. Enhanced secondary metabolites production and antioxidant activity in postharvest *Lonicera japonica* Thunb. in response to UV radiation. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 13: 231-243.
- Patil, S., Hulamani, N.C. and Rokhade, A.K., 2001. Performance of genotype of *Coleus forskohlii* Briq. for growth, yield and essential oil content. Indian Perfumer, 45: 17-21.
- Rustaiyan, A., Feizbakhsh, A., Masoudi, E. and Ameri, N., 2004. Comparison of the volatile oils of *satureja atropatana* bung. and *satureja mutica* fisch. Et c.a. mey. from Iran. Journal of essential oil research, 16: 594-596.
- Saki, A., Mozafari, H., Karimzadeh Asl, Kh., Sani, B. and Mirza, M., 2019. Plant Yield, antioxidant Capacity and Essential Oil Quality of *Satureja Mutica* Supplied with Cattle Manure and Wheat