



Effect of harvest time on phytochemical characteristics and essential oil yield and composition of *Rosmarinus officinalis* L.

Mahsa Moridi ¹ , Maryam Zolfaghari ^{*2}

1. Shahid Chamran univeristy of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2*. Shahid Chamran univeristy of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

ARTICLE INFO

Article history

Submitted: 2025-12-16

Revised: 2026-07-02

Accepted: 2026-07-15

ABSTRACT

Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) is a perennial evergreen medicinal plant belonging to the Lamiaceae family and is highly valued for its rich content of phenolic, flavonoid, and terpenoid compounds. Its adaptability to a wide range of environmental conditions has made rosemary a promising source of valuable bioactive compounds. This study investigated the effects of harvest time on growth, phytochemical characteristics, and essential oil content, and composition of rosemary. The experiment was conducted during the 2022–2023 growing season in a rosemary field in Gotvand County, Khuzestan Province, Iran, using a randomized complete block design with three harvest dates (April, June, and July) and five replications. The chemical composition of the essential oil was analyzed by GC–MS. Analysis of variance revealed that harvest time significantly affected fresh and dry biomass, flavonoid content, and essential oil percentage and yield, whereas total phenolic content and antioxidant capacity were not significantly affected. The highest fresh and dry biomass was recorded in June, whereas the greatest flavonoid content and the highest essential oil percentage were observed in April and July, respectively. Harvest time also influenced the chemical composition of the essential oil, altering the relative abundances of major constituents. A total of 30 compounds were identified, among which α -pinene, borneol, bornyl acetate, and camphor were the predominant constituents. These findings indicate that harvest time is a key determinant of rosemary essential oil yield and composition, and that July represents the optimal harvest period for essential oil production under the climatic conditions of Khuzestan Province.

KEYWORDS

Phenolic content, Flavonoid, α -Pinene, Eucalyptol, Yield.

* Corresponding author: Maryam Zolfaghari

✉ E-mail: m.zolfaghari@scu.ac.ir





بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)

مهسا مریدی^۱، مریم ذوالفقاری^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی.

۲. دکترای تخصصی استادیار، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله

دریافت: ۱۴۰۴-۰۹-۲۵

بازنگری: ۱۴۰۵-۰۴-۱۱

پذیرش: ۱۴۰۵-۰۴-۲۴

واژگان کلیدی:

فنول، فلاونوئید، آلفا-پینن، اکالیپتول، عملکرد.

چکیده: رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) گیاهی دارویی، چندساله و همیشه سبز از خانواده نعنائیان (Lamiaceae) است که به دلیل غنی بودن از ترکیبات فنولی، فلاونوئیدی و ترپنوئیدی، از اهمیت دارویی و صنعتی بالایی برخوردار است. سازگاری رزماری با شرایط محیطی مختلف، توجه محققان را به عنوان منبعی غنی از ترکیبات ارزشمند جلب کرده است. این پژوهش با هدف بررسی اثر زمان برداشت بر رشد، ویژگی‌های فیتوشیمیایی، عملکرد، کمیت و کیفیت اسانس رزماری انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوکهای کامل تصادفی با ۳ تیمار تاریخ برداشت شامل فروردین، خرداد و تیر ماه و ۵ تکرار در طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه رزماری شهرستان گتوند استان خوزستان انجام گرفت. آنالیز اسانس با استفاده از GC-MS انجام شد. طبق نتایج تجزیه واریانس اثر زمان برداشت بر وزن تر و خشک گیاه، فلاونوئید، درصد و عملکرد اسانس معنی‌دار بود و بر میزان فنل کل و ظرفیت آنتیاکسیدانی معنی‌دار نبود. بیشترین وزن تر و خشک گیاه در خرداد ماه، بیشترین میزان فلاونوئید در فروردین ماه و بیشترین درصد و عملکرد اسانس در تیر ماه به دست آمد. ترکیب شیمیایی اسانس در زمان‌های مختلف برداشت تغییر کرد و فراوانی نسبی برخی ترکیبات اصلی تحت تأثیر زمان برداشت قرار گرفت. آنالیز اسانس در مجموع ۳۰ ترکیب را شناسایی کرد که مهم‌ترین ترکیبات شامل آلفا-پینن، بورنئول، بورنیل استات و کامفور بودند. نتایج این پژوهش نشان داد که زمان برداشت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر کمیت و کیفیت اسانس رزماری بوده و برداشت در تیر ماه برای تولید اسانس تحت شرایط اقلیمی استان خوزستان مناسب‌ترین زمان است.

✉ E-mail: m.zolfaghari@scu.ac.ir

Journal homepage: jmpb.znu.ac.ir

*نویسنده مسئول: مریم ذوالفقاری



مقدمه

رزماری با نام علمی *Rosmarinus officinalis* L. چندساله، همیشه سبز و معطر از خانواده نعنائیان است که به دلیل تولید اسانس و ترکیبات فنلی ارزشمند، در صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کاربرد گسترده‌ای دارد (Salehi sardoei et al., 2020; Benyaich and Aksissou, 2024). تولیدکنندگان عمده این گیاه در دنیا، کشورهای شمال آفریقا، مخصوصاً مراکش و تونس و کشورهای جنوب اروپا مانند اسپانیا، فرانسه، ایتالیا، یوگسلاوی و آمریکا هستند (Chandralega et al., 2015). در ایران رزماری در بیشتر نواحی مانند استان‌های تهران، اصفهان، فارس، سمنان، کرمان، مازندران، خوزستان و خراسان کشت می‌شود (Omidbegi, 2013; Hassanpouraghdam et al., 2022). اسانس، ماده مؤثره اصلی برگ و سرشاخه‌های گیاه رزماری است که مقدار آن با توجه مناطق مختلف رویش گیاه، بین ۰/۵ تا ۲/۵ درصد است (Bejenaru et al., 2025; Mokhtari et al., 2022). ترکیبات اصلی اسانس شامل ۱، ۸- سینئول، بورنئول، کامفور، بُرنیل‌استات، آلفا-پینن و بتا-پینن است که بسته به شرایط جغرافیایی محل کشت گیاه، میزان و درصد هریک از این موارد متغیر است (Guelifet et al., 2025). رزماری دارای ترکیبات طبیعی، از جمله فلاونوئیدها و اسیدهای فنلی، دی‌ترین‌ها، تری‌ترین‌ها، تانن‌ها، مواد تلخ، رزین، ساپونین، پروتئین، چربی، کربوهیدرات، فیبر، برخی املاح و ویتامین‌ها است (Salehi sardoei and Khalili, 2020). همچنین به علت طعم و عطر مناسب، در صنایع آرایشی و بهداشتی کاربرد دارد (Bakirel et al., 2008). زمان برداشت یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در تولید گیاهان دارویی و معطر است که علاوه بر عملکرد زیست‌توده، بر سنتز، تجمع و ترکیب متابولیت‌های ثانویه نیز تأثیر قابل توجهی دارد (Moradi Marjaneh et al., 2017). تغییرات فصلی در درجه حرارت، شدت و طول مدت تابش، رطوبت نسبی و سایر عوامل محیطی می‌تواند فعالیت مسیرهای بیوسنتزی ترکیبات فنلی و ترپنوئیدی را تغییر دهد و در نتیجه، موجب تغییر در کمیت و کیفیت اسانس گیاه شود. از این رو، تعیین زمان مناسب برداشت نقش مهمی در بهینه‌سازی کیفیت مواد مؤثره و افزایش ارزش اقتصادی گیاهان دارویی دارد (Katar et al., 2019; Shukla et al., 2025).

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که زمان برداشت می‌تواند اثر معنی‌داری بر عملکرد، درصد اسانس و ترکیب شیمیایی اسانس رزماری داشته باشد؛ اگرچه دامنه این تغییرات به شرایط اقلیمی، منطقه کشت و مرحله رشد گیاه وابسته است؛ برای مثال، برخی پژوهش‌ها افزایش درصد و عملکرد اسانس را در برداشت‌های اواخر بهار و تابستان گزارش کرده‌اند، در حالی که برخی دیگر بیشترین تجمع برخی ترکیبات مونوترپنی نظیر آلفا-پینن و کامفور را در برداشت‌های زودتر فصل رشد مشاهده کرده‌اند (Katar et al., 2019; Al-Hashemi, 2020; Zeinali et al., 2014). این نتایج نشان می‌دهد که علاوه بر میزان اسانس، ترکیب شیمیایی آن نیز در پاسخ به شرایط محیطی و زمان برداشت تغییر می‌کند.

نتایج مشابهی در سایر گیاهان دارویی خانواده نعنائیان نیز گزارش شده است. مطالعات انجام‌شده روی مریم‌گلی، آویشن و ریحان نشان داده‌اند که تغییر زمان برداشت نه تنها موجب تغییر درصد اسانس می‌شود، بلکه بر نسبت ترکیبات اصلی اسانس نیز اثرگذار است. این تغییرات عمدتاً به تفاوت در شرایط محیطی، سن فیزیولوژیکی گیاه و تغییر فعالیت مسیرهای بیوسنتزی متابولیت‌های ثانویه نسبت داده شده است (Izadi and Mirazi, 2020; Moradi Marjaneh et al., 2017). بنابراین، برای دستیابی به حداکثر کمیت و کیفیت اسانس، به‌ویژه در شرایط زراعی، تعیین بهترین زمان برداشت اهمیت زیادی دارد (Mehrabani et al., 2014; Najad Habib Vash et al., 2016).

با وجود مطالعات متعدد درباره اثر زمان برداشت بر عملکرد و کیفیت اسانس رزماری، بیشتر پژوهش‌ها در شرایط اقلیمی مدیترانه‌ای یا معتدل انجام شده‌اند و اطلاعات محدودی درباره پاسخ این گیاه در اقلیم بسیار گرم و خشک جنوب غرب ایران، به‌ویژه استان خوزستان، وجود دارد. با توجه به اینکه دمای بالا و تنش گرمایی می‌توانند مسیرهای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه را تغییر دهند، بررسی زمان مناسب برداشت در این شرایط ضروری به نظر می‌رسد؛ بنابراین، هدف این

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

پژوهش بررسی اثر زمان‌های مختلف برداشت بر تولید زیست‌توده، ویژگی‌های فیتوشیمیایی، عملکرد و ترکیب شیمیایی اسانس رزماری تحت شرایط اقلیمی گرم استان خوزستان بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۴۰۲ در مزرعه زیر کشت رزماری به مساحت یک هکتار در اراضی منابع طبیعی شهرستان گتوند در استان خوزستان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا صورت گرفت. بر اساس بررسی آمارها و داده‌های هواشناسی منطقه، میانگین بارندگی این شهرستان ۹۸/۳۲ میلی‌متر و حداقل و حداکثر دمای آن به طور متوسط ۱۱/۴۰ و ۳۹/۴۶ درجه سانتی‌گراد طی سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ گزارش شده است (جدول ۱). شهرستان گتوند دارای اقلیم نیمه خشک گرم با تابستان‌های بسیار گرم و زمستان‌های معتدل است. این شرایط اقلیمی، به‌ویژه افزایش سریع درجه حرارت از اواخر بهار تا اواسط تابستان، محیط مناسبی برای بررسی اثر زمان برداشت بر رشد، ویژگی‌های فیتوشیمیایی و ترکیب اسانس رزماری فراهم کرد. از آنجا که رزماری گیاهی چندساله است، برداشت اقتصادی آن معمولاً از سال دوم پس از استقرار در مزرعه آغاز می‌شود و به‌صورت سرشاخه‌برداری انجام می‌گیرد. تعداد برداشت‌ها در طول سال به توانایی گیاه در بازرویی سرشاخه‌های جدید و شرایط اقلیمی منطقه بستگی دارد. در شرایط گرم استان خوزستان، دوره رشد طولانی و دمای مناسب در بخش عمده سال امکان انجام سه برداشت و در برخی سال‌ها چهار برداشت را فراهم می‌کند که این ویژگی ظرفیت تولید زیست‌توده و اسانس را افزایش می‌دهد و کشت این گیاه را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر می‌سازد.

این پژوهش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با سه تیمار زمان برداشت و پنج تکرار اجرا شد. زمان‌های برداشت بر اساس برنامه رایج برداشت تجاری در منطقه و با هدف ارزیابی تغییرات فیزیولوژیک و فیتوشیمیایی گیاه در مراحل مختلف رشد انتخاب شدند. به این ترتیب، تاریخ‌های ۱۰ فروردین، ۱ خرداد و ۲۰ تیر ماه برای نمونه‌گیری انتخاب شدند. زمان‌های برداشت با فاصله حدود ۵۰ روز از یکدیگر در نظر گرفته شد و گیاهان در فاصله بین دو برداشت، فرصت کافی برای رشد مجدد رویشی و تولید سرشاخه‌های جدید داشتند.

در مزرعه مورد مطالعه، کشت گیاهان به صورت جوی و پشته بود و بوته‌ها با فاصله ۵۰ سانتی‌متر روی ردیف و ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف‌ها کشت شده بودند. تمامی بوته‌ها دو ساله، هم‌سن و حاصل از تکثیر رویشی (قلمه) بودند. آبیاری به روش قطره‌ای و مدیریت تغذیه گیاهان بر پایه مصرف کود دامی و مقادیر محدودی کود اوره به‌صورت سرک در طول فصل رشد بود. کنترل علف‌های هرز به‌صورت مکانیکی انجام شد و از مصرف علف‌کش‌ها اجتناب گردید. مشخصات خاک مزرعه در جدول ۲ آمده است.

در هر یک از زمان‌های برداشت، نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی از پنج نقطه مشخص در مزرعه انجام شد. این نقاط در تمامی زمان‌های برداشت ثابت بودند و به‌عنوان واحدهای آزمایشی (پلات) در نظر گرفته شدند. در هر پلات، ۱۰ بوته سالم، یکنواخت و عاری از علائم آفات و بیماری به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. برداشت گیاهان به‌صورت سرشاخه‌برداری کامل از هر بوته و از ۱۰ سانتی‌متری سطح خاک انجام گرفت. در تمامی زمان‌های برداشت، نمونه‌برداری از بوته‌هایی انجام شد که از نظر فنولوژیکی در مرحله رشد رویشی قرار داشتند تا اثر مرحله رشد بر صفات مورد بررسی حذف شود و تغییرات مشاهده‌شده عمدتاً ناشی از زمان برداشت باشد. صفات مورد مطالعه برای هر بوته به‌طور جداگانه اندازه‌گیری گردید. سپس میانگین داده‌های ۱۰ بوته به‌عنوان مقدار هر پلات در تجزیه آماری مورد استفاده قرار گرفت؛ بنابراین، در هر زمان برداشت، در مجموع ۵۰ بوته ارزیابی شد. با هدف حفظ استقلال آماری مشاهدات در هر زمان برداشت، نمونه‌برداری از بوته‌های مستقل انجام شد و هیچ بوته‌ای بیش از یک بار در طول دوره آزمایش برداشت نشد.

جدول ۱- ویژگی‌های اقلیمی منطقه اجرای آزمایش (ایستگاه هواشناسی گتوند، استان خوزستان، سال زراعی ۱۴۰۱-۱۴۰۲)

مختصات جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (m)	نوع اقلیم	میانگین بارندگی سالانه (mm)	میانگین حداقل دمای سالانه (°C)	میانگین حداکثر دمای سالانه (°C)
48°34' E 32°27' N	70	نیمه خشک گرم	98.32	11.40	39.46

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

آنالیز شیمیایی				بافت خاک			
فسفر در دسترس (mg. g ⁻¹)	کربن آلی (%)	pH	Ec (dS.m ⁻¹)	بافت	رس (%)	سیلت (%)	شن (%)
0.008	0.08	7.17	3.75	سیلت لومی	14.5	57.5	28

صفات اندازه‌گیری شده

وزن تر و خشک بخش هوایی: وزن تر سرشاخه‌های هر گیاه با استفاده از ترازوی دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت یک هفته در سایه و در دمای اتاق تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند و وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

فنل کل: برای تعیین محتوای فنل کل برگ‌های رزماری، ابتدا عصاره متانولی ۸۰ درصد تهیه‌شده از نمونه‌ها با معرف فولین-سیوکالتیو واکنش داده شد و جذب محلول حاصل در طول موج ۷۶۵ نانومتر به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-1201, Shimadzu, Japan) قرائت شد. مقدار فنل کل با استفاده از منحنی استاندارد اسید گالیک محاسبه و به صورت میلی گرم معادل اسید گالیک در گرم وزن خشک نمونه (mg GAE g⁻¹ DW) گزارش شد (Raposo et al., 2024).

فلاونوئید کل: اندازه‌گیری فلاونوئید کل با استفاده عصاره متانولی ۸۰ درصد از برگ‌های رزماری و از روش رنگی آلومینیوم کلرید و استاندارد کوئرستین انجام شد. جذب نمونه‌ها توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS 7315, Jenway) در طول موج ۴۱۵ نانومتر قرائت گردید. میزان فلاونوئید کل نمونه‌ها با استفاده از منحنی استاندارد کوئرستین محاسبه و نتایج به صورت میلی گرم معادل کوئرستین در هر گرم وزن خشک نمونه (mg QE g⁻¹ DW) گزارش شد (Chang et al., 2002).

ظرفیت آنتی اکسیدانی کل: برای اندازه‌گیری درصد فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره از آزمون DPPH استفاده شد. در این روش، مخلوطی به نسبت ۱ به ۱ از محلول DPPH و عصاره تهیه‌شده از گیاه آماده گردید و به مدت ۳۰ دقیقه در شرایط آزمایشگاه در تاریکی قرار داده شد. جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (UV-VIS

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

7315, Jenway) قرائت شد. در نهایت، درصد بازدارندگی نمونه‌ها یا همان درصد کل فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد (Sun et al., 2010):

$$R\% = AD - AS / AD \times 100$$

R% درصد بازدارندگی، AD جذب DPPH در ۵۱۷ نانومتر، AS جذب

اندازه‌گیری درصد اسانس: برای استخراج اسانس، ۵۰ گرم ماده گیاهی خشک پس از آسیاب شدن به همراه ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر درون بالن ته‌گرد ۲۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و اسانس به روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر به مدت ۳ ساعت استخراج گردید. اسانس حاصل پس از جداسازی، با استفاده از سولفات سدیم بدون آب خشک شد و درصد اسانس بر اساس رابطه زیر محاسبه گردید:

درصد اسانس = (میزان اسانس برحسب گرم / وزن خشک گیاه) * ۱۰۰

شناسایی ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) مدل Agilent 7890B مجهز به ستون موئین HP-5MS (به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۲۵ میلی‌متر، ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرومتر) واقع در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. به‌منظور دستیابی به جداسازی مناسب ترکیبات فرار و نیمه فرار اسانس رزماری، از ستون موئین HP-5MS (5% phenyl methylpolysiloxane) استفاده شد. این ستون به دلیل قطبیت پایین، پایداری حرارتی بالا، میزان پایین نشت فاز ساکن و قدرت تفکیک مناسب برای مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌های موجود در اسانس گیاهان دارویی، به‌طور گسترده در آنالیز اسانس‌ها با روش GC-MS مورد استفاده قرار می‌گیرد. برنامه دمایی ستون به این صورت تنظیم گردید که دمای اولیه ۳۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۱ دقیقه ثابت نگه داشته شد، سپس با نرخ ۵ درجه سانتی‌گراد در دقیقه تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و به مدت ۳ دقیقه در این دما پایدار ماند. دمای محفظه تزریق و آشکارساز به ترتیب ۲۸۰ و ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد تنظیم شد. هلیوم با خلوص بالا به‌عنوان گاز حامل با دبی ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده گردید. زمان اسکن ۱ ثانیه و انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون‌ولت (eV) تنظیم شد. شناسایی ترکیبات بر اساس مقایسه طیف‌های جرمی با کتابخانه NIST و همچنین مقایسه شاخص‌های بازدارندگی (Retention Indices) انجام گرفت (Adams, 2007).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی (RCBD) با استفاده از نرم‌افزار SAS (Version 9.4) انجام شد. پیش از انجام تجزیه واریانس، نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها بررسی گردید. سپس تجزیه واریانس (ANOVA) برای ارزیابی اثر زمان برداشت بر صفات مورد مطالعه انجام شد و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد ($P \leq 0.05$) صورت گرفت.

نتایج

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که زمان‌های مختلف برداشت، تأثیر معنی‌داری بر صفات وزن تر و خشک گیاه و میزان فلاونوئید کل در سطح ۱ درصد داشت و بر صفات فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۳). نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که حداکثر میزان وزن تر ($91/30 \pm 1/17$ گرم در بوته) و وزن خشک ($29/72 \pm 0/78$ گرم در بوته) گیاه در زمان برداشت دوم در خرداد ماه مشاهده شد که تفاوت معنی‌داری با تیمارهای دیگر داشتند. کمترین میزان وزن تر و خشک گیاه در تیر ماه حاصل شد و به‌ترتیب برابر $40/96 \pm 1/09$ و $14/58 \pm 0/31$ (گرم در بوته) بود (جدول ۴).

نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که حداکثر میزان فلاونوئید در برداشت اول در فروردین ماه ($4/66 \pm 0/80$ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) و پس از آن در برداشت دوم در خرداد ماه ($4/65 \pm 0/55$ میلی‌گرم بر گرم وزن خشک) به دست آمد که از نظر آماری اختلاف معنی‌داری نداشتند. حداقل میزان فلاونوئید در برداشت سوم در تیرماه

($2/52 \pm 0/36$ میلی گرم بر گرم وزن خشک) به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده از مقایسه میانگین داده‌ها، اختلاف معنی‌داری بین میزان فنل کل در زمان‌های مختلف برداشت مشاهده نشد. حداکثر میزان فنل کل ($34/54 \pm 6/95$ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در فروردین ماه و حداقل میزان آن ($29/39 \pm 2/72$ میلی گرم بر گرم وزن خشک) در ماه خرداد بود. همچنین حداکثر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی رزماری ($75/37 \pm 2/33$ درصد) در ماه فروردین به دست آمد که اختلاف معنی‌داری با تیر ماه نداشت ($75/26 \pm 4/30$ درصد) و حداقل میزان آن ($72/78 \pm 1/84$ درصد) در ماه خرداد بود (جدول ۴).

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر تیمار زمان برداشت بر صفات رویشی و فیتوشیمیایی رزماری

میانگین مربعات								
عملکرد اسانس	درصد اسانس	DPPH	فلاونوئید کل	فنل کل	وزن خشک	وزن تر	درجه آزادی	منابع تغییرات
0.01^{**}	0.50^{**}	10.66^{ns}	7.57^{**}	36.97^{ns}	297.35^{**}	3485.20^{**}	2	تیمار
0.01^{ns}	0.01^{ns}	1.66^{ns}	0.25^{ns}	54.79^{ns}	1.69^{ns}	4.76^{ns}	4	تکرار
0.01	0.01	2.50	0.48	20.35	2.07	10.27	8	خطا
9.00	2.82	2.12	17.53	13.89	6.75	4.35	-	C.V. (%)

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر زمان برداشت بر برخی صفات رویشی و فیتوشیمیایی رزماری

عملکرد اسانس ($gr.m^2$)	درصد اسانس	DPPH	فلاونوئید کل (%)	فنل کل (%)	وزن خشک (گرم در بوته)	وزن تر (گرم در بوته)	زمان برداشت
0.24 ± 0.01 a	1.20 ± 0.03 b	75.37 ± 2.33 a	4.66 ± 0.80 a	34.54 ± 6.95 a	19.58 ± 2.11 b	79.92 ± 4.46 b	برداشت اول (فروردین)
0.18 ± 0.01 b	0.88 ± 0.02 c	72.78 ± 1.84 b	4.65 ± 0.55 a	29.39 ± 2.72 a	29.72 ± 0.78 a	91.30 ± 1.17 a	برداشت دوم (خرداد)
0.25 ± 0.02 a	1.51 ± 0.05 a	75.26 ± 4.30 a	2.52 ± 0.36 b	33.48 ± 5.40 a	14.58 ± 0.31 c	40.96 ± 1.09 c	برداشت سوم (تیر)

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که زمان برداشت بر درصد و عملکرد اسانس گیاه دارویی رزماری تأثیر معنی‌داری در سطح یک درصد داشت (جدول ۳).

نتایج حاصل از مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین درصد اسانس در زمان‌های مختلف برداشت وجود دارد. بیشترین و کمترین درصد اسانس به‌ترتیب در زمان برداشت تیر ماه ($1/51 \pm 0/05$ درصد) و خرداد ماه ($0/88 \pm 0/02$ درصد) به دست آمد (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، بیشترین عملکرد اسانس مربوط به برداشت سوم در تیر ماه ($0/25 \pm 0/02$ گرم بر مترمربع) بود که از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با برداشت اول در فروردین ماه ($0/24 \pm 0/01$ گرم بر مترمربع) نداشت. کمترین عملکرد نیز در برداشت دوم در خرداد ماه ($0/18 \pm 0/01$ گرم بر مترمربع) مشاهده شد و دارای اختلاف معنی‌دار بود (جدول ۴).

شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس رزماری

نتایج تجزیه ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) نشان داد که زمان برداشت علاوه بر تأثیر بر درصد اسانس، موجب تغییر قابل توجهی در پروفیل شیمیایی اسانس رزماری نیز شد. حدود ۳۰ ترکیب (در مجموع ۹۸ درصد) در اسانس شناسایی شدند که عمدتاً متعلق به گروه مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها بودند. مهم‌ترین ترکیبات شناسایی‌شده در جدول ۵ آمده است که تعدادی از این ترکیبات شامل آلفا-پینن، اوکالیپتول (۱، ۸-سینئول)، کامفور، بورنئول، بورنیل‌استات، کامفن، بتا-پینن، لیمونن، وربنون و کاریوفیلین بودند. با توجه به محدودیت‌های اجرایی این پژوهش، تجزیه GC-MS تنها به شناسایی ترکیبات اسانس محدود شد و تعداد تکرارهای موجود برای انجام تحلیل‌های آماری، ازجمله تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها، کافی نبود. از این رو، تغییرات ترکیبات اسانس صرفاً بر اساس درصد‌های نسبی و به‌صورت توصیفی مورد بررسی قرار گرفت.

بررسی روند تغییرات ترکیبات نشان داد که بخش عمده‌ای از مونوترپن‌های شاخص رزماری شامل آلفا-پینن، کامفور، بورنئول، بورنیل‌استات، بتا-پینن و دی‌وربنون، بیشترین مقدار را در برداشت فروردین داشتند و با تأخیر در زمان برداشت به‌تدریج کاهش یافتند. این روند بیانگر آن است که مراحل اولیه رشد گیاه شرایط مناسب‌تری برای تجمع این ترکیبات فراهم می‌کند و احتمالاً با افزایش سن گیاه و تغییر شرایط محیطی، بخشی از پیش‌سازهای متابولیکی به سمت سنتز سایر ترکیبات هدایت می‌شوند.

در مقابل، برخی ترکیبات نظیر اوکالیپتول، آلفا-فلاندرن و اوژنول، روند افزایشی نشان دادند و بیشترین مقدار آن‌ها در برداشت تیر ماه مشاهده شد. این تغییرات احتمالاً ناشی از تغییر فعالیت مسیرهای بیوسنتزی ترپنوئیدها در پاسخ به افزایش درجه حرارت، شدت تابش و تنش گرمایی حاکم بر اقلیم خوزستان است. از آنجا که بسیاری از این ترکیبات از پیش‌ساز مشترک ژرانیل دی‌فسفات (GPP) نشئت می‌گیرند، تغییر در فعالیت آنزیم‌های اختصاصی سنتز مونوترپن‌ها می‌تواند موجب تغییر نسبت ترکیبات اصلی اسانس در طول فصل رشد شود.

از دیدگاه کاربردی نیز این تغییرات اهمیت قابل توجهی دارند. برداشت‌های بهاره به دلیل غلظت بیشتر آلفا-پینن، کامفور، بورنئول و بورنیل‌استات می‌توانند برای تولید فرآورده‌های دارویی، آرایشی و بهداشتی که به این ترکیبات وابسته هستند، مناسب‌تر باشند. در مقابل، برداشت تیر ماه با افزایش اوکالیپتول و اوژنول می‌تواند برای تولید اسانس مورد استفاده در فرآورده‌های تنفسی، ضدالتهابی، ضد میکروبی و نگهدارنده‌های طبیعی مواد غذایی، ارزش بیشتری داشته باشد؛ بنابراین، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که زمان برداشت نه تنها کمیت، بلکه کیفیت و کاربرد نهایی اسانس رزماری را نیز تعیین می‌کند و انتخاب زمان برداشت باید متناسب با ترکیب شیمیایی مورد نیاز صنایع مختلف انجام گیرد.

جدول ۵- ترکیب شیمیایی و درصد نسبی ترکیبات اسانس رزماری در زمان‌های مختلف برداشت بر اساس آنالیز GC-MS

ترکیبات	زمان بازداری (دقیقه)	RI	برداشت اول (فروردین)	برداشت دوم (خرداد)	برداشت سوم (تیر)
Cyclohexane, methyl	9.234	700	0.002	0.001	0.003
Camphene	12.231	954	0.003	0.002	0.002
α -Pinene	13.482	939	8.475	2.425	1.874
α -phellandren	14.898	1002	0.420	1.244	2.552
(+)-4-Carene	15.138	1013	0.070	1.763	2.552
β -Pinene	15.161	979	1.812	0.069	0.600
Eucalyptol	16.256	1031	0.114	0.269	2.906
Limonene	16.847	1029	0.100	0.395	0.355
Camphor	20.625	1146	3.081	1.028	0.370
Borneol	21.869	1169	9.164	0.431	0.322
Isoborneol	22.041	1159	0.153	0.584	0.360
D-Verbenone	22.902	1205	2.490	-	0.257
Bornyl acetate	24.056	1287	4.500	0.871	0.469
Myrtanyl acetate	24.908	1325	0.073	-	0.306
Eugenol	25.800	1356	0.082	-	0.389
Caryophyllene	27.499	1418	3.277	1.987	1.965

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

α -Caryophyllene	28.349	1454	-	0.486	0.998
Caryophyllene oxide	32.363	1582	1.865	1.149	1.723
α - Bisabolene epoxide	32.866	1610	1.204	1.860	2.869
β -Humulene	34.633	1454	0.515	1.576	0.180
Isoaromadendrene epoxide	34.646	1635	1.865	0.712	0.087
Benzyl Benzoate	35.689	1760	0.565	1.188	0.191

بحث

در این پژوهش، زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر وزن تر و وزن خشک سرشاخه‌های رزماری داشت؛ به‌طوری که بیشترین مقدار در برداشت خرداد ماه و کمترین مقدار در برداشت تیر ماه مشاهده شد. این نتایج نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی حاکم بر خوزستان در خرداد ماه شامل دمای نسبتاً مناسب، طول روز زیاد و شدت مطلوب تابش خورشید، شرایط مناسبی را برای رشد رویشی، فتوسنتز و تجمع ماده خشک فراهم کرده است. در مقابل، با ورود به تیر ماه، افزایش سریع دمای هوا، کاهش رطوبت نسبی، افزایش شدت تابش خورشیدی و تبخیر و تعرق بالا، گیاه را در معرض تنش گرمایی قرار می‌دهد. این شرایط معمولاً با کاهش هدایت روزنه‌ای، افت کارایی فتوسنتز، افزایش میزان تنفس و تغییر الگوی تخصیص مواد فتوسنتزی از رشد رویشی به سمت سازوکارهای دفاعی همراه است. در نتیجه، تجمع زیست‌توده و وزن تر و خشک گیاه کاهش می‌یابد (Ben Arfa *et al.*, 2022). یافته‌های این پژوهش با نتایج سایر تحقیقات همخوانی دارد که گزارش کرده‌اند زمان برداشت تأثیر معنی‌داری بر رشد رویشی رزماری دارد و عملکرد گیاه در برداشت‌های مختلف متفاوت است (Al-Hashemi, 2020). همچنین در مزرعه گیاه نعنای دشتی در خوزستان، زمان برداشت اثر معنی‌داری بر وزن تر گیاه و وزن خشک برگ داشت و بیشترین زیست‌توده در برداشت‌های بهار حاصل شد (Mahmoodi and Akbarzade, 2015). اکبری‌نیا و همکاران (۲۰۱۰) نیز گزارش کردند عملکرد سرشاخه تر و خشک آویشن دناپی در چین اول بیشتر از چین‌های بعدی است و این موضوع را به طولانی‌تر بودن دوره رشد، شرایط دمایی مناسب‌تر و استفاده از ذخایر کربوهیدراتی اندام‌های زیرزمینی نسبت دادند؛ بنابراین، بر اساس نتایج این پژوهش، کاهش وزن تر و خشک رزماری در برداشت تیر ماه را می‌توان علاوه بر افزایش سن گیاه، به تشدید تنش گرمایی و محدود شدن رشد رویشی تحت شرایط اقلیمی گرم و خشک خوزستان نسبت داد.

همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که زمان برداشت بر محتوای فلاونوئید کل اثر معنی‌داری داشت. فلاونوئیدها از مهم‌ترین متابولیت‌های ثانویه دفاعی گیاهان هستند که در خنثی‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن و محافظت از بافت‌های گیاهی در برابر تابش فرابنفش نقش اساسی دارند. به نظر می‌رسد در شرایط معتدل‌تر فروردین، فعالیت مسیرهای بیوسنتزی فلاونوئیدها در سطح بالاتری قرار داشته باشد؛ اما با افزایش شدید درجه حرارت در تیر ماه، بخشی از انرژی و کربن تثبیت‌شده صرف حفظ تعادل اسمزی، ترمیم آسیب‌های ناشی از تنش و سایر فرایندهای حفاظتی شده و در نتیجه، سنتز فلاونوئیدها کاهش یافته است (Akshay *et al.*, 2019). اگرچه بیشترین مقادیر فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در فروردین به دست آمد، اختلاف آن‌ها بین زمان‌های مختلف برداشت از نظر آماری معنی‌دار نبود. این موضوع نشان می‌دهد

که تغییرات اقلیمی طی دوره مطالعه بر تجمع فلاونوئیدها اثرگذار بوده است؛ اما نتوانسته است تغییر معنی‌داری در مجموع ترکیبات فنولی و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی ایجاد کند. احتمالاً پایداری نسبی این صفات ناشی از نقش سایر ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و سامانه‌های آنزیمی در حفظ تعادل اکسید و احیا در گیاه بوده است (Fumiere Lemos *et al.*, 2015). سنتز ترکیبات فنولی تحت تأثیر عوامل محیطی، از جمله تابش فرابنفش و تنش‌های زیستی و غیرزیستی قرار می‌گیرد (Schwambach *et al.*, 2008). نتایج این پژوهش با سایر تحقیقات مبنی بر عدم تأثیر معنی‌دار زمان برداشت بر محتوای فنل کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رزماری مطابقت دارد (Khademi Doozakhdarreh 2020). همچنین تحقیقات کاهش تدریجی فلاونوئیدها با افزایش سن برگ‌های رزماری (Chaparzadeh *et al.*, 2013) و افزایش تجمع فلاونوئید در فصل بهار را گزارش کردند (Pietraszek *et al.*, 2014) که با روند مشاهده‌شده در این پژوهش همخوانی دارد.

در این پژوهش، زمان برداشت اثر معنی‌داری بر درصد و عملکرد اسانس رزماری داشت؛ به‌طوری که بیشترین درصد و عملکرد اسانس در برداشت تیر ماه به دست آمد. این در حالی بود که وزن تر و خشک گیاه در همین زمان نسبت به برداشت خرداد ماه کاهش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که با وجود کاهش رشد رویشی، افزایش درصد اسانس توانسته است کاهش زیست‌توده را جبران کند و در نهایت، عملکرد اسانس را در بالاترین سطح حفظ کند. این یافته بیانگر آن است که زمان برداشت علاوه بر رشد گیاه، بر نحوه تخصیص مواد فتوسنتزی بین رشد رویشی و تولید متابولیت‌های ثانویه نیز تأثیرگذار است (Akshay *et al.*, 2019; Afshar *et al.*, 2022). درصد اسانس تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی متعددی، از جمله درجه حرارت، شدت و مدت تابش نور، رطوبت، موقعیت جغرافیایی، نوع خاک، مرحله فنولوژیک و زمان برداشت، قرار می‌گیرد (Laftouhi *et al.*, 2023). همان شرایط تنش گرمایی استان خوزستان تشریح‌شده در بالا، علاوه بر کاهش رشد رویشی، موجب تحریک مسیرهای بیوسنتزی ترپنوئیدها نیز شده است. از آنجا که ترکیبات اسانس نقش مهمی در حفاظت گیاه در برابر تنش‌های محیطی و کاهش آسیب‌های اکسیداتیو دارند، افزایش تجمع آن‌ها در شرایط تنش گرمایی می‌تواند به‌عنوان پاسخ سازشی گیاه تلقی شود (Dallahi, and Ahmed, 2024). نتایج سایر تحقیقات نشان داد که بیشترین درصد اسانس رزماری در برداشت تیر ماه (July) حاصل شد و زمان برداشت بر درصد و ترکیب اسانس اثر معنی‌داری داشت (Al-Hashemi, 2020). همچنین در گیاه مریم‌گلی بیشترین میزان اسانس در برداشت اواسط تیر بود که افزایش دمای محیط را یکی از عوامل مؤثر بر افزایش اسانس دانستند (Izadi and Mirazi, 2020)؛ علاوه بر این، در نعنای دشتی عملکرد اسانس تابعی از هر دو عامل درصد اسانس و تولید ماده خشک بود و بیشترین عملکرد اسانس در تیر ماه حاصل شد (Mahmoodi and Akbarzade, 2015). این یافته‌ها با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد و نشان می‌دهد که در بسیاری از گیاهان خانواده نعنائیان، شرایط گرم اواخر بهار و اوایل تابستان می‌تواند سنتز و تجمع اسانس را افزایش دهد. علاوه بر شرایط محیطی، مرحله رشدی گیاه نیز در تغییرات اسانس نقش مهمی دارد. محققان گزارش دادند درصد اسانس ریحان در برداشت سوم بیشتر از برداشت‌های اول و دوم بود و این افزایش را به تغییر شرایط محیطی، به‌ویژه درجه حرارت و نیز اثر تحریک‌کنندگی برداشت بر سنتز و تجمع اسانس نسبت دادند (Zheljazkov *et al.*, 2008). همچنین عملکرد اسانس رزماری تابعی از درصد اسانس و عملکرد ماده خشک اندام‌های هوایی است و هرگونه افزایش در هریک از این دو مؤلفه می‌تواند عملکرد نهایی اسانس را افزایش دهد (Moradi Marjaneh *et al.*, 2017). در پژوهش حاضر نیز وزن خشک در تیر ماه کاهش یافت؛ اما افزایش قابل توجه درصد اسانس موجب شد عملکرد اسانس نسبت به سایر زمان‌های برداشت بیشتر باشد. این موضوع نشان می‌دهد در شرایط اقلیمی خوزستان، افزایش غلظت اسانس توانسته است اثر کاهش زیست‌توده را جبران کند.

نتایج این تحقیق نشان داد که زمان برداشت علاوه بر مقدار اسانس، بر ترکیب شیمیایی آن نیز تأثیر داشت؛ به‌طوری که بیشترین مقادیر آلفا-پینن، کامفن، کامفور، بورنئول، بورنیل‌استات، دی‌وربنون و کاریوفیلن در برداشت فروردین مشاهده شد، در حالی که اوکالیپتول، آلفا-فلاندرون و اوژنول در برداشت تیر ماه بیشترین مقدار را داشتند. این تغییرات نشان می‌دهد که با

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis L.*) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

پیشرفت فصل رشد، مسیرهای بیوسنتزی مونوترپن‌ها و سایر ترکیبات فرار تحت تأثیر شرایط محیطی و مرحله فنولوژیک گیاه قرار می‌گیرند. با این حال، این تغییرات باید با احتیاط تفسیر شوند؛ زیرا به دلیل محدودیت‌های اجرایی، آنالیز ترکیبات اسانس صرفاً در سطح شناسایی و بر پایه درصد‌های نسبی انجام شد و تعداد تکرارها برای انجام مقایسه‌های آماری کافی نبود. ترکیب شیمیایی اسانس گیاهان دارویی حاصل برهم‌کنش عوامل ژنتیکی و محیطی است و عواملی نظیر درجه حرارت، شدت و مدت تابش نور، رطوبت نسبی، نوع خاک، ارتفاع از سطح دریا، موقعیت جغرافیایی و زمان برداشت می‌توانند بر مسیرهای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه اثرگذار باشند (Ebrahiminejad, 2004; Oliveira et al., 2016; Azizi and Khosravi, 2019). در واقع، تغییر در بیان ژن‌های دخیل در مسیر بیوسنتز ترپنوئیدها و فعالیت آنزیم‌های کلیدی این مسیر تحت تأثیر درجه حرارت و نور قرار می‌گیرد و موجب تغییر نسبت مونوترپن‌ها و سزکوئی‌ترپن‌ها در اسانس می‌شود (Borges et al., 2019). یکی از یافته‌های قابل توجه این پژوهش، کاهش تدریجی درصد آلفا-پینن، کامفور، بورنئول و بورنیل‌استات از فروردین تا تیر ماه و در مقابل، افزایش اوکالیپتول، آلفا-فلاندرون و اوژنول در برداشت‌های دیرتر بود؛ بنابراین، اختلاف مشاهده‌شده در ترکیب اسانس احتمالاً نتیجه برهم‌کنش مرحله فنولوژیک گیاه و شرایط اقلیمی گرم و خشک خوزستان است (Ghanadi et al., 2002). نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده در سایر مناطق جغرافیایی نیز همخوانی دارد. نتایج تحقیقی، وربنون، آلفا-پینن، کامفور و بورنیل‌استات را مهم‌ترین ترکیبات اسانس رزماری گزارش کرد (Shahdadi et al., 2022)، در حالی که تحقیقات دیگر، اوکالیپتول، آلفا-پینن، کامفور، کامفن، بورنئول و لیمونن را از اجزای غالب اسانس معرفی کردند (Malakootian and Hatami, 2013; Roomiani et al., 2016). همچنین ارقام رزماری کشت‌شده در اتیوپی، اوکالیپتول، آلفا-پینن، کامفور، وربنون و بورنئول را به عنوان مهم‌ترین ترکیبات گزارش کردند (Melka Abdo et al. 2018). اگرچه ترکیبات اصلی در اغلب این مطالعات مشابه هستند، اختلاف در درصد هریک از آن‌ها امری طبیعی است و می‌تواند ناشی از تفاوت ژنوتیپ، مرحله رشدی، شرایط اقلیمی، نوع خاک، روش‌های مدیریت مزرعه، زمان برداشت و روش استخراج اسانس باشد (Li et al., 2019; Fokou et al., 2022). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که افزایش میانگین دمای محیط و تغییر طول روز می‌تواند علاوه بر افزایش درصد اسانس، بر ترکیب شیمیایی آن نیز اثرگذار باشد (Moghtader et al., 2007). نتایج پژوهش حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی خوزستان نه تنها موجب افزایش درصد اسانس در برداشت تیر ماه شده، بلکه سبب تغییر در نسبت ترکیبات اصلی اسانس نیز گردیده است. در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که زمان برداشت یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده کیفیت شیمیایی اسانس رزماری است. برداشت‌های بهاره موجب تجمع بیشتر ترکیباتی نظیر آلفا-پینن، کامفور، بورنئول و بورنیل‌استات می‌شوند، در حالی که برداشت در تیر ماه با افزایش اوکالیپتول و برخی ترکیبات اکسیژن‌دار همراه است. از این رو، انتخاب زمان برداشت باید متناسب با هدف نهایی تولید و ترکیب شیمیایی مورد نیاز صنایع دارویی، آرایشی - بهداشتی و غذایی انجام گیرد.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که زمان برداشت یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رشد، عملکرد، ویژگی‌های فیتوشیمیایی و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری در شرایط اقلیمی خوزستان است. زمان‌های مختلف برداشت اثر معنی‌داری بر وزن تر و خشک گیاه، محتوای فلاونوئید کل، درصد اسانس، عملکرد اسانس و ترکیب شیمیایی اسانس داشتند، در حالی که بر فنل کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین زیست‌توده در برداشت خرداد ماه به دست آمد، در حالی که بیشترین درصد و عملکرد اسانس در برداشت تیر ماه حاصل شد. همچنین بیشترین میزان فلاونوئید کل در برداشت فروردین ثبت گردید. آنالیز GC-MS نشان داد که زمان برداشت، علاوه بر کمیت اسانس، بر کیفیت شیمیایی آن نیز تأثیرگذار است و موجب تغییر در نسبت ترکیبات اصلی اسانس می‌شود؛ به‌طوری که برداشت‌های بهاره با تجمع بیشتر ترکیباتی مانند آلفا-پینن، کامفور، بورنئول و بورنیل‌استات همراه بود، در حالی که برداشت تیر ماه موجب افزایش ترکیباتی مانند اوکالیپتول و اوژنول شد. نتایج این پژوهش نشان داد که پاسخ رزماری به تغییر زمان برداشت، تنها به تغییر در رشد

رویشی محدود نبود، بلکه الگوی تخصیص کربن بین تولید زیست توده و سنتز متابولیت های ثانویه نیز تغییر کرد؛ به طوری که در برداشت خرداد، بخش عمده فتوسنتز صرف رشد رویشی شد، در حالی که با افزایش تنش گرمایی در تیر ماه، تولید زیست توده کاهش یافت؛ اما سنتز و تجمع اسانس و تغییر در ترکیب شیمیایی آن افزایش پیدا کرد. این تغییر بیانگر جابه جایی اولویت متابولیکی گیاه از رشد به سمت سازوکارهای دفاعی در شرایط تنش محیطی است. این نتایج نشان می دهد که زمان برداشت می تواند به عنوان ابزاری مدیریتی برای هدایت پروفیل شیمیایی اسانس و تولید ترکیبات هدف متناسب با نیاز صنایع دارویی، آرایشی - بهداشتی و غذایی، مورد استفاده قرار گیرد. در مجموع، اگر هدف تولید حداکثر زیست توده باشد، برداشت در خرداد ماه مناسب تر است؛ اما برای دستیابی به بیشترین درصد و عملکرد اسانس، برداشت در تیر ماه توصیه می شود. همچنین در صورت هدف گذاری برای تولید اسانس با ترکیب شیمیایی خاص، انتخاب زمان برداشت باید بر اساس ترکیبات غالب مورد نیاز انجام گیرد؛ بنابراین، مدیریت صحیح زمان برداشت می تواند ضمن افزایش ارزش افزوده محصول، نقش مؤثری در بهینه سازی تولید رزماری در مناطق گرم و نیمه خشک مشابه خوزستان داشته باشد.

سپاسگزاری

از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز برای فراهم کردن امکانات این پژوهش، تشکر و قدردانی می شود.

References

- Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry (4th ed.). Allured Publishing Corporation.
- Afshar, M., Najafian, S., and Radi, M. (2022). Seasonal variation on the major bioactive compounds: Total phenolic and flavonoid contents, and antioxidant activity of rosemary from Shiraz. *Natural Product Research*, 36(16), 4287–4292. <https://doi.org/10.1080/14786419.2021.1978998>
- Akbarinia, A., Sharifi Ashoorabadi, E. and Mirza, M. (2010). Study on drug yield and essential oil content and composition of *Thymus daenensis* Celak. under cultivated conditions. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2): 205-212. <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6863>
- Akshay, K., Swathi, K., Bakshi, V., and Boggula, N. (2019). *Rosmarinus officinalis* L.: An update review of its phytochemistry and biological activity. *Journal of Drug Delivery and Therapeutics*, 9(1), 323–330. <http://doi.org/10.22270/jddt.v9i1.2218>
- Al-Hashemi, F. (2020). The impact of the harvest dates in the chemical composition and physical properties of volatile oils and fatty acid of *Rosmarinus officinalis* Var. *Temifolius*. *Plant Archives*. (20). 918-925.
- Amin Afshar, M., Mahasti, P. and Emam-Djomeh, Z. (2016). Identification of Forming Compounds, Minimum Inhibitory Concentration and Encapsulation of *Rosmarinus officinalis* Essential Oil Cultivated in Shiraz. *Journal of Medicinal Plants*, 15 (60) :112-122. <https://doi.10.1001.1.2717204.2016.15.60.16.8>
- Aziz, E.E., Badawy, E.M., Zheljazkov, V.D., Nicola, S.M. and Fouad, H. (2019). Yield and chemical composition of Essential oil of *Achilla millefolium* L. as Affected by Harvest Time. *Egyptian journal of chemistry*. 62(3). 533-540. <https://doi.10.21608/ejchem.2018.5129.1454>

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)
مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

- Azizi, A, Khosravi K. (2019). Phytochemical study and antioxidant activity of essential oil of *Salvia multicaulis* vahl native to Iran, and its application in oxidative stability of sunflower oil. Journal of Neyshabur University of Medical Sciences ;6(4):46-61.
- Bakirel, T., Bakirel, U., Keleş, O.U., Ülgen, S.G. and Yardibi, H. (2008). In vivo assessment of antidiabetic and antioxidant activities of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) in alloxan-diabetic rabbits. Journal of Ethnopharmacology. 116(1): 64-73.
- Bejenaru, L. E., Segneanu, A. E., Bejenaru, C., Biță, A., Tuțulescu, F., Radu, A., Ciocîlteu, M. V., and Mogoșanu, G. D. (2025). Seasonal variations in chemical composition and antibacterial and antioxidant activities of *Rosmarinus officinalis* L. essential oil from southwestern Romania. Applied Sciences, 15(2), 681. <https://doi.org/10.3390/app15020681>
- Ben Arfa, A., Gouja, H., Hannachi, H., Isoda, H., Neffati, M., and Najjaa, H. (2022). Seasonal changes in rosemary species: A chemotaxonomic assessment of two varieties based on essential oil compounds, antioxidant and antibacterial activities. PLOS ONE, 17(9), e0273367. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273367>
- Benyaich, A., and Aksissou, M. (2024). The pharmacological and nutritional properties of *Rosmarinus officinalis*: A comprehensive review. Tropical Journal of Natural Product Research, 8(11), 8945–8954. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v8i11.1>
- Borges, R. S., Sánchez Ortiz, B. L., Pereira, A. C. M., Keita, H., and Carvalho, J. C. T. (2019). *Rosmarinus officinalis* essential oil: A review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved. Journal of Ethnopharmacology, 229, 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.038>
- Chandralega, N., Subha, D. and Geetha, N. (2015). Effect of geographical distributions on the phytochemical profile of methanolic extract of dried leaves of *Rosmarinus officinalis* L. World Journal of Pharmaceutical Research. 4(10):1959-1970.
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods, Journal of Food and Drug Analysis, 10(3): 178-182.
- Chaparzadeh, N., Rahimpour, L., Dolati, M. and Barzgar, A. (2013). Age dependent changes of pigments in *Rosa hybrid*. Journal of Plant Research, 26(3): 281-289. <https://doi.20.1001.1.23832592.1392.26.3.5.0>
- Dallahi, Y., and Ahmed, E. (2024). Influence of harvest time and environmental factors on the yield and chemical composition of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) essential oil in northeast Morocco. Ecological Engineering and Environmental Technology, 25. <https://doi.org/10.12912/27197050/191265>
- Ebrahiminejad S. (2004). Study and identify compounds essential oils of *Ziziphora clinopodioides*, *Stachys schischegleevii*, *Salvia sahendica* and *Stentonia nudicalu* and biological properties of essential oils and various extracts. Master thesis of chemistry engineering. Medicinal Plants and Drugs Research Institute. Shahid Behesht University.
- Fumiere Lemos, M., Poltronieri Pacheco, H., Coutinho Endringer, D., and Scherer, R. (2015). Seasonality modifies rosemary composition and biological activity. Industrial Crops and Products, 70, 41–47. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.062>

- Ghanadi, A., Sajjadi, S. E., and Al-Mosallami, M. A. (2002). Phytochemical investigation of flavonoids and volatile oil of *Rosmarinus officinalis* cultivated in Iran. Jundishapur Scientific Medical Journal, 34, 33–40. [In Persian]
- Guelifet, K., Kherraz, K., Messaoudi, M., Ferhat, M. A., Khattabi, L., Bendrihem, A. K., Zahnit, W., Addad, D., Benmohamed, M., and Azoudj, Y. (2025). Seasonal and extraction-dependent variation in the composition and bioactivity of essential oils from wild *Rosmarinus officinalis* L. Molecules, 30(21), 4258. <https://doi.org/10.3390/molecules30214258>
- Hassanpouraghdam, M. B., Ghorbani, H., Esmaeilpour, M., Alford, M. H., Strzemeski, M., and Dresler, S. (2022). Diversity and distribution patterns of endemic medicinal and aromatic plants of Iran: Implications for conservation and habitat management. International Journal of Environmental Research and Public Health, 19(3), 1552. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031552>
- Heidari, R. (2019). The effect of seasonal changes on physiological, biochemical and phytochemical properties of *Rosmarinus officinalis* L. Degree of Master of Science, Agricultural Engineering, Horticulture, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. 137.
- Izadi, Z. and Mirazi, N. (2020). Identification of Chemical Compounds and Evaluation of Antioxidant and Antimicrobial Properties of Sage (*Salvia officinalis* L.) Essential Oil at Different Harvest Times. Majallah-i Dānishgāh-i Ulūm-i Pizishkī-i Qum (Qom Univ Med Sci J), 14(9):1-15.
- Katar, N., Katar, D., Temel, R., Karakurt, S., Bolatkiran, I., Yildiz, E., Soltanbeigi, A. (2019). The effect of different harvest dates on the yield quality properties of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) plant. Biological Diversity and Conservation, 12(3).7-13.
- Khademi Doozakhdarreh, S.F., Khorshidi, J., Morshedloo, M.R. (2020). Essential oil content and components, antioxidant activity and total phenol content of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.) as affected by harvesting time and drying method. Bulletin of the National Research Centre, 46:199.
- Khan Mohammadi, H. (2019). Effect of Irrigation and Harvesting on Some Morphological and Phytochemical Properties of Rosmarinus (*Rosmarinus officinalis*). Master's Degree. Horticultural Science, School of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. 93.
- Laftouhi, A., Eloutassi, N., Drioua, S., Ech-Chihbi, E., Rais, Z., Abdellaoui, A., Taleb, A., Beniken, M., and Taleb, M. (2023). Impact of water stress and temperature on metabolites and essential oil of *Rosmarinus officinalis* (phytochemical screening, extraction, and gas chromatography). Ecological Engineering and Environmental Technology, 24, 237–248. <https://doi.org/10.12911/22998993/161760>
- Letchamo W, Gosselin A. (1996). Transpiration essential oil glands, epicuticular wax and morphology of *Thymus vulgaris* are influenced by light intensity and water supply. Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 71(1): 123-134.
- Li Z.H, Cai M, Liu Y.S, Sun P.L, Luo S.L. (2019). Antibacterial Activity and Mechanisms of Essential Oil from *Citrus medica* L. var. sarcodac-tylis. Molecules, 24(8): 1-10.
- Mahmoodi Sourestani, M. and Akbarzade, M. (2015). Investigation of the effect of harvest time on the percentage, yield, and components of essential oil in spearmint (*Mentha spicata*) in the Hamidiyeh region. Journal of Plant Productions .38 (1): 116-126.

بررسی اثر زمان برداشت بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی و تغییرات کمیت و کیفیت اسانس گیاه دارویی رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.) / مریدی؛ مهسا. مریم؛ ذوالفقاری.

- Malakootian, M. and Hatami, B. (2013). Survey of Chemical Composition and Antibacterial Activity of *Rosmarinus Officinalis* Essential oils on Escherichia Coli and Its Kinetic. The Journal of TOLOO-E-BEHDASHT, 12(1): 1-13.
- Mehrabani, M., Mahdavi Meymand, Z., Khandani Zadeh, B. and Hassan Abadi, N. (2014). The effect of different amounts of nitrogen fertilizer and harvest time on the quantity and quality of essential oil and total phenol content in the medicinal plant *Satureja hortensis* L. in Kerman province. Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants, 2 (4): 1-11.
- Melka Abdo, B., Asaminew, G., Mieso, B. and Sisay W. (2018). Chemotypic Characterization and Antioxidant Activities of *Rosemarinus officinalis* Essential Oil from Ethiopian Cultivars. Medicinal and Aromatic Plants, 7(6), 1-4.
- Moghtader M, Mansouri I, Farahmand A, Mansouri SH. (2007). Evaluation of antibacterial potential of rosemary extracts for therapeutic agents. Abstract book of the 3th congress of medicinal plants. Shahed University. Tehran. Iran, pp: 535-6.
- Mokhtari, T., Shahdadi, F. and Salehi Sardoei, A. (2022). The effect of different solvents on the percentage of free radical scavenging DPPH and antioxidant activity of native medicinal plants in Jiroft. Karafan Journal. 18(4): 145-158.
- Moradi Marjaneh, E., Galavi, M., Ramroudi, M. and Solouki, M. (2017). Investigating some quantitative and physiological characteristics in rosemary as affected by biological and chemical fertilizers at different cuts. Journal of Agricultural Crops Production, 19(4): 1061-1076.
- Najad Habib Vash, F., Mahdavi Kia, H., Tofigh, S., Ali Mohammadian, M., Amirfathi, G. and Panahi, Sh. (2016). Study of the plant growth stages effect on the color, content and composition of essential oil of *Achillea wilhelmsii* C. Koch. Case Study: Qushchi Ghat in West Azerbaijan province. Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants, 5(3): 47-62.
- Oliveira GC, Vieira WL, Bertolli SC, Pacheco AC. (2016). Photosynthetic behavior, growth and essential oil production of *Melissa officinalis* L. cultivated under colored shade nets. Chilean Journal Agricultural Research; 76(1):123-8.
- Omidbeigi, R. (2013). Production and Processing of Medicinal Plants. Volume Four, Astan Quds Razavi Publishing, Mashhad, 424 pages.
- Pietraszek, E.S. and Pietraszek, J. (2014). Seasonal Changes of Flavonoid Content in *Melittis melissophyllum* L. (Lamiaceae). Chemistry and Biodiversity, 11(4), 562-70.
- Raposo, F., Borja, R., and Gutiérrez-González, J. A. (2024). A comprehensive and critical review of the unstandardized Folin–Ciocalteu assay to determine the total content of polyphenols: The conundrum of the experimental factors and method validation. Talanta, 272, 125771. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125771>
- Roomiani, L., Soltani, M. and Akhondzadeh Basti, A. (2016). Effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil and nisin on Streptococcus iniae in BHI broth. Iranian Journal of Medical Microbiology, 10(1), 35-43. <https://doi.http://ijmm.ir/article-1-397-en.html>
- Salehi Sardoei, A. and Khalili, H. (2020). Phytochemistry of medicinal plants (volume 1). Nowruzi Press. 374 p.
- Schwambach, J., Ruedell, C.M., de Almeida, M.R Penchel, R.M., de Araújo, E.F. and Fett-Neto, A.G. (2008). Adventitious rooting of *Eucalyptus glubus* maidennii mini cutting derived from mini stumps grown in sand bed and intermittent flooding trays: a comparative study. New Forests, 36(3): 261-271.

- Shahdadi, F., Sataie Mokhtari, T. and Salehi Sardoei, A. (2022). Identification of Compounds in Essential Oils of Some Plants in Jiroft Region Using GC/MS. Quarterly Scientific Journal of Technical and Vocational University, 18(4): 189-206.
- Shukla, S., Patra, D., Sinha, A., Saha, R., Tripathi, Y., Borah, N. K., and Shukla, S. K. (2025). Medicinal and aromatic plant cultivation, improvement and conservation for sustainable development. In N. Kumar (Ed.), Industrial Crops Improvement: Biotechnological Approaches for Sustainable Agricultural Development (pp. 183–204). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-75937-6_11
- Sun, J., Jiang, Y., Shi, J., Wei, X., Xue, S., Shi., J. and Yi, C. (2010). Antioxidant activities and contents of polyphenol oxidase substrate from pericarp tissues of litchi fruit. Food Chemistry, 119(2): 753-757.
- Zeinali, H., Hosseini, H. and Shirzadi, M.H. (2014). Effects of nitrogen fertilizer and harvest time on agronomy, essential oil and menthol of *Mentha piperita* L. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 30(3):486-495. DOI: <https://doi.org/10.22092/ijmapr.2014.7684>
- Zewdinesh, D.Z., Beemnet, M.K., Tsion, T.K. (2012). Effects of harvesting age and spacing on leaf yield and essential oil yield of Rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). The African Journal of Plant Science and Biotechnology. 6(1): 9-12.
- Zheljaskov, V.D., Cantrell, C.L., Tekwani, B., and Khan, S.I. (2008). Content, composition, and bioactivity of the essential oils of three basil genotypes as a function of harvesting. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 5: 380–385.