تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد سوم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۰، ص ۲۳۶-۲۲۱

مقاله پژوهشی

ارزیابی تنوع در میزان و ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس اکوتیپ‌های مختلف رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.)

شهرام ریاحی‌نیا [۱*]، مریم دانش گیلوایی [۲]

۱- گروه علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، ایران

۲- دانش آموخته دکتری گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

* مسئول مکاتبه: Sh_riahinia@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰ /۰۷/۰۴ **DOI: 10.22034/CSRAR.2021.299337.1118**

چکیده

رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) یک گیاه دارویی و صنعتی با کاربردهای مختلف غذایی و دارویی است. در این مطالعه درصد اسانس برگ و ترکیب‌های آن در ۱۱ اکوتیپ رازیانه جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جغرافیایی ایران مورد بررسی قرار گرفت. درصد اسانس برگ‌های رازیانه از ۰/۴۷ درصد (اکوتیپ خاش) تا ۱/۵۸ درصد (اکوتیپ ساری) متغیر بود. درصد اسانس برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد آلفاپینن ($r=0/72^*$)، سابینن ($r=0/61^*$)، استات فنچیل درونی ($r=0/64^*$)، فنچون ($r=0/70^*$) و جرماکرون D ($r=0/73^*$) داشت. اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ ترانس آنتول، لیمونن و فنچون بودند. ترانس آنتول از ۳۰/۳۶ درصد (اکوتیپ ساری) تا ۵۶/۶۷ درصد (اکوتیپ قزوین) متغیر بود و با درصد آلفاپینن و جرماکرون D همبستگی منفی داشت. مقدار لیمونن از ۱۵/۴۸ درصد (اکوتیپ فسا) تا ۲۲/۷۹ درصد (اکوتیپ محلات) و مقدار فنچون از ۱/۳۴ درصد (اکوتیپ سردشت) تا ۹/۷۲ درصد (اکوتیپ فسا) متغیر بود. تجزیه به عامل‌ها نشان داد که شش عامل اصلی و مستقل ۸۹/۹۱ درصد از تغییرات کل داده‌ها را توجیه نمودند. تجزیه خوشه‌ای با استفاده از روش وارد با احتمال صحت ۱۰۰ درصد اکوتیپ‌های مورد بررسی را در پنج خوشه مجزا گروه‌بندی کرد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های اصلاحی آینده از طریق تلاقی بین اکوتیپ‌های برتر و آزمون نتاج و انتخاب اکوتیپ‌های برتر، نسبت به تولید اکوتیپ‌های دارای کیفیت مطلوب اسانس اقدام شود.

واژه‌های کلیدی: روغن فرار، سزکوئی ترپن هیدروکربنی، گیاهان دارویی، منوترپن‌ها

مقدمه

گیاهان دارویی امروزه نقش کلیدی در زندگی انسان‌ها پیدا کرده‌اند. محاسبه‌ی دقیق مقدار مصرف سالیانه‌ی گیاهان دارویی در جهان مشکل است، چون اطلاعات محلی جامعی در مورد مصرف گیاهان دارویی وجود ندارد و به شکل‌های متفاوتی (تازه، خشک، دم‌کرده و صنایع داروسازی) استفاده می‌شوند (Bernath, 2000). در مورد اصلاح گیاهان دارویی تاحالا پیشرفت چشمگیری صورت نگرفته است و تعداد رقم‌های اصلاح شده گیاهان دارویی اندک است. هدف از اصلاح گیاهان دارویی، افزایش کمیت و کیفیت مواد مؤثره مهم در صنایع دارویی است (Omidi and Farzin, 2009). رازیانه (*Foeniculum vulgare* Mill.) از خانواده چتریان و از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی و ادویه‌ای ایران است که امروزه از آن در صنایع غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود (Omidbeigi, 1997). عمده‌ترین کشورهای تولید کننده رازیانه شامل هند، مصر، ترکیه، سوریه و ایران هستند و هند در سال ۲۰۱۸ حدود ۱۵۰۰۰۰ تن رازیانه تولید کرده است (NHB, 2019). آنتول موجود در اسانس و میوه رازیانه باعث افزایش ترشح شیرابه‌های گوارشی و کم شدن اسپاسم‌های دستگاه گوارش و در نتیجه افزایش کیفیت هضم می‌گردد (Yazdani *et al*., 2004). وجود منابع ژرم پلاسم گسترده، وجود تنوع ژنتیکی بین گونه‌ها، نیاز آبی کم و مقاومت به خشکی ازجمله عواملی است که اهمیت این گیاه را زیاد کرده است (Izanloo *et al*., 2019). عصاره‌های گیاهی دارای مواد مفیدی مثل فلاونوییدها، ویتامین‌ها، تانن‌ها، آلکالوئیدها، اسانس‌ها، موسیلاژها، ساپونین‌ها، املاح هستند و خاصیت ضد قارچی، ضد باکتریایی و آنتی‌اکسیدانی دارند. عصاره به یکی از سه شکل مایع، نیمه جامد و جامد وجود دارد و طی فرایند پرکولاسیون، ماسراسیون و یا فرایند مناسب دیگر به کمک حلال مناسب تهیه می‌شوند. مواد مؤثره و فعال عصاره به وسیله یک حلال مناسب (آب، کلرو اتیل اتر، الکل اتیلیک با

درجه‌های الکلی مختلف، اتر، دی ایزوپروپیل اتر و اتیلن در کلراید) استخراج می‌شود (Özcan *et al*., 2008).

روغن‌های فرار دارای ترکیبات معطر هستند که استفاده زیادی در صنایع دارویی، عطرسازی و غذایی دارند. اسانس‌ها از بیش از ۲۰۰ نوع ترکیب متفاوت تشکیل شده‌اند. گیاهان متعلق به تیره نعنائیان، مرکبات و چتریان عمده‌ترین تولید کننده اسانس‌های روغنی می‌باشند. اسانس‌های روغنی این ترکیبات عموماً در بیشتر حلال‌های آلی مثل اتیل اتر، اتیل الکل، متیل الکل و هگزان قابلیت انحلال دارند. به اسانس‌ها روغن‌های اتری یا روغن‌های فرار نیز می‌گویند چون در درجه حرارت‌های معمولی اتاق و در اثر مجاورت با هوا تبخیر می‌شوند (Sharifi Rad *et al*., 2017). روغن‌های تری گلیسیرید معمولی و چربی‌ها غیر فرارند و نقطه جوش بالایی دارند بنابراین کاملاً از اسانس‌ها متمایزند. وزن مخصوص اکثر اسانس‌ها معمولاً از آب کمتر است تنها تعداد کمی از اسانس‌ها وزن مخصوص آن‌ها نسبت به آب بیشتر است. به طور کلی، اسانس‌ها با آب نمی‌توانند مخلوط شوند ولی می‌توانند بوی خودشان را به آب منتقل کنند. اسانس‌ها قابلیت انحلال در بیشتر حلال‌های آلی مثل دی اتیل اتر دارند (De Arauz *et al*., 2009).

در تحقیقی، اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ رازیانه را آنتول (۶۰/۰ درصد)، آلفا فلاندرن (۸/۸ درصد)، آلفاپینن (۷/۲ درصد) و فنچون (۳/۶ درصد) گزارش نمودند (Venskutonis *et al*., 1996). در مطالعه دیگری، درصد اسانس به‌دست‌آمده از برگ رازیانه ۰/۶۵ درصد گزارش شد و ترانس آنتول (۵۱/۷ درصد)، آلفاپینن (۹/۱ درصد)، آلفا فلاندرن (۸/۳ درصد)، استراگول (۵/۲ درصد)، بتا فلاندرن (۲/۴ درصد)، بتاپینن (۱/۷ درصد) و میرسین (۱/۳ درصد) اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس بودند (Mojab *et al*., 2007). در بررسی اسانس به‌دست‌آمده از دانه‌ها و برگ‌های رازیانه کشت شده در بنگلادش نشان داده شد که آنتول اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس (۵۸/۵ درصد در اسانس دانه و ۵۱/۱ درصد در اسانس برگ) و بعد از آن لیمونن (۱۹/۶ درصد در اسانس دانه و ۲۲/۹ درصد در اسانس برگ) بود. سایر اجزای موجود در اسانس برگ شامل آنیسالدهید، استات فنچیل و فنچون بودند در حالی که اسانس دانه حاوی فنچون، آلفاپینن، استات فنچیل، گاماترپینن و آنیسالدهید بودند. علاوه بر این، اجزای کوچک مانند کامفین، کامفور، میرسن، پاهلاندرن، اسیمن، بتا بیسابولن و آپیول از دانه‌ها و برگ‌ها به دست آمدند (Chowdhury *et al*., 2009).

در بررسی اسانس به‌دست‌آمده از دانه‌ها و اندام هوایی رازیانه در زمان‌های تقطیر متفاوت نشان داده شد که ترانس آنتول (۳۶-۳۱ درصد)، آلفاپینن (۲۰-۱۴ درصد) و لیمونن (۱۳-۱۱ درصد) اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس به‌دست‌آمده از اندام هوایی بودند در حالی‌که متیل چاویکول (استراگول) (۸۸-۷۹ درصد) اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس به‌دست‌آمده از دانه بود (Miguel *et al*., 2010).

در بررسی ۱۲ اکوتیپ رازیانه ایرانی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف جغرافیایی، عملکرد اسانس برگ‌های رازیانه از ۰/۶۵ درصد (نمونه ورامین) تا ۲/۰۳ درصد (نمونه تبریز) متغیر بود. در همه نمونه‌های آزمایش شده، بیشترین مقدار مربوط به ترانس آنتول، فنچون و لیمونن بود. ترانس آنتول از ۴۱/۱۹ درصد (نمونه شیروان) تا ۵۶/۶ درصد (نمونه تبریز) متغیر بود. نتایج تجزیه خوشه‌ای با روش حداقل واریانس Ward با توجه به ترکیبات اصلی عصاره، اکوتیپ‌ها را در دو خوشه قرار داد. خوشه اول دارای ترانس آنتول، فنچون و لیمونن بالا بودند. خوشه اول دارای دو گروه بود. گروه اول شامل اکوتیپ‌های بوشهر، تبریز، شیراز و کرمان بود که ترانس آنتول بالاتری نسبت به خوشه‌های دیگر داشت. گروه دوم شامل اکوتیپ‌های همدان، اصفهان، ورامین و پاوه بود که لیمونن بالاتری نسبت به گروه‌های دیگر داشت. خوشه سوم شامل اکوتیپ‌های تهران، مشهد، شیروان و کاشان بود که ترانس آنتول، فنچون و لیمونن کمتری نسبت به گروه‌های دیگر داشت (Rahimmalek *et al*., 2014). در مطالعه اسانس به‌دست‌آمده از برگ سبز رازیانه درصد اسانس ۰/۰۱ درصد گزارش شد و آنتول و متیل کاویکول (۷۵/۲۸)، ۴- آلیل آنیزول (۹/۳۰)، گاماترپینن (۶/۱۷)، میرسین (۰/۱)، بتاپینن (۰/۰۴)، کامفن (۰/۰)، آلفاپینن (۰/۱) اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس بودند (Saxena *et al*., 2018). در ارزیابی اسانس به‌دست‌آمده از اندام هوایی، دانه‌ها و باقیمانده گیاه بعد از برداشت دانه رازیانه نشان داده شد که در اندام هوایی ترانس آنتول (۷۱/۵ درصد)، لیمونن (۱۰/۸۸ درصد) و فنچون (۹/۹۷ درصد)، در دانه ترانس آنتول (۴۵/۴۸ درصد)، لیمونن (۸/۵ درصد) و آلفاپینن (۴/۶۰ درصد) و در باقیمانده گیاه بعد از برداشت دانه ترانس آنتول (۶۱/۵ درصد)، لینالول (۷/۹۱ درصد) و متیل چاویکول

(۷/۳۹ درصد) اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس بودند. همچنین درصد اسانس به ترتیب در اندام هوایی، دانه‌ها و باقیمانده گیاه بعد از برداشت دانه ۰/۴۹، ۱/۱۳ و ۰/۱۸ درصد گزارش نمودند (Wahba *et al*., 2018).

در طبیعت، رازیانه به علت برداشت‌های بی‌رویه به زودی در ردیف گونه‌های در خطر انقراض قرار می‌گیرد و اگر در راستای نگهداری آن اقدامات حفاظتی انجام نشود خطر فرسایش ژنتیکی دور از انتظار نیست؛ بنابراین، اطلاع از تنوع ژنتیکی برای مدیریت گونه‌های در حال انقراض و کمیاب ضروری است. اولین قدم در اصلاح گیاهان دارویی، انتخاب بهترین و مناسب‌ترین پایه‌ها است. بنابراین ضروری است که ابتدا مواد ژنتیکی را جمع آوری و ارزیابی کرده، سپس انواع روش‌های اصلاحی را بر آن اعمال کرد (Bahmani *et al*., 2012).

با توجه به اهمیت و کاربرد اسانس‌ها در صنایع مختلف دارویی، غذایی و آرایشی و بهداشتی، استخراج و مطالعه اجزای تشکیل دهنده آنها از مواد گیاهی مختلف بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در ایران، مطالعه کمی در مورد تنوع محتوای اسانس موجود در برگ رازیانه صورت گرفته است بنابراین معرفی اکوتیپ‌هایی از رازیانه که ترانس آنتول یا لیمونن بالا دارند برای اهداف صنعتی بسیار ارزشمند خواهد بود. برای بهبود اسانس در برنامه‌های اصلاحی، ارزیابی میزان اسانس در جمعیت‌های طبیعی رازیانه الزامی است (Rahimmalek *et al*., 2014).

هدف از انجام این تحقیق بررسی برآورد میزان اسانس و بررسی تنوع ترکیب اسانس در اکوتیپ‌های مختلف رازیانه ایرانی و دسته‌بندی اکوتیپ‌های رازیانه با توجه به ترکیب اسانس بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف بررسی میزان درصد اسانس و ترکیبات اسانس در ۱۱ اکوتیپ مختلف رازیانه که از مناطق مختلف کشور جمع‌آوری شده بودند (جدول ۱) در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. این پژوهش در گلخانه دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه پیام نور قم واقع در استان قم در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۹۳۷ متر در سال ۱۳۹۸ اجرا شد. دانه‌های رازیانه در گلدان‌های با ارتفاع و قطر متوسط ۳۰ سانتی‌متر حاوی پنج کیلوگرم خاک مخلوط (به نسبت ۱:۱:۲ از خاک رس، کمپوست و ماسه) کشت شدند. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک گلدان در جدول ۲ نشان داده شده است. بذرها در عمق ۰/۵ سانتی‌متر کشت شدند و هر سه روز آبیاری صورت گرفت. استخراج اسانس با روش تقطیر با آب (Water distillation) (Angelov and Boyadzhieva, 2014) و دستگاه کلونجر در دانشکده علوم پایه دانشگاه گیلان انجام شد. ابتدا برگ‌های جوان در سایه و دمای معمولی اتاق خشک شدند و ۵۰-۶۰ گرم نمونه برگ رازیانه پودر شده در بالن مخصوص دستگاه کلونجر (Clevenger) ریخته شد و ۴۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه گردید و دستگاه به مدت پنج ساعت روشن بود و سپس اسانس استخراج شد و اسانس درون شیشه تیره در دمای ۴- درجه سانتی‌گراد در یخچال نگهداری شد. جداسازی و شناسایی ترکیبات توسط کروماتوگرافی گازی – طیف سنجی جرمی (GC-MS: Gas chromatography Mass Spectrometry) مدل Agilent – 7890A صورت گرفت (نوع ستون دستگاه HP-5MS بود که ۳۰ متر طول و ۰/۲۵ میلی‌متر قطر داشت، انرژی یونیزاسیون برابر ۷۰ الکترون ولت بود و از گاز هلیوم با سرعت ۱ میلی‌لیتر در دقیقه استفاده شد). برای شناسایی ترکیبات، یک میکرولیتر از اسانس رقیق شده به دستگاه GC تزریق شد و برنامه‌ریزی دمایی دستگاه به صورت زیر تنظیم شد. دمای اولیه آون ۶۸ درجه سانتی‌گراد که برای مدت ۳ دقیقه در این دما ثابت بود و با گرادیان ۵ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه تا دمای ۲۲۸ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده و برای مدت ۵ دقیقه در این دما ثابت بود. برای شناسایی ترکیب‌های موجود در اسانس از شاخص‌های بازداری استفاده شد و در کتابخانه‌های کامپیوتری دستگاه کروماتوگراف طیف سنج جرمی، طیف‌های جرمی پیشنهادی بررسی شدند و این پارامترها با ترکیب‌های استاندارد مقایسه شدند (Adams, 2001).

بعد از جمع‌آوری اطلاعات، همبستگی بین صفات با استفاده از روش پیرسون انجام شد. برای تعیین نقش هر یک از صفات اندازه‌گیری شده در ایجاد تنوع بین اکوتیپ‌های مورد بررسی، از تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و برای گروه‌بندی آنها از تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) استفاده گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

جدول ۱- فهرست اکوتیپ‌های رازیانه مورد بررسی جمع‌آوری شده از مناطق مختلف کشور

Table 1- List of studied fennel ecotypes collected from different regions of the country

شماره number	منطقه region	استان county	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)
1	اراک Arak	مرکزی Markazi	49 46 E	34 6 N	1708
2	اردبیل Ardebil	اردبیل Ardebil	48 17 E	38 15 N	1332
3	فسا Fasa	فارس Fars	53 41 E	28 58 N	1288
4	حاجی آباد Hajiabad	هرمزگان Hormozgan	55 55 E	28 19 N	931
5	خاش Khash	سیستان و بلوچستان Sistan and Balochestan	61 12 E	28 13 N	1405
6	محلات Mahalat	مرکزی Markazi	50 45 E	33 91 N	1775
7	مغان Moghan	اردبیل Ardebil	47 55 E	39 39 N	31
8	قزوین Ghazvin	قزوین Ghazvin	50 0 E	36 15 N	1278
9	سبزه وار Sabzevar	خراسان رضوی Khorasan Razavi	57 43 E	36 12 N	987
10	سردشت Sardasht	آذربایجان غربی Western Azerbaijan	45 30 E	36 9 N	1670
11	ساری Sari	مازندران Mazandaran	53 0 E	36 33 N	23

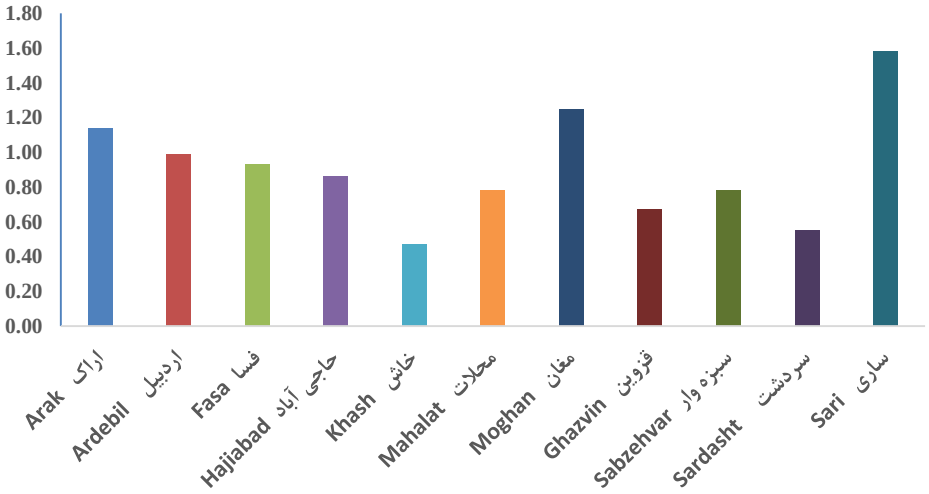
جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه

Table 2- Some physical and chemical properties of the studied soil

ویژگی‌های فیزیکی Physical characteristics	واحد Unit	مقادیر Amount
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	$dS.m^{-1}$	1.4
اسیدیته Acidity (pH)	-	7.6
نیتروژن Nitrogen	%	0.4
فسفر Phosphorus	$mg.kg^{-1}$	59
پتاسیم Potassium	$mg.kg^{-1}$	720
آهن Ferrum	$mg.kg^{-1}$	375
روی Zinc	$mg.kg^{-1}$	87
مس Copper	$mg.kg^{-1}$	4.5
منگنز manganese	$mg.kg^{-1}$	77
شن Sand	%	20.2
رس Clay	%	41.3
لای Loam	%	2.8
بافت خاک Soil texture	لوم رسی سیلتی Silty Clay Loam	

نتایج

درصد اسانس در اکوتیپ‌های مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. اکوتیپ خاش کمترین مقدار (۰/۴۷ درصد) و اکوتیپ ساری بیشترین مقدار (۱/۵۸ درصد) را به خود اختصاص داد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل GC-MS ترکیبات اسانس نشان داد که تنوع زیادی در اجزای اسانس موجود در رازیانه ایرانی وجود داشت. از میان ۱۸ ترکیب شناسایی شده در اجزای اسانس، ۱۱ ترکیب منوترپن هیدروکربنی، ۵ ترکیب منوترپن اکسیژن‌دار و ۲ ترکیب سزکوئی ترپن هیدروکربنی بودند. در اکوتیپ‌های مورد مطالعه با توجه به جدول ۳، اکوتیپ ساری بیشترین درصد منوترپن هیدروکربنی و سزکوئی ترپن هیدروکربنی و کمترین درصد منوترپن اکسیژن‌دار را به خود اختصاص داد. اکوتیپ قزوین بیشترین درصد سزکوئی ترپن هیدروکربنی و کمترین درصد منوترپن اکسیژن‌دار را به خود اختصاص داد و در نهایت، اکوتیپ خاش کمترین درصد منوترپن هیدروکربنی را به خود اختصاص داد. ترانس آنتول (۴۴/۵۸ درصد)، لیمونن (۱۸/۴۱ درصد)، فنچون (۴/۵۹ درصد)، آلفا پینن (۲/۸۶ درصد)، بتا اسمین Z (۲/۴۷ درصد)، استات فنچیل بیرونی (۱/۶۶ درصد)، استات فنچیل درونی (۱/۴۳ درصد) و آلفا فلاندرین (۱/۴۷ درصد) به ترتیب بیشترین ترکیب موجود در اسانس به‌دست‌آمده از برگ‌های رازیانه بودند.



شکل ۱- درصد اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Figure 1- The percentage of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel.

به طور کلی اکوتیپ فسا بیشترین درصد کامفن، آلفافلاندرن، گاماترپین، فنچون، کامفور و استات فنچیل بیرونی و کمترین درصد بتاپینن و لیمونن را به خود اختصاص داد. اکوتیپ مغان بیشترین درصد سابینن، بتاپینن و استات فنچیل درونی را به خود اختصاص داد. اکوتیپ محلات بیشترین درصد لیمونن و بتااسیمن و کمترین درصد آلفافلاندرن و گاماترپین را به خود اختصاص داد. اکوتیپ ساری بیشترین درصد آلفا پینن، بتامیرسن و جرماکرون D و کمترین درصد ترانس آنتول را به خود اختصاص داد. اکوتیپ قزوین بیشترین درصد ترانس آنتول و بتااسیمن E و کمترین درصد کامفن، کامفور، استات فنچیل درونی، آلفاکوپائن و جرماکرون D را به خود اختصاص داد. اکوتیپ سردشت بیشترین درصد آلفاکوپائن و کمترین درصد بتامیرسن، بتااسیمن Z، بتااسیمن E، فنچون و سیس آنتول را به خود اختصاص داد (جدول ۳).

ضرایب همبستگی ساده پیرسون بین ترکیبات مختلف اندازه‌گیری شده نشان داد که ترکیب‌های منوترپن اکسیژن‌دار همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد سزکوئی ترپن هیدروکربنی ($r= -۰/۶۸^{*}$) داشتند. درصد اسانس برگ همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد آلفاپینن ($r=۰/۷۱^{*}$)، سابینن ($r=۰/۶۱^{*}$)، استات فنچیل درونی ($r=۰/۶۴^{*}$)، فنچون ($r=۰/۷۰^{*}$) و جرماکرون D ($r=۰/۷۳^{*}$) داشت.

جدول ۳- مقدار درصد اسانس و ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 3- Content of essential oil and composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

ترکیب اسانس Composition of Essential Oils	شاخص بازداری کوآتس Kovats Retention Index	اراک Arak	اردبیل Ardebil	فسا Fasa	حاجی آباد Hajiabad	خاش Khash	محلات Mahalat	مغان Moghan	قزوین Ghazvin	سبزه‌وار Sabzevar	سردشت Sardasht	ساری Sari
درصد اسانس Essential oils (%)	-	1.14	0.99	0.93	0.86	0.47	0.78	1.25	0.67	0.78	0.55	1.58
منوترپن هیدروکربنی Monoterpene Hydrocarbon												
آلفا پینن α-Pinene	936	3.27	2.81	0.7	4.32	0.62	1.62	3.44	0.68	4.62	2.43	6.99
کامفن Camphene	953	0.18	0.11	0.23	0.21	0.08	0.09	0.1	0.06	0.09	0.11	0.13
سابینن Sabinene	976	0.28	0.36	0.26	0.13	0.07	0.19	0.39	0.23	0.17	0.19	0.24
بتاپینن β-Pinene	982	0.23	0.42	0.04	0.08	0.05	0.17	0.63	0.09	0.05	0.07	0.16
بتامیرسن β-Myrcene	991	0.48	0.42	0.38	0.76	0.51	0.64	0.39	0.25	0.63	0.21	0.87
آلفافلاندرن α -Phellandrene	1003	3.11	2.47	4.87	0.73	0.29	0.13	1.1	0.15	0.17	0.88	2.26
لیمونن Limonene	1034	16.32	17.69	15.48	19.71	15.91	22.79	20.24	20.48	18.23	18.37	17.31
بتااسیمن Z β-ocimene Z	1040	3.11	2.13	3.78	2.36	2.38	2.55	1.41	3.82	1.2	1.12	3.32
بتااسیمن E β-ocimene E	1047	0.11	0.12	0.09	0.21	0.17	0.22	0.09	0.14	0.12	0.08	0.14
گاماترپین γ-Terpinene	1060	0.14	0.09	0.19	0.08	0.16	0.08	0.18	0.14	0.18	0.15	0.13
فنچون Fenchone	1092	4.52	1.67	9.72	7.21	1.37	2.99	8.73	2.69	1.38	1.34	8.84

ادامه جدول ۳

ترکیب اسانس Composition of Essential Oils	شاخص بازداری کوآتس Kovats Retention Index	اراک Arak	اردبیل Ardebil	فسا Fasa	حاجی آباد Hajiabad	خاش Khash	محلات Mahalat	مغان Moghan	قزوین Ghazvin	سبزه‌وار Sabzehvar	سردشت Sardasht	ساری Sari
منوترپن اکسیژن‌دار Oxygenated Monoterpene												
کامفور Camphor	1218	0.06	0.12	0.18	0.11	0.08	0.1	0.16	0.04	0.09	0.08	0.13
استات فنچیل درونی Fenchyl acetate (endo)	1228	2.1	1.37	1.13	0.82	1.64	1.37	2.23	0.79	1.21	1.12	1.98
استات فنچیل بیرونی Fenchyl acetate (exo)	1253	0.89	1.15	3.45	0.97	1.32	1.45	2.48	2.13	1.1	1.12	2.17
سیس آنتول cis-Anethole	1290	1.06	1.07	1.53	1.32	1.47	1.64	1.21	1.09	2.75	0.98	1.45
ترانس آنتول trans-Anethole	1382	42.63	48.37	50.01	38.37	54.45	52.21	44.89	56.67	35.11	37.27	30.36
سزکوئی ترپن هیدروکربنی Sesquiterpene Hydrocarbon												
آلفاکوپائن α-Copaene	1482	0.15	0.09	0.08	0.09	0.13	0.09	0.16	0.08	0.17	0.24	0.09
جرماکرون D Germacrene D	1487	0.13	0.14	0.11	0.14	0.09	0.12	0.18	0.09	0.19	0.15	0.94
کل Total		78.77	80.60	92.23	77.62	80.79	88.45	88.01	89.62	67.46	65.91	77.51
منوترپن هیدروکربنی Monoterpene Hydrocarbon		31.75	28.29	35.74	35.80	21.61	31.47	36.70	28.73	26.84	24.95	40.39
منوترپن اکسیژن‌دار Oxygenated Monoterpene		46.74	52.08	56.30	41.59	58.96	56.77	50.97	60.72	40.26	40.57	36.09
سزکوئی ترپن هیدروکربنی Sesquiterpene Hydrocarbon		0.28	0.23	0.19	0.23	0.22	0.21	0.34	0.17	0.36	0.39	1.03

جدول ۴- همبستگی ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 4- Correlation coefficients between composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

ترکیب اسانس	composition of essential oils	درصد اسانس Essential oils (%)	آلفا پینن α-Pinene	کامفن Camphene	سابینن Sabinene	بتاپینن β-Pinene	بتامیرسن β-Myrcene	آلفافلاندرن α -Phellandrene	لیمونن Limonene	بتااسیمن Z β-ocimene Z	بتااسیمن E β-ocimene E	گاماترپین γ-Terpinene	فنچون Fenchone	کامفور Camphor	استات فنچیل درونی Fenchyl acetate (endo)	استات فنچیل بیرونی Fenchyl acetate (exo)	سیس آنتول cis-Anethole	ترانس آنتول trans-Anethole	آلفاکوپائن α-Copaene
آلفا پینن	α-Pinene	0.72*	1																
کامفن	Camphene	0.30	0.14	1															
سابینن	Sabinene	0.61*	0.14	0.05	1														
بتاپینن	β-Pinene	0.51	0.18	-0.17	0.83**	1													
بتامیرسن	β-Myrcene	0.47	0.69*	0.22	-0.30	-0.14	1												
آلفافلاندرن	α -Phellandrene	0.48	0.01	0.73*	0.47	0.09	-0.08	1											
لیمونن	Limonene	-0.10	-0.02	-0.42	0.05	0.23	0.05	-0.64*	1										
بتااسیمن Z	β-ocimene Z	0.23	-0.23	0.33	0.02	-0.29	0.08	0.47	-0.20	1									
بتااسیمن E	β-ocimene E	-0.19	-0.01	-0.07	-0.57	-0.28	0.60*	-0.49	0.48	0.17	1								
گاماترپین	γ-Terpinene	-0.02	-0.15	-0.02	0.10	-0.04	-0.39	0.23	-0.48	-0.08	0.71*	1							
فنچون	Fenchone	0.70*	0.33	0.64*	0.35	0.23	0.31	0.56	-0.12	0.39	-0.12	0.18	1						
کامفور	Camphor	0.49	0.18	0.47	0.43	0.37	0.19	0.55	-0.16	-0.02	-0.23	0.22	0.73**	1					
استات فنچیل درونی	Fenchyl acetate (endo)	0.64*	0.36	-0.06	0.44	0.61*	0.20	0.23	-0.22	-0.09	-0.27	0.24	0.30	0.24	1				
استات فنچیل بیرونی	Fenchyl acetate (exo)	0.31	-0.21	0.22	0.36	0.10	-0.19	0.49	-0.12	0.48	-0.34	0.51	0.68*	0.65*	0.07	1			
سیس آنتول	cis-Anethole	-0.09	0.24	-0.13	-0.35	-0.33	0.44	-0.24	0.01	-0.26	0.15	0.29	-0.13	0.09	-0.12	-0.04	1		
ترانس آنتول	trans-Anethole	-0.49	-0.90**	-0.26	0.01	0.04	-0.50	-0.07	0.15	0.37	0.20	-0.03	-0.25	-0.16	-0.21	0.24	-0.26	1	
آلفاکوپائن	α-Copaene	-0.25	0.09	-0.22	-0.05	0.05	-0.38	-0.24	-0.10	-0.75**	-0.52	0.42	-0.36	-0.22	0.19	-0.37	0.04	-0.40	1
جرماکرون D	Germacrene D	0.73*	0.77**	0.02	0.09	0.02	0.61*	0.15	-0.14	0.19	-0.01	-0.04	0.42	0.24	0.40	0.18	0.08	0.63*	-0.15

درصد آلفاپینن همبستگی مثبت و معنی‌داری با بتامیرسن (r=۰/۶۹*) و جرماکرون D (r=۰/۷۷**) و همبستگی منفی و معنی‌داری با درصد ترانس آنتول (r= -۰/۹۰**) داشت. بنابراین مقدار ترانس آنتول با افزایش درصد آلفاپینن اسانس کاهش یافت. درصد کامفن همبستگی مثبت و معنی‌داری با آلفافلاندرن (r=۰/۷۳*) و فنچون (r=۰/۶۴**) داشت. درصد بتاپینن همبستگی مثبت و معنی‌داری با سابینن (r=۰/۸۳**) و استات فنچیل درونی (r=۰/۶۱*) داشت. درصد بتامیرسن همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد آلفاپینن (r=۰/۶۹*)، با درصد بتااسیمن E (r=۰/۶۰*) و با جرماکرون D (r=۰/۶۱*) داشت. درصد آلفافلاندرن همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد کامفن (r=۰/۷۳*) و همبستگی منفی و معنی‌داری با لیمونن (r= -۰/۶۴*) داشت. درصد بتااسیمن Z همبستگی منفی و معنی‌داری با آلفاکوپائن (r= -۰/۷۵**) داشت. درصد بتااسیمن E همبستگی منفی و معنی‌داری با گاماترپین (r= -۰/۷۱*) داشت. درصد فنچون همبستگی مثبت و معنی‌داری با کامفور (r=۰/۷۳**) و استات فنچیل بیرونی (r=۰/۶۸*) داشت. درصد کامفور همبستگی مثبت و معنی‌داری با فنچون (r=۰/۷۳**) و استات فنچیل بیرونی (r=۰/۶۵*) داشت. درصد جرماکرون D همبستگی مثبت و معنی‌داری با درصد اسانس برگ (r=۰/۷۳*)، آلفاپینن (r=۰/۷۷**) و بتامیرسن (r=۰/۶۱*) داشت (جدول ۴).

با توجه به وجود تنوع میان اکوتیپ‌های مورد بررسی، برای تعیین نقش هر یک از ترکیب‌های موجود در اسانس در تنوع موجود تجزیه به عامل انجام شد. نتایج تجزیه به عامل ترکیب‌های موجود در اسانس مورد مطالعه در جدول ۵ آمده است. بیشترین سهم را در واریانس مشترک عامل‌های استخراج شده صفات درصد اسانس و ترکیب‌های گروه منوترپن هیدروکربنی شامل آلفاپینن، گاماترپین، بتاپینن، بتامیرسن، آلفافلاندرن و کامفن و بتااسیمن Z داشتند و کمترین سهم مربوط به دو ترکیب از گروه منوترپن اکسیژن‌دار شامل استات فنچیل درونی و سیس آنتول بود. صفات مورد مطالعه در شش عامل گروه‌بندی شدند که ۸۹/۹۱ درصد تغییرات داده‌ها را به‌شرح زیر توجیه کردند: عامل اول ۲۸/۳۵ درصد تغییرات کلی داده‌ها را تبیین کرد. در این عامل صفات درصد اسانس، آلفاپینن، فنچون، آلفافلاندرن، کامفور، کامفن، استات فنچیل درونی و بیرونی، سابینن و جرماکرون D همبستگی بالاتری را نسبت به سایر ترکیب‌های همبسته موجود در اسانس با عامل اول به خود اختصاص دادند و ضرایب عاملی همه ترکیب‌ها مثبت بودند. ضرایب بالای ترکیب‌های مذکور نشان می‌دهد که این ترکیب‌ها در این عامل دارای بالاترین میزان تنوع بوده و سایر ترکیب‌ها دارای تنوع کمتری هستند؛ بنابراین انتخاب جهت بهبود یا افزایش این ترکیب‌ها در این عامل کارایی خواهد داشت. عامل دوم ۱۹/۱۱ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. بزرگترین ضرایب عاملی مربوط به بتامیرسن، آلفاپینن، بتااسیمن E، استات فنچیل بیرونی، ترانس آنتول و جرماکرون D بود که ضریب عاملی استات فنچیل بیرونی و ترانس آنتول منفی و بقیه صفات مثبت بود. عامل سوم ۱۶/۳۵ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مربوط به ترکیب‌های بتااسیمن Z، بتااسیمن E و آلفاکوپائن بودند که ضریب عاملی آلفاکوپائن منفی و بقیه صفات مثبت بودند. عامل چهارم ۱۲/۴۹ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مربوط به بتاپینن، سابینن، لیمونن و گاماترپین بود که ضریب عاملی گاماترپین منفی و بقیه صفات مثبت بودند. عامل پنجم ۷/۵۳ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مثبت مربوط به استات فنچیل بیرونی و سیس آنتول بودند و در نهایت عامل ششم ۶/۱۰ درصد تغییرات کلی داده‌ها را توجیه کرد. ضرایب عاملی معنی‌دار مثبت مربوط به کامفن بود.

برای گروه‌بندی اکوتیپ‌ها، تجزیه خوشه‌ای به روش وارد (Ward) بر روی ترکیب‌های موجود در اسانس انجام شد. از تجزیه تابع تشخیص برای بررسی صحت گروه‌بندی در روش تجزیه کلاستر استفاده شد که نتایج حاصل در جدول ۶ نمایش داده شده است. احتمال صحت گروه‌بندی با تابع تشخیص برای ۵ خوشه، ۱۰۰ درصد بود بنابراین احتمال انتساب اشتباه اکوتیپ‌ها به گروهی که متعلق به آن نبودند صفر درصد بود. گروه‌بندی اکوتیپ‌ها با روش وارد (شکل ۲) اکوتیپ‌ها را در پنج گروه (سه اکوتیپ در خوشه اول، یک اکوتیپ در خوشه دوم، چهار اکوتیپ در خوشه سوم، دو اکوتیپ در خوشه چهارم و یک اکوتیپ در خوشه پنجم) قرار داد. مقایسه میانگین برای صفات مورد نظر نیز انجام شد (جدول ۷). اکوتیپ‌های خوشه اول و دوم بیشترین مقدار منوترپن هیدروکربنی و منوترپن اکسیژن‌دار را نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل به خود اختصاص دادند. اکوتیپ‌های خوشه سوم بیشترین مقدار منوترپن

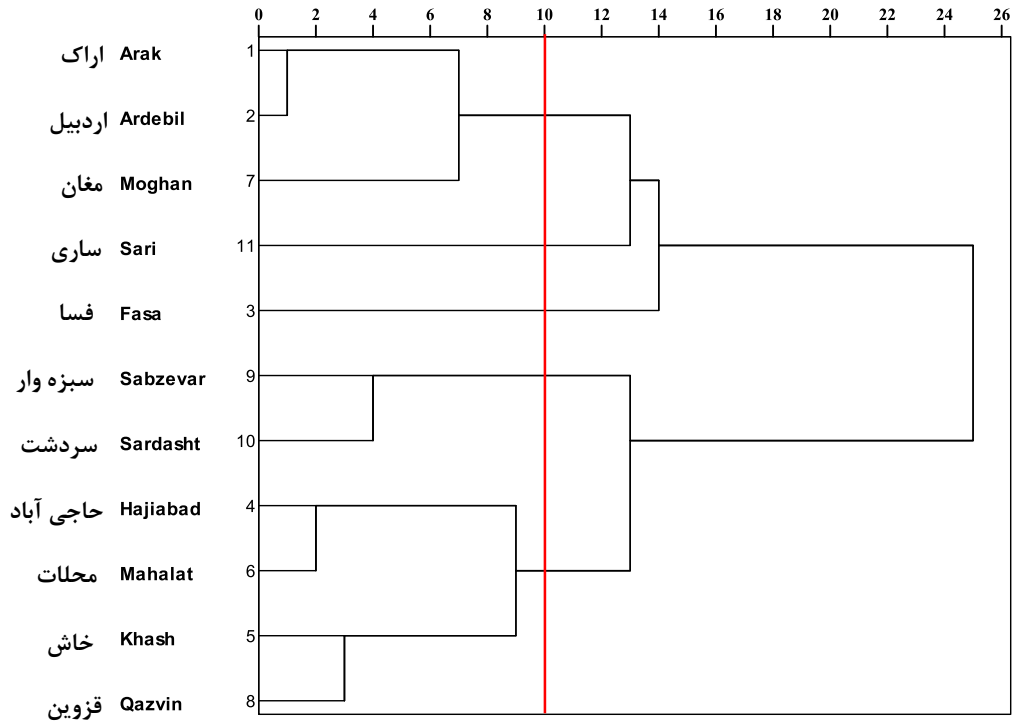
اکسیژن‌دار، خوشه چهارم بیشترین مقدار سزکوئی ترپن هیدروکربنی و خوشه پنجم بیشترین مقدار منوترپن هیدروکربنی و سزکوئی ترپن هیدروکربنی را نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل به خود اختصاص دادند. در خوشه اول اکوتیپ‌های اراک، اردبیل و مغان قرار گرفتند و از نظر میانگین درصد سابینن و بتاپینن (متعلق به گروه منوترپن هیدروکربنی) نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. اکوتیپ‌های خوشه اول دارای کمترین درصد سیس آنتول (متعلق به گروه منوترپن اکسیژن‌دار) نسبت به خوشه‌های دیگر بودند.

جدول ۵- ضرایب عامل‌های مشترک، واریانس‌های نسبی و تجمعی و میزان اشتراک عامل‌ها در ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 5- Coefficients of common factor, relative variance and cumulative variance and percentage for composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

ترکیب اسانس Composition of Essential Oils	ضرایب عامل‌های مشترک Coefficients of the Common Factor						واریانس مشترک Common Variance
	1	2	3	4	5	6	
درصد اسانس Essential oils (%)	0.90	0.28	-0.05	0.25	-0.05	-0.14	0.98
آلفا پینن α-Pinene	0.52	0.77	-0.28	-0.05	-0.08	0.00	0.95
کامفن Camphene	0.53	-0.08	0.39	-0.37	-0.36	0.50	0.95
سابینن Sabinene	0.60	-0.37	-0.31	0.53	-0.05	0.06	0.88
بتاپینن β-Pinene	0.41	-0.15	-0.44	0.74	0.05	0.12	0.94
بتامیرسن β-Myrcene	0.30	0.86	0.30	-0.07	0.10	0.00	0.94
آلفافلاندرن α -Phellandrene	0.73	-0.43	0.21	-0.25	-0.32	0.08	0.92
لیمونن Limonene	-0.35	0.27	0.05	0.66	0.35	0.23	0.81
بتااسیمن Z β-ocimene Z	0.27	-0.23	0.79	-0.01	-0.14	-0.43	0.96
بتااسیمن E β-ocimene E	-0.39	0.57	0.61	0.26	0.08	0.07	0.93
گاماترپین γ-Terpinene	0.23	-0.48	-0.40	-0.54	0.41	-0.22	0.95
فنچون Fenchone	0.85	-0.03	0.30	0.00	0.17	0.18	0.87
کامفور Camphor	0.73	-0.14	0.08	-0.01	0.37	0.43	0.88
استات فنچیل درونی Fenchyl acetate (endo)	0.56	0.08	-0.44	0.24	-0.04	-0.35	0.69
استات فنچیل بیرونی Fenchyl acetate (exo)	0.56	-0.51	0.30	-0.05	0.51	-0.10	0.94
سیس آنتول cis-Anethole	-0.10	0.40	-0.07	-0.46	0.63	0.05	0.78
ترانس آنتول trans-Anethole	-0.42	-0.64	0.41	0.35	0.16	-0.16	0.93
آلفاکوپائن α-Copaene	-0.22	-0.04	-0.87	-0.29	-0.12	0.12	0.91
جرماکرون D Germacrene D	0.61	0.57	-0.01	-0.06	0.03	-0.42	0.87
واریانس نسبی Relative variance	28.35	19.11	16.35	12.49	7.53	6.10	
واریانس تجمعی Cumulative variance (%)	28.35	47.46	63.80	76.29	83.81	89.91	
مقادیر ویژه Eigenvalue	5.39	3.63	3.11	2.37	1.43	1.16	

در خوشـــه دوم اکوتیپ فســـا قرار گرفت و از نظر میانگین تعدادی از ترکیب‌های گروه منوترپن هیدروکربنی شـامل کامفن، آلفافلاندرن، بتااسیمن Z، گاماترپین، فنچون، کامفور و دو ترکیب از گروه منوترپن اکسیژن‌دار شامل استات فنچیل بیرونی و ترانس آنتول نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل بیشترین مقدار را به خود اختصـاص داد. اکوتیپ خوشـه دوم دارای کمترین درصد آلفا پینن، بتاپینن، بتامیرســـن، لیمونن، بتااســـیمن E، اســـتات فنچیل درونی، آلفاکوپائن و جرماکرون D نسـبت به خوشـه‌های دیگر بودنـد. در خوشـــه ســـوم اکوتیپ‌های حاجی آباد، خاش، محلـات و قزوین قرار گرفتنـد و از نظر میانگین اجزای درصـــد لیمونن و بتااسـیمن E نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند.



شکل ۲- دندروگرام تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌های مورد بررسی رازیانه با استفاده از روش وارد

Figure 2- Dendrogram of cluster analysis in studied ecotypes of fennel by Ward method.

جدول ۶- نتایج تجزیه تابع تشخیص برای صحت گروه‌بندی در اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 6- Result of discriminant analysis for original grouped cases correctly classified in studied ecotypes of fennel

		گروه‌بندی Grouping	تعداد افراد پیش بینی شده در هر گروه Predicted group membership					جمع کل Total
			1	2	3	4	5	
اصلی Original	مجموع Count	1	3					3
		2		1				1
		3			2			2
		4				4		4
		5					1	1
	درصد %	1	100					100
		2		100				100
		3			100			100
		4				100		100
		5					100	100

جدول ۷- میانگین تجزیه خوشه‌ای برای ترکیب‌های موجود در اسانس برگ اکوتیپ‌های رازیانه مورد مطالعه

Table 7- The mean of cluster analysis for composition of leaf essential oils in studied ecotypes of fennel

ترکیب اسانس Composition of Essential Oils	میانگین و انحراف معیار Mean and Standard Error					میانگین کل Total mean
	خوشه ۱ Cluster 1	خوشه ۲ Cluster 2	خوشه ۳ Cluster 3	خوشه ۴ Cluster 4	خوشه ۵ Cluster 5	
درصد اسانس Essential oils (%)	1.13 ± 0.08	0.93 ± 0.00	0.70 ± 0.08	0.67 ± 0.12	1.58 ± 0.00	0.91 ± 0.10
منوترپن هیدروکربنی Monoterpene Hydrocarbon	2.93 ± 0.22	3.25 ± 0.00	2.67 ± 0.27	2.35 ± 0.08	3.67 ± 0.00	2.83 ± 0.15
آلفا پینن α-Pinene	3.17 ± 0.19	0.70 ± 0.00	1.81 ± 0.87	3.53 ± 1.10	6.99 ± 0.00	2.86 ± 0.60
کامفن Camphene	0.13 ± 0.03	0.23 ± 0.00	0.11 ± 0.03	0.10 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.13 ± 0.02
سابینن Sabinene	0.34 ± 0.03	0.26 ± 0.00	0.16 ± 0.04	0.18 ± 0.01	0.24 ± 0.00	0.23 ± 0.03
بتاپینن β-Pinene	0.43 ± 0.12	0.04 ± 0.00	0.10 ± 0.03	0.06 ± 0.01	0.16 ± 0.00	0.18 ± 0.06
بتامیرسن β-Myrcene	0.43 ± 0.03	0.38 ± 0.00	0.54 ± 0.11	0.42 ± 0.21	0.87 ± 0.00	0.50 ± 0.06
آلفافلاندرن α -Phellandrene	2.23 ± 0.59	4.87 ± 0.00	0.33 ± 0.14	0.53 ± 0.36	2.26 ± 0.00	1.47 ± 0.46
لیمونن Limonene	18.08 ± 1.15	15.48 ± 0.00	19.72 ± 1.43	18.30 ± 0.07	17.31 ± 0.00	18.41 ± 0.67
بتااسیمن Z β-ocimene Z	2.22 ± 0.49	3.78 ± 0.00	2.78 ± 0.35	1.16 ± 0.04	3.32 ± 0.00	2.47 ± 0.29
بتااسیمن E β-ocimene E	0.11 ± 0.01	0.09 ± 0.00	0.19 ± 0.02	0.10 ± 0.02	0.14 ± 0.00	0.14 ± 0.01
گاماترپین γ-Terpinene	0.14 ± 0.03	0.19 ± 0.00	0.12 ± 0.02	0.17 ± 0.02	0.13 ± 0.00	0.14 ± 0.01
فنچون Fenchone	4.97 ± 2.05	9.72 ± 0.00	3.57 ± 1.26	1.36 ± 0.02	8.84 ± 0.00	4.59 ± 1.02
منوترپن اکسیژن‌دار Oxygenated Monoterpene	9.99 ± 0.32	11.26 ± 0.00	10.90 ± 0.88	8.08 ± 0.03	7.22 ± 0.00	9.84 ± 0.52
کامفور Camphor	0.11 ± 0.03	0.18 ± 0.00	0.08 ± 0.02	0.09 ± 0.01	0.13 ± 0.00	0.10 ± 0.01
استات فنچیل درونی Fenchyl acetate (endo)	1.90 ± 0.27	1.13 ± 0.00	1.16 ± 0.21	1.17 ± 0.05	1.98 ± 0.00	1.43 ± 0.15
استات فنچیل بیرونی Fenchyl acetate (exo)	1.51 ± 0.49	3.45 ± 0.00	1.47 ± 0.24	1.11 ± 0.01	2.17 ± 0.00	1.66± 0.24
سیس آنتول cis-Anethole	1.11 ± 0.05	1.53 ± 0.00	1.38 ± 0.12	1.87 ± 0.89	1.45 ± 0.00	1.42 ± 0.15
ترانس آنتول trans-Anethole	45.30 ± 1.67	51.31 ± 0.00	50.43 ± 4.12	36.19 ± 1.08	30.36 ± 0.00	44.58 ± 2.58
سزکوئی ترپن هیدروکربنی Sesquiterpene Hydrocarbon	0.14 ± 0.02	0.09 ± 0.00	0.10 ± 0.01	0.19 ± 0.01	0.51 ± 0.00	0.17 ± 0.04
آلفاکوپائن α-Copaene	0.13 ± 0.02	0.08 ± 0.00	0.10 ± 0.01	0.21 ± 0.04	0.09 ± 0.00	0.12 ± 0.02
جرماکرون D Germacrene D	0.15 ± 0.02	0.11 ± 0.00	0.11 ± 0.01	0.17 ± 0.02	0.94 ± 0.00	0.21 ± 0.07

اکوتیپ‌های خوشه سوم کمترین درصد سابینن، آلفافلاندرن، گاماترپین، کامفور و جرماکرون D را به خود اختصاص دادند. در خوشه چهارم اکوتیپ‌های سبزه‌وار و سردشت قرار گرفتند و از نظر میانگین اجزای درصد سیس آنتول و آلفاکوپائن نسبت به

خوشه‌های دیگر و میانگین کل بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند. اکوتیپ‌های خوشه چهارم دارای کمترین درصد اسانس، کامفن، بتااسیمن Z، فنچون و استات فنچیل بیرونی نسبت به خوشه‌های دیگر بودند. در خوشه پنجم اکوتیپ ساری قرار گرفت و از نظر میانگین اجزای درصد اسانس، آلفا پینن، بتامیرسن، استات فنچیل درونی و جرماکرون D نسبت به خوشه‌های دیگر و میانگین کل بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد. اکوتیپ خوشه پنجم دارای کمترین درصد ترانس آنتول نسبت به خوشه‌های دیگر بود. در تجزیه خوشه‌ای اکوتیپ‌هایی که در یک گروه قرار می‌گیرند، از نظر اجزا ترکیبات نزدیک بهم بوده و اکوتیپ‌های گروه‌های دورتر، تفاوت بیشتری با هم خواهند داشت.

بحث

نتایج تحقیقات نشان داده که مقدار اسانس و ترکیب شیمیایی اسانس برحسب رقم گیاه و منشأ آن کاملاً متغیر است همچنین مواد تشکیل‌دهنده اسانس تحت تأثیر ژنوتیپ، مرحله رشد و نمو گیاه، مرحله تکوینی و تکاملی و شرایط محیط قرار دارد (Marotti *et al*., 1993).

در بررسی تأثیر پرتوهای فرابنفش بر کمیت و کیفیت اسانس رازیانه در مراحل مختلف رویشی، در مرحله قبل از گل‌دهی میزان اسانس برگ ۱/۲۰ درصد و بعد از تیمار پرتوهای فرابنفش ۰/۷۴ درصد و در مرحله گل‌دهی میزان اسانس برگ ۱/۰۸ درصد و بعد از تیمار پرتوهای فرابنفش ۱/۰۵ درصد بدست آمد (Rezaee *et al*., 2002). در پژوهش‌های دیگری، میزان اسانس بدست‌آمده از برگ و ساقه یک نمونه رازیانه در فصل‌های مختلف سال از ۰/۲۱ تا ۰/۴۰ درصد (Stefanini *et al*., 2006)، از برگ رازیانه ۰/۶۵ درصد (Mojab *et al*., 2007) و از اندام هوایی رازیانه در زمان‌های تقطیر متفاوت از ۰/۲۰ تا ۰/۲۹ درصد (Miguel *et al*., 2010) گزارش نمودند. در پژوهش‌های دیگری، میزان اسانس بدست‌آمده از برگ رازیانه از ۰/۶۵ (اکوتیپ ورامین) تا ۲/۰۳ درصد (اکوتیپ تبریز) (Rahimmalek *et al*., 2014)، میزان اسانس بدست‌آمده از برگ سبز یک نمونه رازیانه را ۰/۰۱ درصد (Saxena *et al*., 2018) و میزان اسانس بدست‌آمده از اندام هوایی رازیانه را ۰/۴۹ درصد (Wahba *et al*., 2018) گزارش نمودند. در این تحقیق نیز دامنه تغییرات درصد اسانس از ۰/۴۷ تا ۱/۵۸ برآورد شد که محدوده آن با گزارش‌های ارائه شده همسویی دارد. از آنجایی که اکوتیپ‌های مذکور همزمان با هم و در یک مکان کشت شده بودند و از شرایط اقلیمی یکسانی برخوردار بودند، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت در اسانس برگ تا حد زیادی ناشی از تفاوت ساختار ژنتیکی اکوتیپ‌های مورد بررسی بود.

گزارش دیگری نشان داد که اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ رازیانه، آنتول (۶۰/۰ درصد)، آلفا فلاندرن (۸/۸ درصد)، آلفاپینن (۷/۲ درصد) و فنچون (۳/۶ درصد) بود (Venskutonis *et al*., 1996). در مطالعه اسانس برگ رازیانه، اصلی‌ترین ترکیب‌های موجود در آن شامل ترانس آنتول (۵۸/۵۶ درصد)، لیمونن (۲۷/۱۴ درصد)، آلفاپینن (۴/۲۰ درصد)، فنچون (۲/۸۹ درصد)، استات فنچیل (۲/۲۳ درصد) و متیل کاویکول یا استراگول (۱/۷۵ درصد) بود (Rezaee *et al*., 2002). در ارزیابی اسانس برگ و ساقه یک نمونه رازیانه در فصل‌های مختلف سال، اصلی‌ترین ترکیب موجود در آن، ترانس آنتول (۵۳/۹۵-۴۶/۱۱ درصد)، لیمونن (۴۲/۳۰-۳۴/۴۸ درصد)، استات فنچیل بیرونی (۴۴/۶۱-۲/۹۱ درصد)، فنچون (۳/۷۰-۱/۶۵ درصد)، آلفاپینن (۱/۹۵-۱/۴۳ درصد)، متیل کاویکول (۱/۷۴-۱/۴۹ درصد)، سیس آنتول (۱/۳۴-۰/۲۳ درصد)، بتااسیمن (۱/۷۸-۰/۶۶ درصد) و استات فنچیل درونی (۳/۱۹-۱/۰۶ درصد) گزارش شد (Stefanini *et al*., 2006). مطالعه دیگری نشان داد که اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ رازیانه، ترانس آنتول (۵۱/۷ درصد)، آلفاپینن (۹/۱ درصد)، آلفا فلاندرن (۸/۳ درصد)، استراگول (۵/۲ درصد)، بتا فلاندرن (۲/۴ درصد)، بتاپینن (۱/۷ درصد) و میرسین (۱/۳ درصد) بود (Mojab *et al*., 2007). در ارزیابی اسانس برگ یک نمونه رازیانه، اصلی‌ترین ترکیب موجود در آن آنتول (۵۱/۰۸ درصد)، لیمونن (۲۲/۹۰ درصد) و بتا توزاپلیسین (۴/۸۲ درصد) گزارش شد (Chowdhury *et al*., 2009). در بررسی اسانس بدست‌آمده از اندام هوایی یک نمونه رازیانه در زمان‌های تقطیر متفاوت، اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس را ترانس آنتول (۳۶/۰-۳۰/۷ درصد)، لیمونن (۱۳/۱-۱۰/۷ درصد)، آلفاپینن (۱۹/۸-۱۳/۹ درصد)، فنچون (۵/۶-۵/۳ درصد)، آلفافلاندرن (۵/۷-۲/۵ درصد)، بتاپینن (۴/۹-۴/۴ درصد) گزارش نمودند (Miguel *et al*., 2010). در بررسی ۱۲ اکوتیپ رازیانه ایرانی، اصلی‌ترین

ترکیب موجود در اسانس برگ را ترانس آنتول (۵۶/۶۱-۴۱/۱۹ درصد)، فنچون (۱۰/۲۳-۱/۷ درصد) و لیمونن (۳۱/۷-۱۱/۵ درصد) گزارش نمودند (Rahimmalek *et al*., 2014). نتایج تحقیق دیگری نشان داد که اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ سبز یک نمونه رازیانه، آنتول و متیل کاویکول (۷۵/۲۸ درصد)، ۴-آلیل آنیزول (۹/۳۰ درصد) و گاماترپینن (۶/۱۷ درصد) بود (Saxena *et al*., 2018). در مطالعه‌ای، اصلی‌ترین ترکیب اسانس در اندام هوایی رازیانه، ترانس آنتول (۷۱/۵ درصد)، لیمونن (۱۰/۸۸ درصد) و فنچون (۹/۹۷ درصد) گزارش شد (Wahba *et al*., 2018).

در اکوتیپ‌های مورد مطالعه، اصلی‌ترین ترکیب موجود در اسانس برگ ترانس آنتول (۷۰/۲۳-۳۰/۳۶ درصد)، لیمونن (۲۲/۷۹-۱۵/۴۸ درصد) و فنچون (۹/۷۲-۱/۳۴ درصد) بودند این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات انجام شده مطابقت دارد. از آنجا که درصد اسانس و ترکیب مواد متشکله آن بر حسب رقم گیاه و شرایط محیط آن متفاوت است (Marotti *et al*., 1993)، از این رو تفاوت موجود بین نتایج بدست آمده از درصد اسانس و ترکیب مواد متشکله بین تحقیقات محققان منطقی می‌باشد.

فاصله اقلیدسی در تجزیه خوشه‌ای بیانگر فاصله ژنتیکی بین اکوتیپ‌ها است، بنابراین برای ایجاد حداکثر هتروزیس و تولید اکوتیپ‌هایی با کیفیت مطلوب اسانس باید اکوتیپ‌هایی که حداکثر فاصله اقلیدسی را از هم دارند با هم تلاقی داد.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع، نتایج نشان داد که اکوتیپ‌های مورد مطالعه اختلاف‌های قابل توجهی از نظر درصد اسانس و درصد ترکیب‌های اصلی اسانس داشتند. اکوتیپ‌های خاش و ساری به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار اسانس را به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل GC-MS ترکیبات اسانس نشان داد که تنوع زیادی در اجزای اسانس موجود در رازیانه ایرانی وجود داشت. در اکوتیپ‌های مورد مطالعه، اکوتیپ ساری بیشترین درصد منوترپن هیدروکربنی و سزکوئی ترپن هیدروکربنی و کمترین درصد منوترپن اکسیژن‌دار را به خود اختصاص داد. اکوتیپ قزوین بیشترین درصد سزکوئی ترپن هیدروکربنی و کمترین درصد منوترپن اکسیژن‌دار را به خود اختصاص داد و در نهایت، اکوتیپ خاش کمترین درصد منوترپن هیدروکربنی را به خود اختصاص داد. ترانس آنتول، لیمونن، فنچون، آلفا پینن، بتا اسمین Z، استات فنچیل بیرونی، استات فنچیل درونی و آلفا فلاندرین به ترتیب بیشترین ترکیب موجود در اسانس به‌دست‌آمده از برگ‌های رازیانه بودند. بررسی ترکیب‌های شیمیایی همه اکوتیپ‌های مورد بررسی نشان داد که میزان ترکیب ترانس آنتول در اکوتیپ‌های جمع‌آوری شده از ایران ترکیب غالب را تشکیل داده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که در برنامه‌های اصلاحی آینده از طریق تلاقی بین اکوتیپ‌های برتر و آزمون نتاج و انتخاب اکوتیپ‌های برتر، نسبت به تولید اکوتیپ‌های دارای کیفیت مطلوب اسانس اقدام شود.

References

Adams, R.P. 2001. Identification of essential oil components by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy. Allured Publishing Crop, USA, 750p.

Bahmani, K., Izadi Darbandi, A. and Baghcheghi, R. 2012. Assessment of genetic diversity of Iranian fennel Rapid marker. *Special Twelfth Iranian Genetics Congress*, 12: 99-105.

Bernath, J. 2000. Medicinal and aromatic plants. Mezo Publication, Budapest. pp 667.

Boyadzhieva, S. and Angelov, G. 2014. Optimization of water extraction of fennel seeds. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 49 (5): 447-450.

Chowdhury, J.U., Mobarok, M.H., Bhuiyan, M.N.I. and Nandi, N.C. 2009. Constituents of essential oils from leaves and seeds of *Foeniculum vulgare* Mill. Cultivated in Bangladesh. *Bangladesh Journal of Botany*, 38(2):181-183.

De Arauz, L.J., Jozala, A.F., Mazzola, P.G. and Penna, T.C.V. 2009. Nisin biotechnological production and application. *Trends in Food Science and Technology*, 20 (3-4), 146-154.

Izanloo, A., Zabet, M., Ramazani, S.H.R. and Jami, A. 2019. Evaluation of different ecotypes of fennel based on morpho-phenological and quantitative characteristics under water stress conditions. *Journal of Agroecology*, 11(3): 877-892. (In Persian).

Marotti, M., Dellacecca, V., Piccaglia, R. and Glovanelli, E. 1993. Agronomic and chemical evaluation of three varieties of *Foeniculum vulgare*. *Acta Horticulture*, 31: 63-69.

Miguel, M.G., Cruz, C., Faleiro, L., Simões, M.T., Figueiredo, A.C., Barroso, J.G. and Pedro, L.G. 2010. *Foeniculum vulgare* essential oils: chemical composition, antioxidant and antimicrobial activities. *Natural Product Communications*, 5(2), 319-328.

Mojab, F., Javidnia, K., Nickavar, B. and Yazdani, D. 2007. GC-MS analysis of the essential oils of roots and leaves of Foeniculum vulgare Mill. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 10(1): 36-40.

NHB. 2019. National Horticulture Board, India, publications, available at: http://nhb.gov.in/Statistics.aspx?enc=i3aXhtkJwc/n3rCHOr1FVp4BttTNWlLSQ8DhVptPrAbUppswYCodsFDUK1EY4Ru6yxB1yyjqgJ6NwxLqpANwXQ==.

Omidbeigi, R. 1997. Approaches for production and processing of medicine herbs. 2nd Volume. Tarahan-e Nashr Publication, 300-420.

Omidi, M. and Farzin, N. 2009. Biotechnological strategies in increasing efficiency of medicinal plants. Regional conference of Food and Biotechnology. Islamic Azad University of Kermanshah, 55-60, (In Persian).

Özcan, M., Űnver, A., Ucar, T. and Arslan, D. 2008. Mineral content of some herbs and herbal teas by infusion and decoction. *Food Chemistry*, 106 (3): 1120-1127.

Rahimmalek, M., Maghsoudi, H., Sabzalian, M.R. and Ghasemi Pirbalouti, A. 2014. Variability of essential oil content and composition of different Iranian fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) accessions in relation to some morphological and climatic factors. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(6): 1365-3174.

Rezaei, M.B., Jaymand, K., Sharifi Ashourabadi, E., Madah, M. and Majd, A. 2002. Study of the effect of ultraviolet radiations on quantity and quality of the essential oils of fennel (*Foeniculum vulgare* mill.) in vegetative phases. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 12:1-27.

Saxena, S., Agarwal, D., John, S., Dubey, P. and Lal, G. 2018. Analysis of fennel (*Foeniculum vulgare*) essential oil extracted from green leaves, seeds and dry straw. *International Journal Seed Spices*, 8(1), 60-64.

Sharifi Rad, J., Sureda, A., Carlo Tenore, G., Daglia, M., Sharifi Rad, M., Valussi, M., Tundis, R., Sharifi Rad, M.R., Loizzo, M.R., Oluwaseun Ademiluyi, A., Sharifi Rad, R., Ayatollahi, S.A.M. and Iriti, M. 2017. Biological activities of essential oils: from plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1): 70.

Stefanini, M.B., Ming, L.C., Marques, M.O.M., Facanali, R., Meireles, M.A.A., Moura, L.S., Marchese, J.A. and Sousa, L.A. 2006. Essential oil constituents of different organs of fennel (*Foeniculum vulgare* var. vulgare). A Revista Brasileira de Plantas Medicinais, *Botucatu*, 8: 193-198.

Venskutonis, P.R., Dapkevicius, A. and van Beek, T.A. 1996. Essential oils of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) from Lithuania. *Journal of Essential Oil Research*, 8(2): 211-213.

Wahba, H.E., Ibrahim, M.E. and Mohamed, M.A. 2018. Comparative studies of the constituents of Fennel essential oils extracted from leaves and seeds with those extracted from waste plants after harvest. *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 9 (7): 2174-2179.

Yazdani, D., Shahnazi, S. and Seifi, H. 2004. Cultivation of medical plants. Applied guide for cultivation of 40 important medical plants in Iran, 1: 73-75.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 3, Issue 2, Autumn and Winter 2022, P. 221-236

Evaluation of diversity in the amount and composition of essential oils of different fennel ecotypes (*Foeniculum vulgare* Mill.)

Shahram Riahinia[1*], Maryam Danesh Gilevaei[2]

[1]Department of Agricultural Science and Engineering, Payame Noor University, Iran
[2]Ph.D. Graduate, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Guilan, Iran

[*]Corresponding Author: Sh_riahinia@yahoo.com

Received: 11 August 2021 Accepted: 26 September 2021 **DOI: 10.22034/CSRAR.2021.299337.1118**

Abstract

Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.) is a medicinal and industrial plant that has a variety of culinary and therapeutic purposes. The leaf essential oil percentage and compositions of 11 fennel ecotypes obtained from various geographical regions of Iran were evaluated in this study. The essential oil proportion of fennel leaves ranged from 0.47 (Khash ecotype) to 1.58% (Sari ecotype). The amount of essential oil and the percentage of α-pinene (r = 0.72*), sabinene (r = 0.61*), endo-fenchyl acetate (r = 0.64*), fenchone (r = 0.70*), and germacrene D (r = 0.73*) correlated positively and significantly. The primary constituents of the leaf essential oil were trans-anethole, limonene, and fenchone. Trans-anethole concentrations ranged from 30.36% (Sari ecotype) to 56.67% (Qazvin ecotype) and correlated negatively with -Pinene and Germacrene D. The amount of limonene ranged from 15.48% (Fasa ecotype) to 22.79% (Mahalat ecotype), and the level of fenchon ranged from 1.34% (Sardasht ecotype) to 9.72% (Fasa ecotype). Six independent and major factors explained 89.91% of the total variance in all ecotypes, according to factor analysis. Ward method cluster analysis correctly categorized five separate groups for studied ecotypes with 100% of original grouped cases. As a result, it is advised that in future breeding operations, superior ecotypes should be crossed with progeny tests and superior ecotypes should be selected to develop ecotypes with high essential oil quality.

Keywords: Medicinal plants, Monoterpenes, Sesquiterpene Hydrocarbon, Volatile oil