DOI: 10.29252/ARIDBIOM.2024.21519.2010

بررسی اثر مراحل فنولوژیک و ارتفاع از سطح دریا بر صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت اسانس پونه وحشی (*Mentha longifolia L.*) در کوه تفتان

(مقالهٔ پژوهشی)

۱- پرویز بختیاری‌نیا، دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۲- احمد قنبری، استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
۳- اسماعیل سیدآبادی*، دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.
e.seyedabadi@uoz.ac.ir
۴- مصطفی خواجه، استاد گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۴
پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۷

چکیده

پونه وحشی یکی از گونه‌های جنس نعناع است که در کشور ایران رویش طبیعی دارد. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا و مراحل فنولوژیک بر روی صفات مورفولوژیک، کمیت و کیفیت متابولیت‌های ثانویه پونه وحشی در ارتفاعات تفتان انجام گردید. پژوهش به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. فاکتورهای آزمایشی شامل ارتفاع در ۴ سطح (۱۸۰۰-۱۶۰۰، ۲۰۰۰-۱۸۰۰، ۲۲۰۰-۲۰۰۰ و ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا) و مراحل فنولوژیک در دو سطح (آغاز گلدهی و گلدهی کامل) بودند. پس از تهیه نمونه از سرشاخه‌های این گونه‌ها در ارتفاعات و مراحل فنولوژیکی مورد نظر، صفات کمی شامل ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، طول ریشه، وزن خشک ریشه و صفات بیوشیمیایی شامل درصد بازده اسانس، ترکیبات اسانس، میزان فلاونوئید کل، فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی اندازه‌گیری شد. سپس همبستگی تیمارهای آزمایشی و صفات مورد بررسی انجام گرفت. از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) متصل شده به طیف جرمی (GC/MS) جهت شناسایی ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس استفاده شد. نتایج نشان داد که صفات ارتفاع بوته، وزن خشک بوته در اثر افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش و صفات طول ریشه، وزن خشک ریشه، محتوای فنول کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش می‌یابد. همچنین مرحله گلدهی کامل باعث بهبود صفات کمی و کیفی مورد بررسی شد. بین بازده اسانس و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی منفی و معنی‌دار، بین فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی مثبت و معنی‌دار، بین فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی منفی و معنی‌دار، بین فنل و فلاونوئید همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. مهم‌ترین ترکیبات پونه وحشی شامل α-Thujene، α-Pinene، β-Pinene، 1,8-Cineole، Limonene، Menthone، Menthol، Piperitenone oxid، Piperitenone، α-Terpinene، Thymol، Myrcene و Pulegone می‌باشند. همچنین نتایج نشان داد که مقدار این ترکیبات تحت تأثیر هر دو عامل ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک قرار گرفته‌اند.

واژگان کلیدی: متابولیت‌های ثانویه، گلدهی کامل، فنل کل، آنتی اکسیدان.

مقدّمه

پونه وحشی (*Mentha longifolia* L.) از خانواده *Lamiaceae* است که دارای گونه‌های دارویی ارزشمندی می‌باشد و تاکنون بیشتر از ۲۵۰ گونه از این جنس در جهان و ۶۷ گونه در ایران گزارش شده است. بیشتر گونه‌های این جنس در ارتفاعات مناطق معتدله آسیا، اروپا و شمال آفریقا انتشار دارند. پونه به علت دارابودن ویتامین C بالا برای تقویت لثه‌ها بسیار مفید است. بخور آن در درمان سینوزیت عفونی بسیار مؤثر و چای آن برای اسپاسم (گرفتگی) عضلات خاصیت درمانی دارد. برای این گونه، خواص دارویی بسیاری گزارش شده است که به‌طور کلی به روغن‌های فرار و فلاونوئیدهای آن نسبت داده شده است.

سیستان و بلوچستان بعد از استان کردستان بالاترین تنوع گیاهان دارویی را در کشور داراست. منطقه تفتان در

جنوب شرقی ایران و در فاصله ۴۲ کیلومتری از شهرستان خاش واقع شده است و در سمت شمال غربی خاش قرار می گیرد. رشد گیاهان دارویی کیفیت و کمیت مواد مؤثره آن‌ها تحت تأثیر مستقیم دو عامل اساسی محیط و ژنتیک می‌باشد. گیاهان دائماً با عوامل محیطی خارجی به سرعت در حال تغییر و آسیب‌رسان تعامل دارند.

گیاهان از آنجا که موجوداتی فاقد تحرک هستند، استراتژی‌های دفاعی جایگزین پیچیده‌ای را ایجاد کرده‌اند که شامل انواع زیادی از متابولیت‌های شیمیایی به عنوان ابزاری برای غلبه بر شرایط استرس است. متابولیت‌های ثانویه نقش عمده‌ای در سازگاری گیاهان با محیط در حال تغییر دارند. گیاهان توانایی تقریباً نامحدودی برای سنتز این متابولیت ها دارند. در نتیجهٔ تنش های زیستی و غیرزیستی، مانند دما، شدت نور، حمله گیاه‌خواری و میکروبی، گیاهان این مکانیسم های دفاعی را ایجاد می‌کنند و بسیاری از فرآیندهای بیوشیمیایی پیچیده را تحریک می‌کنند [۱۷].

سنتز متابولیت‌های ثانویه معمولاً به شدت تنظیم می‌شود و عموماً یا به بافت‌های گیاهی خاص یا مراحل رشد محدود می‌شود یا در پاسخ به عوامل تحریک القا می‌شود [۳۵, ۴۶]. ترکیبات ثانویه به اسانس‌ها آلکالوئیدها، گلیکوزیدها، ترکیبات فنلی، ساپونین‌ها سیلیسیک اسید ویتامین‌ها و غیره تقسیم می‌شوند. اساس ساخت ترکیبات ثانویه گیاهان دارویی با هدایت فرآیندهای ژنتیکی صورت می‌گردد ولی این ساخت به‌طور بارزی تحت تأثیر عوامل محیطی و اقلیمی قرار می‌گیرد به شکلی که عوامل محیطی و اقلیمی باعث تغییراتی در رشد گیاهان دارویی در مقدار و کیفیت مواد موثره آن ها می‌گردد [۳۴].

ارتفاع از سطح دریا از جمله عوامل تعیین‌کننده پراکنش، کیفیت، کمیت گیاهان دارویی در اکوسیستم‌های مختلف به شمار می‌آید. هرچه ارتفاع از سطح دریا بیشتر شود شدت نور دریافتی هم بیشتر می‌گردد. ارتفاع نقش اساسی در تعیین نوع موجودات زنده در یک اکوسیستم خاص دارد، زیرا هم عوامل زنده و هم عوامل غیرزیست با افزایش ارتفاع تغییر می‌کنند. با افزایش ارتفاع، موجودات زنده با تغییرات غیرزیست شدیدی مانند کاهش دما، افزایش تابش (به ویژه تابش *UV-B* که ۱۸٪ در هر ۱۰۰۰ متر ارتفاع افزایش می یابد)، افزایش سرعت باد، افزایش پوشش برف، کاهش میزان اکسیژن، خشک تر شدن خاک ها، خاک‌های یخزده در زمستان و کاهش فشار اتمسفر مواجه می‌شوند [۶, ۳۷].

گیاهان با تولید ترکیبات شیمیایی مانند فنولیک‌ها، آلکالوئیدها، فلاونوئیدها، تانن ها و ترپنوئیدها به عنوان متابولیت‌های تخصصی با چنین شرایطی کنار می‌آیند [۴۷]. این متابولیت‌های تخصصی توسط گیاهان به عنوان ترکیبات فرّار یا غیرفرّار سنتز می‌شوند و عملکردهای فیزیولوژیکی و اکولوژیکی خاصی را ایجاد می کنند که به گیاه کمک می‌کند تا با شرایط مختلف محیطی سازگار شود [۱۸].

مطالعه اثر عوامل اکولوژیک بر کیفیت و کمیت روغن‌های اسانس گونه درمنه *Artemisia aucheri* در مراتع استپی و نیمه‌استپی استان اصفهان نشان داد که کمیت و کیفیت اسانس این گونه با میزان ارتفاع از سطح دریا همبستگی منفی دارد [۱۱] در مطالعه‌ای دیگر [۱۳] اثر ارتفاع از سطح دریا بر میزان اسانس گونه درمنه *Artemisia roxburghiana* در هیمالیا بررسی شد. نتایج تحقیقات نشان داد که کمترین درصد اسانس (۰/۲درصد) در ارتفاع ۲۲۰۵ متری و بیشترین در صد اسانس (۰/۸ تا ۰/۸۵ درصد) در ارتفاعات ۸۵۰ و ۱۲۱۸ متری حاصل می گردد.

در بررسی دیگر، اسانس گیاه *Espeletia schultzii* از ارتفاعات مختلف (۲۸۰۰، ۳۷۰۰، ۴۱۰۰ متری) ونزوئلا استخراج گردید و نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری در ترکیبات اسانس برگ و ساقه جمع‌آوری شده در مراحل مختلف گلدهی (قبل از شکفتن، هنگام شکفتن و بعد از گلدهی) وجود نداشته، اما اختلاف معنی‌دار آماری از ارتفاع‌های برداشت حاصل گردید [۱۹].

در مطالعه اثر ارتفاع بر کمیت و کیفیت اسانس و ترکیبات گیاه چای کوهی (*Stachys lavandulifolia*) در منطقه بلده نور توسط محزونی کچپی و همکاران [۲۷] گزارش شد که درصد اسانس در ارتفاعات ۱۶۰۰، ۲۴۰۰، ۳۲۰۰ متری به ترتیب ۰/۷۷، ۰/۶۱ و ۰/۶۹ درصد است که بیشترین آن متعلق به ارتفاع ۱۶۰۰ متری و کمترین آن به ارتفاع ۲۴۰۰ متری تعلق داشت.

در تحقیقی دیگر [۴۵] روابط بین پستی و بلندی با پراکنش پوشش گیاهی زیراشکوب جنگل کاج گونه *Pinus massoniana* در مناطق جنوبی چین را بررسی کردند. نتایج نشان داد که جهت شیب و انحنای سطح زمین از جمله عوامل مؤثر بر پراکنش پوشش گیاهی هستند و یک رابطه خطی بین پراکنش گیاهی و توپوگرافی وجود دارد. همچنین نتایج تحقیقی دیگر[۳۲] جهت بررسی اثر ارتفاع بر ترکیبات فرار درمنه (*Artemisia brevifolia Wall ex Dc*) در کوه‌های هیمالیا نشان می دهد که در ارتفاعات بالاتر (۴۴۴۶ متری) ترکیبات آلی فرّار در مقایسه با ارتفاعات پایین تر (۲۸۹۷ متری) فراوان تر بودند.

بررسی منابع نشان می‌دهد که در خصوص تأثیر ارتفاع و مرحله فنولوژیکی بر کمیت و کیفیت اسانس پونه وحشی در مراتع کوهستانی و خصوصاً منطقه تفتان تاکنون تحقیقی انجام نشده است. لذا این تحقیق با هدف بررسی تأثیر ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک بر صفات مورفولوژیک و خصوصیات پونه در ارتفاعات تفتان انجام گرفت. با توجه به مصارف گوناگون این گیاه در صنایع غذایی، دارویی و آرایشی بهداشتی که کمیت و کیفیت اسانس متفاوتی را نیاز دارند، نتایج این تحقیق می‌تواند در انتخاب مکان و زمان برداشت گیاه مذکور متناسب با نوع مصرف آن بسیار مفید باشد.

مواد و روش‌ها

تفتان نام یک کوه آتشفشانی نیمه‌فعال در منطقه جنوب شرقی ایران و در استان سیستان و بلوچستان، منطقه سرحد، شهرستان تفتان است. این کوه با ارتفاع ۳۹۴۱ متر از سطح دریا یکی از بلندترین کوه‌های جنوب شرقی ایران محسوب می‌شود. در جدول ۱ مشخصات اقلیمی کوه تفتان در ماه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات اقلیمی کوه تفتان در ماه‌های مورد مطالعه

عوامل اقلیمی	واحد	ماه		
		اسفند	فروردین	اردیبهشت
میانگین دما	درجه سانتیگراد	۱۷	۱۹/۲	۲۴/۵
میانگین رطوبت	درصد	۳۷	۳۰	۲۰
میزان بارندگی	میلی‌متر	۲۲	۶/۷	۱/۱
میانگین سرعت باد	متر بر ثانیه	۲/۷	۳/۹	۳/۴

ابتدا با بازدیدهای صحرایی در منطقه مورد نظر، رویشگاه پونه وحشی در ارتفاعات تفتان شناسایی و تعیین گردید. پس از بازدید از محل رویشگاه گونه مورد نظر در منطقه، نمونه‌برداری به روش تصادفی سیستماتیک در هر رویشگاه و در هر ارتفاع و مرحله فنولوژیکی (قبل از گلدهی و گلدهی کامل) در پلات‌هایی به ابعاد ۱ در ۱ متر انجام شد. مرحله فنولوژیک قبل از گلدهی و گلدهی کامل به ترتیب مقارن با اواخر اسفند ماه ۱۴۰۱ و اوایل اردیبهشت ۱۴۰۲ بود.

پس از تعیین و شناسایی محل‌های نمونه‌برداری در هر یک از محل‌های نمونه‌برداری ویژگی های ارتفاع و مرحله فنولوژیک ثبت گردید. برای تعیین ارتفاع نقاط نمونه برداری از دستگاه *GPS* استفاده شد. معیار انتخاب طبقات فوق، تغییرات ظاهری در خصوصیات پوشش گیاهی و تراکم این گونه‌ها در هر طبقه ارتفاعی بود. صفات کمی شامل ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، طول ریشه، و وزن خشک ریشه اندازه‌گیری شد. گیاهان در سایه و در دمای محیط خشک شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی که عامل اول ارتفاع شامل ۴ سطح (۱۸۰۰-۱۶۰۰، ۲۰۰۰-۱۸۰۰، ۲۲۰۰-۲۰۰۰ و ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا) و عامل دوم مرحله فنولوژیک در دو سطح (آغاز گلدهی و گلدهی کامل) پونه وحشی در سه تکرار اجرا شد.

نمونه های خاک از ارتفاعات مختلف گیاهان مورد مطالعه تا عمق ۳۰ سانتی متری برداشت شد تا مورد تجزیه و بررسی قرار گیرد. نمونه‌های خاک برداشت شده

برای تجزیه به آزمایشگاه دانشکده کشاورزی زابل منتقل و از لحاظ برخی از خصوصیات کمی و کیفی شامل هدایت الکتریکی (EC)، pH، در صد کربن آلی، پتاسیم و فسفر قابل جذب و بافت خاک مورد بررسی و تجزیه قرار گرفت. جدول ۲ مشخصات خاک محل آزمایش در ارتفاعات مختلف کوه تفتان را نشان می دهد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل در عمق ۳۰-۰ سانتیمتری در ارتفاعات مختلف

ارتفاع	pH	EC (µs/cm)	K (ppm)	P (ppm)	درصد ماده آلی	٪شن	٪رس	٪سیلت	بافت‌خاک
۱۶۰۰-۱۸۰۰	۸/۳۵	۷۳۵	۱۲۴	۰/۱۰۴	۱/۰۲	۷۵/۸	۱۲/۴	۱۱/۸	شنی-لوم
۱۸۰۰-۲۰۰۰	۸/۲۲	۸۹۸	۱۳۱	۰/۰۸۵	۲/۱	۵۶/۸	۱۰/۴	۲۲/۸	شنی-لوم
۲۰۰۰-۲۲۰۰	۷/۵	۷۷۶	۱۴۲	۰/۰۷۸	۳/۰۷	۶۶/۸	۱۰/۴	۱۳/۸	شنی-لوم
۲۲۰۰-۲۴۰۰	۷/۵	۷۶۰	۱۴۶	۰/۰۶۷	۳/۵۱	۷۶/۸	۹/۴	۱۸/۸	شنی-لوم

جهت اسانس‌گیری نمونه‌های خشک‌شده آسیاب گردیدند. سپس به روش تقطیر با آب (طبق فارماکوپه اروپا) اسانس‌گیری شد. تقطیر به وسیله دستگاه کلونجر طرح فارماکوپه بریتانیا در آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل انجام شد. برای تعیین بازده اسانس نسبت به وزن خشک، رطوبت نمونه در زمان اسانس‌گیری نیز تعیین شد. در صد بازده اسانس حاصل شده به صورت وزنی با رابطه زیر محاسبه شد [۲۲].

(۱) درصد بازده اسانس= (وزن خشک/وزن اسانس)×۱۰۰

جهت شناسایی ترکیب‌های تشکیل‌دهنده اسانس، از دستگاه‌های گاز کروماتوگرافی (GC) متصل شده به طیف جرمی (GC/MS) آزمایشگاه دانشکده کشاورزی زابل استفاده شد [۲]. محتوای فنل کل با روش اسلینکارد و سینگلتون میزان فنل تام بر اساس میزان معادل میلی‌گرم گالیک اسید در گرم عصاره ثبت گردید [۴۱]. محتوای فلاونوئید تام با استفاده از معرف آلومینیوم کلراید اندازه‌گیری شد. میزان فلاونوئید تام بر اساس میزان معادل میلی‌گرم کوئرستین در گرم عصاره گزارش شد [۷].

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش DPPH، جذب نمونه‌ها و نمونه کنترل با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۱۷ نانومتر قرائت شد. متانول ۸۰ درصد به عنوان بلانک (شاهد) استفاده شد [۴۲]. آنالیز آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن انجام گردید. نمودارها با کمک نرم‌افزار Excel رسم شد. همچنین همبستگی با نرم افزار SPSS 16 مورد آزمون قرار گرفت.

نتایج و بحث

در جدول ۳ نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه نشان داده شده است که در ادامه هر یک از صفات به تفصیل بررسی می‌گردند.

ارتفاع بوته: مطابق با جدول تجزیه واریانس مشخص شد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد برای ارتفاع بوته پونه وحشی دارد اما برهمکنش تیمارهای آزمایشی بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشت.

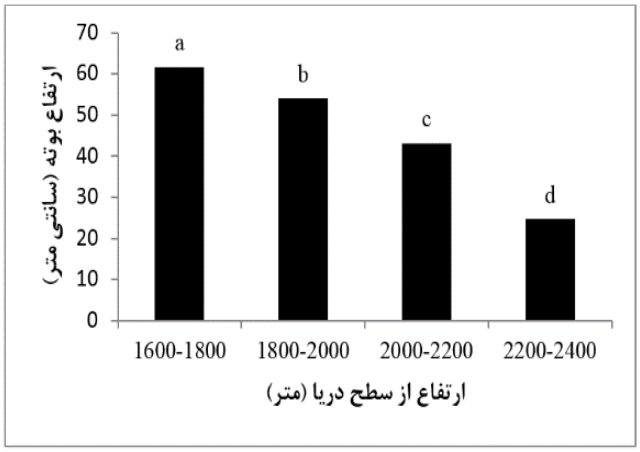
مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا بر میانگین ارتفاع بوته پونه وحشی نشان داد با افزایش ارتفاع از سطح دریا ارتفاع بوته کاهش می‌یابد، بیشترین ارتفاع بوته (۶۱/۶۸ سانتی متر) از کمترین ارتفاع (۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر از سطح دریا) به دست آمد، همچنین کمترین آن (۲۴/۶ سانتی متر) از بیشترین سطح ارتفاعی (۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا) حاصل گردید (شکل ۱).

مقایسه میانگین اثر مرحله فنولوژیک بر میانگین ارتفاع بوته پونه وحشی نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته در مرحله گلدهی کامل (۴۴/۶۲ سانتی متر) و کمترین آن مربوط به مرحله قبل گلدهی (۴۰/۲۹ سانتی متر) بود (شکل ۲).

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی گیاه دارویی پونه وحشی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات							
		ارتفاع بوته	وزن خشک بوته	طول ریشه	وزن خشک ریشه	بازده اسانس	فلاونوئید	فنل کل	فعالیت آنتی اکسیدانی
ارتفاع از سطح دریا	۳	۱۵۴۶/۳۲**	۵/۵۱**	۱۰/۷۱**	۰/۲۱*	۰/۴۶**	۰/۷۷**	۲/۱۲**	۲۶۴۴/۲۷**
مرحله فنولوژیک	۱	۹۴/۰۱**	۴/۵**	۰/۵۱*	۰/۱۳^{ns}	۰/۰۳۷^{ns}	۲/۸۵**	۵/۲۷**	۳۳۷/۵**
ارتفاع×مرحله فنولوژیک	۳	۲/۴۱^{ns}	۰/۱۷^{ns}	۰/۰۱^{ns}	۰/۰۳۴^{ns}	۰/۰۰۰^{ns}	۰/۴۴**	۰/۶۶**	۲۵/۶۱^{ns}
خطای آزمایشی	۱۶	۴/۳۵	۰/۴۹	۰/۰۸	۰/۰۴۵	۰/۰۱۱	۰/۰۰۳	۰/۰۱	۹/۷۹
ضریب تغییرات (٪)		۴/۵۵	۱۵/۰۵	۳/۱۳	۱۶/۷۳	۱۳/۱۸	۲/۱۳	۵/۰۳	۷/۴۷

ns، ** و * به ترتیب غیرمعنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می‌باشند.



شکل ۱- اثر ارتفاع از سطح دریا بر میانگین ارتفاع بوته پونه وحشی

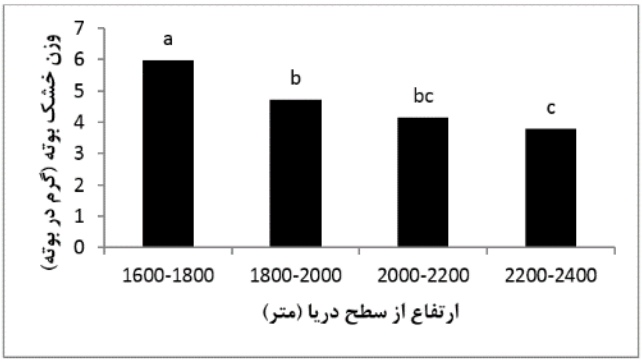
شکل ۲- اثر مرحله فنولوژیک بر میانگین ارتفاع بوته پونه وحشی

ارتفاع زیاد به معنای حرکت هوای بیشتر و فشار کمتر هوا است که همگی منجر به کاهش دمای هوا می شود. به طور کلی، دمای مطلوب برای رشد اکثر گیاهان در محدوده ۱۰-۲۵ درجه سانتیگراد است که در این بازه دمایی، بیشتربودن میانگین دما در طول فصل رشد در کنار فراهمی مواد مغذی، نور خوب و سطوح منا سب آب و دی اکسید کربن منجر به رشد سریع‌تر گیاهان می‌شود.

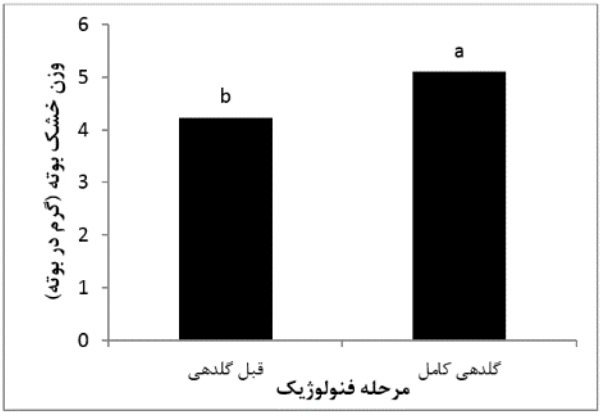
نتایج تحقیقات سایر محققین نیز بیان‌کننده این موضوع است و نشان می‌دهد که ارتفاع بوته، ماده خشک و تعداد برگ در ارتفاعات بالاتر کاهش می یابد [۴۸]. همچنین در ارتفاعات بالاتر تابش بیشتر امواج با طول موج کوتاه از قبیل ماورابنفش منجر به کاهش محتوی کلروفیل و در نتیجه کاهش ارتفاع گیاه می‌شود [۱۲].

وزن خشک بوته: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک بر وزن خشک بوته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود اما برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری نداشت. با توجه به شکل ۳ مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا از میزان وزن خشک بوته کاسته می‌شود. بیشترین مقدار وزن خشک بوته (۵/۹۸۳ گرم در بوته) از سطح ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و کمترین آن (۳/۸ گرم در بوته) از ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا حاصل شد که با سطح ارتفاعی ۲۲۰۰-۲۰۰۰ متر اختلاف معنی‌دار نداشته و در یک گروه آماری قرار گرفتند.

مقایسه میانگین اثر مرحله فنولوژیک بر میانگین وزن خشک بوته پونه وحشی نشان داد که بیشترین آن در مرحله گلدهی کامل (۵/۱ گرم در بوته) و کمترین آن مربوط به مرحله قبل گلدهی (۴/۲۳ گرم در بوته) بود (شکل ۴).



شکل ۳- اثر ارتفاع از سطح دریا بر میانگین وزن خشک بوته پونه وحشی



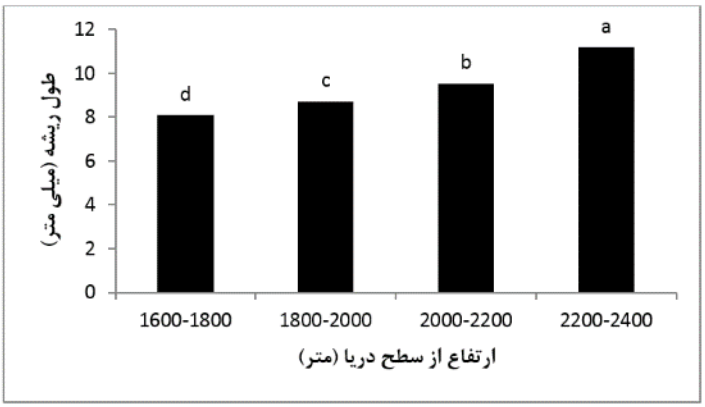
شکل ۴- اثر مرحله فنولوژیک بر میانگین وزن خشک بوته پونه وحشی

با افزایش ارتفاع، دمای محیط کاهش یافته و رشد رویشی گیاهان محدود می‌شود که این موضوع می‌تواند یکی از دلایل کاهش وزن تر و خشک گیاه در ارتفاعات بالاتر باشد [۱۶]. تغییر ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یک مفهوم محیطی مفید برای تشریح پراکنش موجودات زنده در ابعاد زمان و مکان مطرح است [۴۳].

این عامل با تأثیر بر میزان و نوع بارندگی، تبخیر، تعرق و شدت تشعشعات خورشیدی، بر نوع و تراکم پوشش گیاهی تأثیر بسزایی دارد [۳۸] و باعث کاهش رشد گیاه می شود [۹]. میزان رطوبت نسبی برگ با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش پیدا می‌کند که این موضوع می‌تواند به نوبه خود باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تبادلات گازی

و باعث کاهش وزن تر و خشک گیاه شود [۵۰]. همچنین تحقیقات نشان داده است که با افزایش ارتفاع و کاهش دما میزان کلروفیل کاهش می‌یابد که این موضوع می‌تواند دلیل دیگر کاهش وزن تر و خشک گیاه شود [۲۵].

طول ریشه: با توجه به جدول تجزیه واریانس می‌توان نتیجه گرفت که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک بر طول ریشه به ترتیب در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار هستند اما برهمکنش آنها تأثیر معنی‌داری ندارند. مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا طول ریشه افزایش یافته به طوری که بیشترین طول ریشه (۱۱/۱۷ میلی‌متر) از سطح ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا و کمترین آن (۸/۰۸۳ میلی‌متر) از ارتفاع ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر از سطح دریا حاصل شد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر ارتفاع از سطح دریا بر میانگین طول ریشه پونه وحشی

مقایسه میانگین اثر ساده مرحله فنولوژیک بر میانگین طول ریشه نشان داد که بیشترین آن در مرحله گلدهی کامل (۹/۵۱۷ میلی‌متر) و کمترین آن مربوط به مرحله قبل گلدهی (۹/۲۲۵ میلی‌متر) بود (شکل ۶).

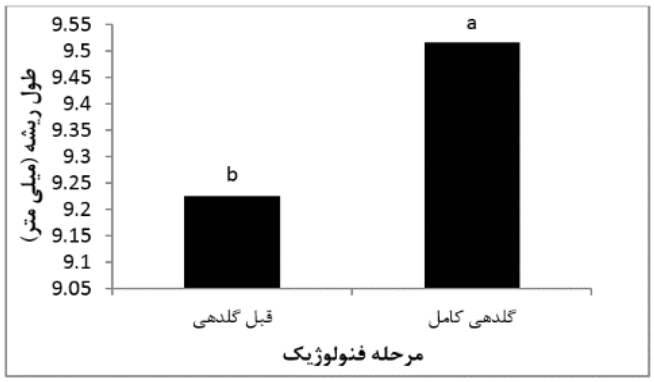
برخی عوامل توپوگرافی مانند شیب، طبقات ارتفاعی و جهت‌های جغرافیایی علاوه بر تأثیر مستقیم بر زیست‌توده ریشه و ذخیرهٔ کربن آلی، با تأثیر بر پارامترهایی مانند دما و رطوبت روی ویژگی‌های خاک و در نتیجه پراکندگی یک گونه گیاهی تأثیر می‌گذارند [۳۹]. برخی از محققین به کمک روش‌های نوین در جهت مدل‌سازی این عوامل تلاش کرده اند [۲۰, ۲۱]

وزن خشک ریشه: نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا بر وزن خشک ریشه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار است اما اثر ساده مرحله فنولوژیک و همچنین اثر برهمکنش آنها غیرمعنی‌دار است. مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا (شکل ۷) نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا وزن خشک ریشه افزایش یافته است.

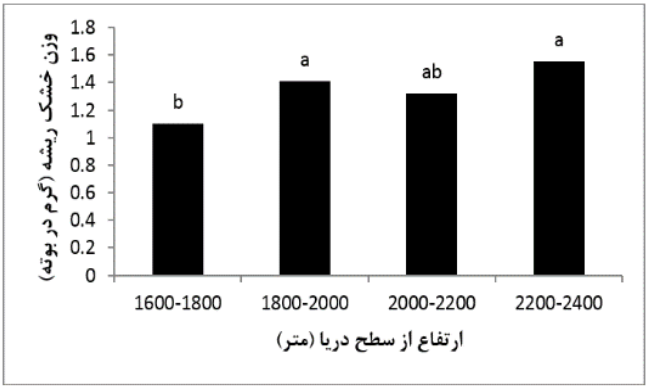
وزن خشک ریشه در حالت بیشترین (۱/۵۵۳ گرم در بوته) و کمترین (۱/۱۰۲ گرم در بوته) به ترتیب در ارتفاع از سطح دریا ۲۴۰۰-۲۲۰۰ و ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر حاصل گردید، همچنین ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰، ۲۲۰۰-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۱۸۰۰ و سطوح ۲۰۰۰-۱۸۰۰ و ۱۸۰۰-۱۶۰۰ با هم اختلاف معنی‌دار نداشته و در گروه آماری مشترک قرار گرفتند.

نتایج نشان داد وزن تر و خشک رابطه مستقیم با یکدیگر داشته و هرچه میزان وزن تر بیشتر باشد میزان ماده خشک نیز بیشتر می‌گردد. این نتیجه در یافته های سایر محققین نیز گزارش شده است [۵].

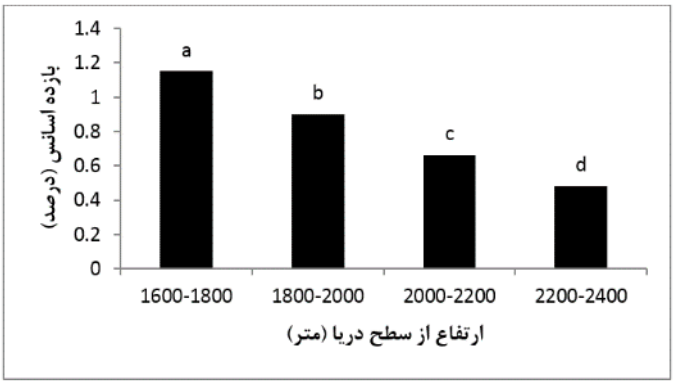
بازده اسانس: اثر ساده ارتفاع از سطح دریا برای این صفت در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بوده در حالی که اثر مرحله فنولوژیک و همچنین برهمکنش آنها غیرمعنی‌دار می‌باشد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا بر میانگین بازده اسانس نشان داد که بیشترین بازده اسانس (۱/۹۳ درصد) از کمترین ارتفاع از سطح دریا (۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر) و کمترین آن (۱/۲ درصد) از بیشترین ارتفاع از سطح دریا (۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر) به دست آمد (شکل ۸). در واقع با افزایش ارتفاع از سطح دریا از بازده اسانس گیاه درمنه کوهی کاسته می‌شود.



شکل ۶- اثر مرحله فنولوژیک بر میانگین طول ریشه پونه وحشی



شکل ۷- اثر ارتفاع از سطح دریا بر میانگین وزن خشک ریشه پونه وحشی



شکل ۸- اثر ارتفاع از سطح دریا بر میانگین بازده اسانس پونه وحشی

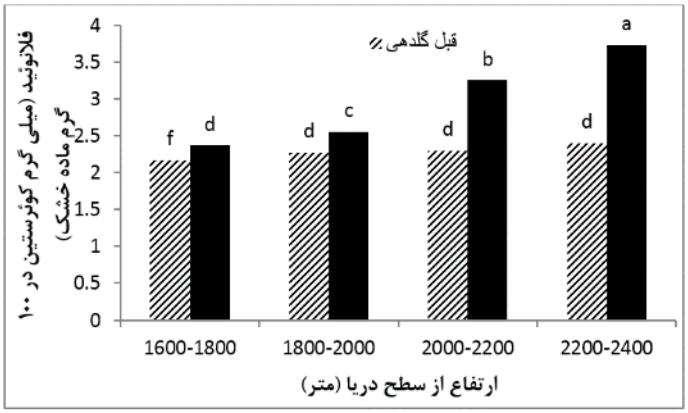
با توجه به نتایج به دست آمده، تفاوت‌های اکولوژیک رویشگاه‌ها و مرحله رشدی می‌تواند به نحو قابل ملاحظه‌ای بر میزان بازده اسانس مؤثر باشد. به نظر می‌رسد که می‌توان این‌گونه استنباط نمود که ارتفاع از سطح دریا تأثیر معکوس بر درصد بازده کل اسانس رویشگاه دارد. در بررسی محققین [۲۲] مشخص شد که میزان ارتفاع منطقه رویشی امکان ایجاد تغییر در وضعیت فیزیکی گیاه و میزان مواد مؤثر را به وجود خواهد آورد.

یاوری و همکاران [۴۹] در مطالعه آویشن آذربایجانی (*Thymus migricus*) همبستگی منفی بین ارتفاع رویشگاه و میزان اسانس را گزارش کردند. کاهش درصد اسانس با افزایش ارتفاع از سطح دریا در مطالعات سایر محققین بر روی گیاه *Stachys inflate Benth* [۴۰, ۵۱] و گیاه *Stachys obtusicrena* [۳] نیز گزارش شده است.

با توجه به اینکه ارتفاع گیاه، وزن تر و خشک، تعداد برگ و دیگر صفات مرفولوژیکی در بازده اسانس بیشترین

نقش را دارند می‌توان بیان کرد با توجه به اینکه این صفات با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش یافته‌اند بازده اسانس همچنین کاهش یافته است [۱۶, ۵۱].

محتوای فلاونوئید: نتایج جدول تجزیه واریانس ۳ نشان داد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک و برهمکنش آنها در سطح احتمال یک در صد معنی دار می باشد. مقایسه میانگین برهمکنش ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک (شکل ۹) نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا و مرحله گلدهی میزان فلاونوئید افزایش می یابد. بیشترین میزان فلاونوئید (۳/۷۳ میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم ماده خشک) از ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا و مرحله گلدهی کامل به دست آمد.



شکل ۹- مقایسه میانگین برهمکنش ارتفاع از سطح دریا و مراحل فنولوژیک بر میزان فلاونوئید پونه وحشی

فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنلی انتشار وسیعی در گیاهان دارند و فعالیت بیولوژی متنوع این ترکیبات از جمله آنتی اکسیدانی، آنتی میکروبی، ضدالتهابی آنها در بسیاری از بررسی‌های گزارش شده است [۱۰, ۱۵]. این یافته‌ها می‌تواند با نتایج محققان دیگری که بیان کردند میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی گیاهان در مناطق مختلف تحت تأثیر فاکتورهایی از قبیل تفاوت‌های ژنتیکی، اختلافات آب‌وهوایی و جغرافیایی مانند ارتفاع در مناطق مختلف قرار دارد، دلایل مشترک داشته باشد [۱۴, ۲۴, ۲۸, ۳۳]).

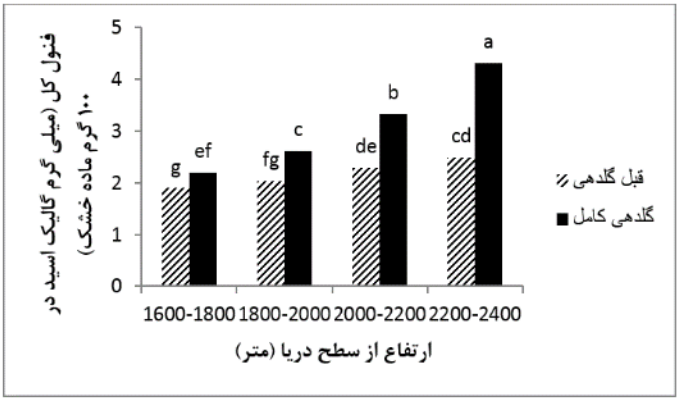
تأثیر عوامل محیطی در تولید مواد مؤثره گیاهان دارویی بسیار پیچیده و مبهم است. مهم‌ترین عوامل بوم شناختی مؤثر بر میزان کمی و کیفی مواد مؤثره موجود در گیاهان دارویی شرایط اقلیمی (نظیر نور، بارش، درجه حرارت، باد) ویژگی‌های خاک (بافت، اسیدیته، عناصر غذایی خاک) و عوامل جغرافیایی (ارتفاع از سطح دریا، مقدارشیب و جهت آن) است [۳۱] .

شدت نور و سطوح تشعشع در ارتفاعات بالاتر به دلیل اتمسفر نازک‌تر قوی‌تر است. گیاهان در ارتفاعات نیز در مقایسه با ارتفاعات پایین، ساعات بیشتری از نور خورشید دریافت می‌کنند. در ترکیب با چگالی کم هوا و ذرات معلق، سطح تابش خورشیدی بالایی دریافت می‌کنند قرار گرفتن بیشتر در معرض نور خورشید، به طور کلی باعث افزایش فتوسنتز و افزایش رشد گیاه می‌شود؛ اما در ارتفاعات بیشتر، گیاهان در برابر آفتاب سوزان به محافظت بیشتری نیاز دارند. اشعه ماوراء بنفش می‌تواند باعث آسیب عمده بافتی در گیاهان شود.

برخی از شدیدترین قرار گرفتن در معرض *UV-B* در بهار اتفاق می‌افتد، زمانی که ابرهای کمتر، نور مستقیم خورشید بیشتر و برف فراوانی که خورشید را منعکس می‌کند وجود دارد. همه اینها منجر به افزایش تابش می شود که به طور طبیعی با ابری شدن و پراکندگی کمتر جوی در بالاترین حد مقابله می‌کند. در چنین شرایط محیطی، گیاهان به طور طبیعی با سازگاری‌هایی مانند نقره یا برگ های روشن‌تر که نور را منعکس می‌کنند، تکامل می‌یابند. این برگ‌ها ضخیم و کوچک هستند تا رنگدانه‌های جذب‌کننده اشعه ماوراء بنفش بیشتری مانند فلاونوئیدها را در بافت جمع کنند.

محتوای فنل کل: نتایج تجزیه واریانس (جدول ۳) نشان داد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک و

برهمکنش آنها در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار می باشد. مقایسه میانگین برهمکنش تیمارهای آزمایشی (شکل ۱۰) نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا و مرحله گلدهی میزان فنل کل افزایش می‌یابد. بیشترین میزان فنل کل (۴/۳۱۷ میلی گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم ماده خشک) از ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا و مرحله گلدهی کامل به دست آمد.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین برهمکنش ارتفاع از سطح دریا و مراحل فنولوژیک بر میزان فنول کل پونه وحشی

در تمامی گیاهان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی با میزان ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی رابطهٔ مستقیم دارد. مطالعات نشان می‌دهد که بالابودن ترکیبات فنلی دلیل عمده بالابودن فعالیت آنتی‌اکسیدانی بعضی از عصاره‌های گیاهی می‌باشد؛ زیرا براساس شواهد موجود ارتباط مثبتی بین میزان ترکیبات فنلی و قدرت آنتی اکسیدانی گیاهان وجود دارد که از طریق عصاره‌های گیاهی آنها قابل استخراج میباشد. نقش کلیدی ترکیبهای فنلی به‌عنوان حذف کننده رادیکال‌های آزاد تو سط *Katalinic* و همکاران [۲۳] گزارش شده است.

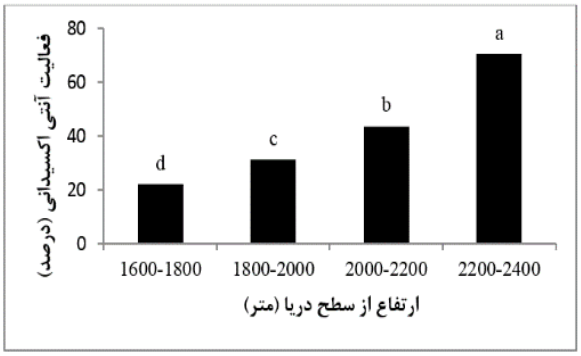
نتایج خلاصی اهوازی و همکاران [۲۴] نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان فنل، فلاونوئید و فعالیت آنتی اکسیدانی گیاه دارویی کنگر علوفه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین از نظر فنولوژی بیشترین میزان به ترتیب مراحل گلدهی، بذردهی و رویشی بیشترین میزان فنل و فلاونوئید و خاصیت آنتی اکسیدانی را دارا هستند.

فعالیت آنتی اکسیدانی: جدول تجزیه واریانس داده‌ها (۳) نشان داد که اثر ساده ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار و برهمکنش آنها غیرمعنی‌دار می باشد. مقایسه میانگین اثر ساده ارتفاع از سطح دریا (شکل ۱۱) نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا میزان فعالیت آنتی اکسیدانی افزایش می‌یابد. بیشترین فعالیت آنتی اکسیدانی (۷۰/۵ درصد) از ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر از سطح دریا و کمترین ان (۲۲/۱۷ در صد) از سطح ارتفاعی ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر به دست آمد.

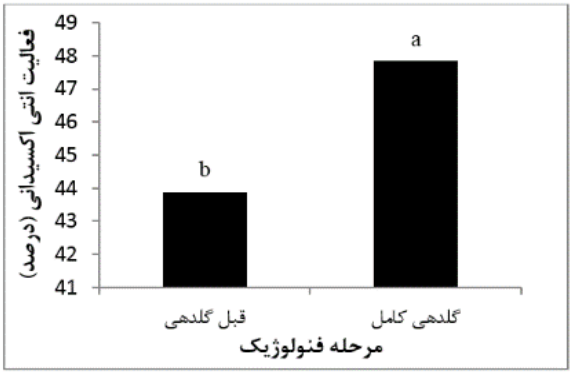
اثر ارتفاع و مراحل رشد، روی فعالیت آنتی‌اکسیدانی معنی‌دار بود. بر اساس نتایج حاصله میزان فعالیت آنتی‌اکسیدان تحت تأثیر مراحل رشد گیاه قرار داشت، به طوری که در مرحله گلدهی کامل دارای بیشترین مقدار بوده و با افزایش ارتفاع، میزان آنتی اکسیدان نیز افزایش یافت به طوری که در ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متری دارای بیشترین مقدار بود.

وجود تفاوت‌ها در این تحقیق و دیگر تحقیقات می تواند به عوامل مختلف محیطی از جمله شرایط اقلیمی و زمان برداشت گیاه و ارتفاع برداشت از سطح دریا ارتباط داشته باشد. در تمام مراحل رشد گیاهان، سیستم دفاع آنتی اکسیدانی فعال می‌باشد. عمل آنتی اکسیدان‌ها متفاوت است و به طور گسترده با چندین فاکتور مثل مراحل بلوغ، شرایط آب‌وهوایی، اندام‌های مورد استفاده گیاه، شرایط برداشت و انبارداری و نگهداری تغییر می‌کند [۲۹]. در طی بلوغ، تغییرات فیتوشیمیایی بر فعالیت آنتی اکسیدانی آنها مؤثر است وکیفیت غذایی انواع میوه و سبزیجات را در زمان‌های خاص تحت تأثیر قرار می‌دهد [۸]. احتمالاً میزان بالای آنتی اکسیدان در مرحله گلدهی و در ارتفاع

۲۴۰۰-۲۲۰۰ متری به دلیل درصد بیشتر از ترکیباتی مانند بتا پینن، آلفا پینن و تیمول و... می‌باشد که مقدار آنها نسبت به مراحل رشدی و ارتفاعات دیگر بیشتر می‌باشد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات نیکخواه امیرآباد و همکاران [۳۳] در مورد گیاه دارویی چویل مطابقت دارد.



شکل ۱۱- اثر ارتفاع از سطح دریا بر فعالیت انتی اکسیدانی پونه وحشی



شکل ۱۲- اثر مراحل فنولوژیک بر فعالیت آنتی اکسیدانی پونه وحشی

ضرایب همبستگی پونه وحشی: ضرایب همبستگی بین صفات اندازه‌گیری شده در گیاه پونه وحشی در جدول ۴ آورده شده است. با توجه به جدول بزرگ‌ترین ضریب همبستگی (**r=۰/۹۹) بین وزن تر و خشک بوته، طول ریشه با فعالیت آنتی اکسیدانی و طول ریشه با وزن تر ریشه وجود دارد. بین ارتفاع بوته با تعداد برگ، وزن تر و خشک بوته و بازده اسانس همبستگی مثبت و معنی دار اما با وزن تر ریشه، طول ریشه و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی منفی و معنی دار وجود دارد. بین بازده اسانس و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی منفی و معنی دار، بین فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی مثبت و معنی دار، بین فلاونوئید و فعالیت انتی اکسیدانی همبستگی منفی و معنی دار، بین فنل و فلاونوئید همبستگی مثبت و معنی دار وجود دارد.

عباس‌زاده و همکاران [۱] در بررسی روابط بین بازده اسانس و صفات زراعی دو اکوتیپ پونه نشان دادند که درصد اسانس با صفات زراعی همبستگی مثبت و معنی‌دار دارد. هرچه ارتفاع گیاه بیشتر باشد ابعاد برگ و قسمت‌های زایشی همسو با آن بزرگتر خواهد بود و ژنوتیپ هایی که از ارتفاع بیشتری برخوردار باشند زمینه تولید متابولیت‌های ثانویه بالایی خواهند داشت، زیرا تولید و ذخیره اسانس و قسمت استفاده شده جهت استخراج اغلب سرشاخه‌های گلدار است که طول ساقه گلدار و طول و عرض برگ و اندازه قسمت‌های زایشی نقش مهمی در بازده تولید اسانس دارد و از نظر کشت، تولید و برداشت گیاهان دارویی ارزش بالایی دارد.

جدول ۴-ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه گیری شده پونه وحشی

صفات	ارتفاع بوته	وزن خشک بوته	طول ریشه	وزن خشک ریشه	بازده اسانس	فلاونوئید	فنل کل	آنتی‌اکسیدان
ارتفاع بوته	۱							
وزن خشک بوته	۰/۸۳*	۱						
طول ریشه	-۰/۹۶**	-۰/۷۱*	۱					
وزن تر ریشه	۰/۹۵**	-۰/۷۱*	۰/۹۹**					
بازده اسانس	۰/۹۷**	۰/۹۱**	-۰/۹۲**	-۰/۶۴	۱			
فلاونوئید	-۰/۴۷	-۰/۲۴	۰/۶۷	۰/۵۷	-۰/۴۸	۱		
فنل کل	-۰/۵۷	-۰/۳۱	۰/۷۵*	۰/۶۷	-۰/۵۶	۰/۹۶**	۱	
آنتی‌اکسیدان	-۰/۹۳**	-۰/۶۶	۰/۹۹**	۰/۷۸*	-۰/۸۷**	۰/۷۲*	۰/۸۱*	۱

** و * به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد می باشند.

ترکیبات شیمیایی پونه وحشی

نتایج آنالیز اسانس نمونه‌های گیاهی بدست آمده از پونه وحشی در ارتفاعات مختلف و مرحله قبل گلدهی و گلدهی کامل (جدول ۵) نشان می‌دهد که در ارتفاع ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متری در مرحله قبل گلدهی ۲۸ ترکیب شناسایی گردیده است، که از میان آنها *Sabinene* (۱/۲۹)، *1,8-Cineole* (۲/۵۲)، *Limonene* (۱/۴۲)، *α-Pinene* (۱/۸۶)، *β-Pinene* (۱/۸۸)، *Menthone* (۴/۸۸)، *Terpinen-4-ol* (۳/۰۱)، *Piperitenone oxid* (۵/۸)، *Piperitenone* (۱۳/۲) و *Pulegone* (۳۹/۶) در مرحله گلدهی کامل در همین ارتفاع ۲۷ ترکیب شناسایی گردید که *α-Thujene* (۱/۲)، *Camphene* (۱/۷۵)، *α-Pinene* (۲/۳)، *β-Pinene* (۱/۷۸)، *Sabinene* (۲/۷۳)، *1,8-Cineole* (۵/۶)، *Limonene* (۴/۵)، *Menthone* (۳/۷۵)، *Menthol* (۱/۵۶)، *Terpinen-4-ol* (۳/۷)، *Piperitenone oxid* (۶/۲۱)، *Piperitenone* (۵/۳۳) و *Pulegone* (۳۳/۶۴) ترکیبات عمده اسانس این ارتفاع می‌باشند.

در ارتفاع ۲۰۰۰-۱۸۰۰ متری در مرحله قبل گلدهی ۲۸ ترکیب شناسایی گردیده است، که از میان آنها *1,8-Cineole* (۱/۵۵)، *β-Pinene* (۱/۵۶)، *Menthone* (۵/۷۵)، *Piperitenone oxid* (۷/۲۱)، *Piperitenone* (۸/۱۱) و *Pulegone* (۴۳/۲۵) در مرحله گلدهی کامل در همین ارتفاع ۲۸ ترکیب شناسایی گردید که *α-Thujene* (۱/۵۴)، *Camphene* (۱/۲۳)، *α-Pinene* (۱/۶۲)، *β-Pinene* (۲/۵۶)، *1,8-Cineole* (۹/۱۲)، *Limonene* (۳/۱۱)، *Menthone* (۱/۳۳)، *Menthol* (۲/۸۸)، *Piperitenone oxid* (۵/۲۳)، *Piperitenone* (۴/۲۴) و *Pulegone* (۳۶/۳۳) ترکیبات عمده اسانس این ارتفاع می‌باشند.

در ارتفاع ۲۲۰۰-۲۰۰۰ متری در مرحله قبل گلدهی ۲۸ ترکیب شناسایی گردیده است، که از میان آنها *1,8-Cineole* (۲/۶۸)، *Limonene* (۱/۲۲)، *α-Pinene* (۱/۵)، *β-Pinene* (۱/۸۲)، *Menthone* (۳/۶)، *Piperitenone oxid* (۳/۸۶)، *Piperitenone* (۱۰/۱۱)، *Camphene* (۱/۲۳)، *Linalool* (۳/۵) و *Pulegone* (۴۶/۱) در مرحله گلدهی کامل در همین ارتفاع ۲۵ ترکیب شناسایی گردید که *α-Thujene* (۲/۱۱)، *α-Pinene* (۱/۲)، *β-Pinene* (۱/۲۶)، *1,8-Cineole* (۱۱/۳۶)، *Limonene* (۲/۱۳)، *Menthone* (۹/۵)، *Menthol* (۲/۱)، *Piperitenone oxid* (۸/۶۲)، *Piperitenone* (۲/۹۷)، *Myrcene* (۱/۱۱) و *Pulegone* (۳۵/۳) ترکیبات عمده اسانس این ارتفاع می‌باشند.

در ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متری در مرحله قبل گلدهی ۲۶ ترکیب شناسایی گردیده است، که از میان آنها *1,8-Cineole* (۳/۵)، *Limonene* (۳/۵)، *β-Pinene* (۱/۵)، *Menthone* (۱۳/۳)، *Piperitenone oxid* (۳/۵۶)، *Piperitenone* (۷/۶۳)، *Linalool* (۵/۲۳)، *Thymol* (۱/۱۱) و *Pulegone* (۴۷/۰) در مرحله گلدهی

کامل در همین ارتفاع ۲۵ ترکیب شنا سایی گردید که *α*-*Thujene* (۲/۷۴)، *α-Pinene* (۱/۱۲)، *β-Pinene* (۱/۰۲)، *1,8-Cineole* (۱۳/۵)، *Limonene* (۵/۷۵)، *Menthone* (۵/۳۴)، *Menthol* (۲/۵۳)، *Piperitenone oxid* (۶/۲)، *Piperitenone* (۳/۶۵)، *α-Terpinene* (۱/۵)، *Thymol* (۱/۲۶)، *Myrcene* (۱/۵۷) و *Pulegone* (۳۶/۸) ترکیبات عمده اســـانس این ارتفاع می‌باشند.

جدول ۵- ترکیبات شیمیایی پونه وحشی در ارتفاعات مختلف و مرحله فنولوژیک

		ارتفاع ۱۸۰۰-۱۶۰۰ متر		ارتفاع ۲۰۰۰-۱۸۰۰ متر		ارتفاع ۲۲۰۰-۲۰۰۰ متر		ارتفاع ۲۴۰۰-۲۲۰۰ متر	
ردیف	ترکیبات (درصد)	قبل گلدهی	گلدهی کامل	قبل گلدهی	گلدهی کامل	قبل گلدهی	گلدهی کامل	قبل گلدهی	گلدهی کامل
۱	*α-Thujene*	۰/۷۴	۱/۲	۰/۷۶	۱/۵۴	۰/۶۳	۲/۱۱	۰/۷۴	۲/۷۲
۲	*α-Pinene*	۱/۸۶	۲/۳	۰/۵۲	۱/۶۲	۱/۵	۱/۲	۰/۶۹	۱/۱۲
۳	*Sabinene*	۱/۲۹	۲/۷۳	۰/۲۶	۰/۸۸	۰/۴۲	۰/۷۶	۰/۶۴	۱/۷۶
۴	*Camphene*	۰/۷۷	۱/۷۵	۰/۱۷	۰/۳۶	۱/۲۱	۰/۶۷	–	۰/۳۳
۵	*β-Pinene*	۱/۸۸	۱/۷۸	۱/۵۶	۲/۶۵	۱/۸۲	۱/۲۶	۱/۵	۱/۰۲
۶	*3-Octanol*	۰/۷۶	۰/۶۳	۰/۲۳	۰/۶۷	۰/۳۷	۰/۸۴	۰/۷۱	۰/۱
۷	*Myrcene*	۰/۶۲	۰/۳۵	۰/۵۲	۰/۵۶	۰/۴۲	۱/۱۱	۰/۳۹	۱/۵۷
۸	*α-Terpinene*	۰/۱۲	۰/۵۵	۰/۱۴	۰/۴۱	–	۰/۳۶	۰/۰۶	۰/۱۵
۹	*Limonene*	۱/۴۲	۴/۵	۰/۴۴	۳/۱۱	۱/۲۲	۲/۱۳	۳/۵	۵/۷۵
۱۰	*p-Cymene*	۰/۲۹	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۰۹	۰/۷۳	۰/۶۲	۰/۲۱	۰/۱۱
۱۱	*cis-Ocimene*	۰/۱۷	۰/۸۵	۰/۱۵	۰/۰۶	۰/۰۳	–	۰/۶	–
۱۲	*1,8-Cineole*	۲/۵۲	۵/۶	۱/۵۵	۹/۱۲	۲/۶۸	۱۱/۳۶	۳/۵	۱۳/۵
۱۳	*γ-Terpinene*	۰/۷۳	–	۰/۲۶	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۰۶	۰/۸۵	۰/۰۸
۱۴	*Sabinene hydrate*	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۰۸	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۱
۱۵	*α-Terpinolene*	۰/۳۸	۰/۲۴	۰/۰۸	۰/۶۶	–	–	۰/۰۱	–
۱۶	*Linalool*	۰/۵۲	۰/۷۴	۱/۵۲	۰/۸۶	۳/۵	۵/۱۱	۵/۲۳	۹/۱۳
۱۷	*Menthone*	۴/۸۸	۳/۷۵	۵/۷۵	۱/۳۳	۳/۶	۹/۵	۱۳/۳	۵/۳۴
۱۸	*Menthol*	۰/۲۳	۱/۵۶	۰/۴۱	۲/۸۷	۰/۵۴	۱/۲	۰/۵	۲/۵۳
۱۹	*Terpinen-4-ol*	۳/۰۱	۳/۷	۰/۴۶	۰/۵۲	۰/۷۳	۰/۸۶	۱/۵	۲/۳
۲۰	*Dihydrocarveol*	۰/۶۳	۰/۱۲	۰/۴	۰/۰۸	۰/۷۷	۰/۹۲	۰/۱۴	۰/۸
۲۱	*α-Terpineol*	۰/۷۴	۰/۷۶	–	۰/۸۹	–	۱/۲	۰/۰۴	۱/۵
۲۲	*Pulegone*	۳۹/۶	۳۳/۶۴	۴۳/۲۵	۳۶/۳۳	۴۶/۱	۳۵/۳	۴۷	۳۶/۸
۲۳	*Piperitone*	۰/۵۹	۰/۹۱	۱/۶۶	½	۴/۳۲	–	–	–
۲۴	*Thymol*	۰/۶۶	۰/۷۴	۰/۴۲	۰/۷۷	۰/۸۴	۱/۲	۱/۱۳	۱/۲۶
۲۵	*Carvacrol*	۰/۵۶	۰/۸۴	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۵
۲۶	*Piperitenone oxid*	۵/۸	۶/۲۱	۷/۲۱	۵/۲۳	۳/۸۶	۸/۶۲	۳/۵۶	۶/۲
۲۷	*Piperitenone*	۱۳/۲	۵/۳۳	۸/۱۱	۴/۲۴	۱۰/۱۱	۲/۹۷	۷/۶۳	۳/۶۵
۲۸	*β-Caryophyllene*	۰/۸۵	۱/۰۱	۰/۵۱	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۴	۰/۶۵	۰/۸۸
۲۹	*Germacrene-D*	۰/۳۳	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۲۳	۰/۶۴	۰/۸	۰/۱۴
۳۰		۸۳/۴	۸۲/۹۷	۸۹/۹۵	۸۸/۵۵	۸۸/۲۴	۹۱/۲۷	۹۴/۸۷	۹۵/۶۹

نتایج آنالیز ترکیبات شیمیایی نشان می دهد که ترکیبات مهم شناسایی شده با تحقیقات محمودی و همکاران [۲۶]، پژوهی الموتی و همکاران [۳۶]، تناور و همکاران [۴۴]، *Al-Taie* و *Al-Kenane* [۴] و *Mkaddem* و همکاران [۳۰] مطابقت دارد. نتایج نشان داد که ترکیبات پولگون و منتونن در مرحله قبل گلدهی و ترکیب منتول در مرحله گلدهی کامل افزایش یافته است، همچنین ترکیب ۱،۸- سینئول در مرحله گلدهی بیشتر از مرحله رویش می باشد. مهم ترین ترکیب شناسایی شده ترکیب پولگون می باشد که پیش از این تجزیه ترکیب های این گونه در برخی از نقاط مختلف ایران و سایر کشورها گزارش شده است. همان طور که ملاحظه می شود درصد ترکیبات مهم در ارتفاعات و مرحله فنولوژیکی مختلف متفاوت می باشد. با توجه به اینکه مهم ترین ترکیب در اسانس پولگون می باشد و ارزش اقتصادی و دارویی آن وابسته به میزان این ترکیب است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که صفات مورد بررسی گیاه پونه وحشی (ارتفاع بوته، وزن خشک بوته، طول ریشه، وزن خشک ریشه، محتوای فنل کل، محتوای فلاونوئید کل و فعالیت آنتی اکسیدانی) تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا هستند. همچنین مرحله فنولوژیک گیاه بر تمامی صفات مذکور به جز بازده اسانس و وزن خشک ریشه مؤثر بود. صفات محتوای فنل کل و محتوای فلاونوئید کل تحت تأثیر برهمکنش ارتفاع از سطح دریا و مرحله فنولوژیک قرار گرفت.

در این تحقیق ضرایب همبستگی بین صفات اندازه گیری شده تعیین شدند که بزرگ‌ترین آن بین وزن تر و خشک بوته، طول ریشه با فعالیت انتی اکسیدانی و طول ریشه با وزن تر ریشه بود. بازده اسانس و فلاونوئید با فعالیت آنتی اکسیدانی همبستگی منفی داشتند در حالی که همبستگی مثبت بین فنل کل و فعالیت آنتی اکسیدانی مشاهده گردید همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که درصد و تعداد ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس در گیاه برداشت شده از ارتفاعات و مرحله فنولوژیک مختلف، متفاوت می‌با شد. بنابراین متنا سب با نوع ا ستفاده از گیاه در صنایع مختلف غذایی، دارویی، آرایشی و بهداشتی شرایط بهینه برداشت را می توان تعیین کرد.

References

[1]. Abbaszadeh, B., Rezaee, M., & Layegh haghighi, M. (2012). Investigation Morphological Characteristics and Essential Oil Component of 2 Ecotypes of Watermint (*Mentha aquatica* L.). *Journal of Medicinal Plants*, *11*(41), 248-257. [in Farsi]

[2]. Adams, R. P. (2017). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. 5 online ed. *Gruver, TX USA: Texensis Publishing*.

[3]. Alimohammadi, M., Yadegari, M., & Shirmardi, H. A. (2017). Effect of elevation and phenological stages on essential oil composition of Stachys. *Turkish Journal of Biochemistry*, *42*(6), 647-656. doi: 10.1515/tjb-2016-0267

[4]. Altaie, S. S. K., & AL-Kenane, N. F. M. (2020). *Study Biochemistry of Mentha Longifolia (L.) Huds: A Review*.

[5]. Arianfar, M., Akbarinodehi, D., Hemati, K., & Rostampoor, M. (2018). Effects of altitude and aspect on efficiency of producing essence and phytochemical properties of *Artemisia aucheri* Boiss and *Artemisia sieberi* Besser in South Khorasan. *Journal of Rangeland*, *12*(3), 281-294. [in Farsi]

[6]. Blumthaler, M., Ambach, W., & Ellinger, R. (1997). Increase in solar UV radiation with altitude. *Journal of photochemistry and Photobiology B: Biology*, *39*(2), 130-134.

[7]. Chang, C.-C., Yang, M.-H., Wen, H.-M., & Chern, J.-C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of food and drug analysis*, *10*(3). doi: 10.38212/2224-6614.2748

[8]. Conforti, F., Statti, G. A., & Menichini, F. (2007). Chemical and biological variability of hot pepper fruits (*Capsicum annuum* var. *acuminatum* L.) in relation to maturity stage. *Food Chemistry*, *102*(4), 1096-1104. doi: 10.1016/j.foodchem.2006.06.047

[9]. Coomes, D. A., & Allen, R. B. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, *95*(5), 1084-1097. Doi: 10.1111/j.1365-2745.2007.01280.x

[10]. Dehghani Bidgoli, R. (2018). The effect of using nutritional methods on the changes of some secondary metabolites of Rosa damascene Mill extract. *Tea and herbal teas*, *1*(1), 12-14.

[11]. Dehghani Bidgoli, R., Pessarakli, M., Heshmati, G., & Ebrahimabadi, A. (2013). Effects of Topographic factors of the site on the essential oil compounds of Artemisia aucheri aerial parts grown in a mountainous region. *Communications in soil science and plant analysis*, *44*(17), 2618-2624. doi: 10.1080/00103624.2013.803570

[12]. Ekrami, A., Masoudian, N., Mahmoodzadeh, H., Roodi, B., & Ebadi, M. (2024). Effects of Altitude on Some Physiological Characteristics of Sagebrush in Khorasan Province, Iran. *Journal of Chemical Health Risks*, *14*(2), 253-261. doi: 10.22034/jchr.2022.580687.1006

[13]. Haider, F., Kumar, N., Banerjee, S., Naqvi, A., & Bagchi, G. (2009). Effect of altitude on the essential oil constituents of *Artemisia roxburghiana* Besser var. *purpurascens* (Jacq.) Hook. *Journal of Essential Oil Research*, *21*(4), 303-304. doi: 10.1080/10412905.2009.9700177

[14]. Häkkinen, S. H., & Törrönen, A. R. (2000). Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and Vaccinium species: influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food research international*, *33*(6), 517-524. doi: 10.1016/S0963-9969(00)00086-7

[15]. Harbourne, N., Jacquier, J. C., & O'Riordan, D. (2009). Optimisation of the extraction and processing conditions of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) for incorporation into a beverage. *Food Chemistry*, *115*(1), 15-19. doi: 10.1016/j.foodchem.2008.11.044

[16]. Hashemi Moghaddam, H. S., F., & Ashraf Jafari, A. K., S. (2022). Effect of habitat factors on aerial yield, morphological traits and essential oil content of Nepeta binaludensis Jamzad . *Iranian Journal of Horticultural Science*, *52*(4), 813-824. doi: 10.22059/ijhs.2021.306356.1824

[17]. Holopainen, J. K., & Gershenzon, J. (2010). Multiple stress factors and the emission of plant VOCs. *Trends in plant science*, *15*(3), 176-184. doi: 10.1016/j.tplants.2010.01.006

[18]. Holopainen, J. K., Virjamo, V., Ghimire, R. P., Blande, J. D., Julkunen-Tiitto, R., & Kivimäenpää, M. (2018). Climate change effects on secondary compounds of forest trees in the northern hemisphere. *Frontiers in plant science*, *9*, 1445. doi: 10.3389/fpls.2018.01445

[19]. Ibañez, J., & Usubillaga, A. (2006). The essential oil of *Espeletia schultzii* of different altitudinal populations. *Flavour and Fragrance Journal*, *21*(2), 286-289. doi: 10.1002/ffj.1586

[20]. Jahani, A., Goshtasb, H., & Saffariha, M. (2020). Tourism impact assessment modeling of vegetation density for protected areas using data mining techniques. *Land Degradation & Development*, *31*(12), 1502-1519. doi: 10.1002/ldr.3549

[21]. Jahani, A., & Rayegani, B. (2020). Forest landscape visual quality evaluation using artificial intelligence techniques as a decision support system. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, *34*(10), 1473-1486. doi: 10.1007/s00477-020-01832-x

[22]. Jaimand, K., & Rezaei, M. (2002). Chemical constituents of essential oil from Achillea vermicularis trin. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *15*(1), 49-58. [in Farsi]

[23]. Katalinic, V., Milos, M., Kulisic, T., & Jukic, M. (2006). Screening of 70 medicinal plant extracts for antioxidant capacity and total phenols. *Food Chemistry*, *94*(4), 550-557. doi: 10.1016/j.foodchem.2004.12.004

[24]. Khalasi Ahwazi, L., Heshmati, G. A., Zofan, P., & Akbarlou, M. (2016). Total phenol, flavonoid contents and antioxidant activity of Gundelia tournefortii L. in different phenological stage and habitats of North East of khozestan province. *Eco-phytochemical Journal of medicinal plants*, *4*(1), 33-46.

[25]. Kouchaki, A., Soltani, A., & Azizi, M. (2013). *Plant Ecophysiology. The university of Mashhad publications, 272p*.

[26]. Mahmodi, R., Tajik, H., Farshid, A., Ehsani, A., Zaree, P., & Moradi, M. (2011). Phytochemical Properties of *Mentha longifolia* L. Essential Oil and its Antimicrobial Effects on *Staphylococcus Aureus*. *Armaghane Danesh*, *16*(5), 400-412. [in Farsi]

[27]. Mahzouni Kechpi, S. S., Mahdavi, M. Akbarzadeh, M., & Rozbeh Nasirai, L. (2012). *The effect of altitude on the quantity and quality of the essential oil and compounds of Stachys lavandulifolia (vahl) in Belde Noor region.* National Conference on Environment and Plant Production, Semnan, Iran. https://civilica.com/doc/275179

[28]. Mazaraie, A., & Fahmideh, L. (2020). Evaluation of phytochemical and antioxidant activity of three widely-used medicinal plant in natural habitats of Fars province. *Eco-phytochemical Journal of medicinal plants*, *8*(1), 90-105. [in Farsi]

[29]. Mejia, L., Hudson, E., de Mejia, E. G., & Vazquez, F. (1988). Carotenoid content and vitamin A activity of some common cultivars of Mexican peppers (*Caps&m annuum*) as determined by HPLC. *Journal of Food Science*, *53*(5), 1440-1443. doi: 10.1111/j.1365-2621.1988.tb09295.x

[30]. Mkaddem, M., Bouajila, J., Ennajar, M., Lebrihi, A., Mathieu, F., & Romdhane, M. (2009). Chemical composition and antimicrobial and antioxidant activities of Mentha (longifolia L. and viridis) essential oils. *Journal of Food Science*, *74*(7), M358-M363. doi: 10.1111/j.1750-3841.2009.01272.x

[31]. Nabavi, S., Zali, S., Ghorbani, J., & Kazemi, S. (2015). The effect of habitat on quality and quantity of the extracts plant cones from Juniperus Communis. *Journal of Medicinal Plants*, *4*(3), 311-318.

[32]. Nataraj, N., Hussain, M., Ibrahim, M., Hausmann, A. E., Rao, S., Kaur, S., Khazir, J., Mir, B. A., & Olsson, S. B. (2022). Effect of altitude on volatile organic and phenolic compounds of *Artemisia brevifolia* Wall ex Dc. from the Western Himalayas. *Frontiers in Ecology and Evolution*, *10*, 864728. doi: 10.3389/fevo.2022.864728

[33]. Nikhkhah Amirabad, H., Hosseini, B., Fattah, M., & Gosta, Y. (2017). Effect of altitude and different phonological stages on essential composition and antioxidant activity of Ferula angulata (Schlecht.) Boiss from Dena altitudes. *Eco-phytochemical Journal of medicinal plants*, *1*(5), 16-29.

[34]. Omid-Beigi, R. (1995). *Approach of manufacturing and processing plants* (1 Ed., Vol. 1). Idea Day.

[35]. Osbourn, A. E., Qi, X., Townsend, B., & Qin, B. (2003). Dissecting plant secondary metabolism–constitutive chemical defences in cereals. *New Phytologist*, *159*(1), 101-108. doi: 10.1046/j.1469-8137.2003.00759.x

[36]. Pajohi Alamoti, M. R., Tajik, H., Akhondzade, A., Gandomi, H., & Ehsani, A. (2012). A Study on chemical composition and antimicrobial activity of essential oil of *Mentha longifolia* L. and *Cuminum cyminum* L. in soup. *Journal of food science and technology (Iran)*, *9*(36), 33-45. [in Farsi]

[37]. Pérez-Estrada, L. B., Cano-Santana, Z., & Oyama, K. (2000). Variation in leaf trichomes of Wigandia urens: environmental factors and physiological consequences. *Tree Physiology*, *20*(9), 629-632. doi: 10.1093/treephys/20.9.629

[38]. Roupioz, L., Jia, L., Nerry, F., & Menenti, M. (2016). Estimation of daily solar radiation budget at kilometer resolution over the Tibetan Plateau by integrating MODIS data products and a DEM. *Remote Sensing*, *8*(6), 504. doi: 10.3390/rs8060504

[39]. Saffariha, M., Azarnivand, H., Zare Chahouki, M. A., Tavili, A., Nejad Ebrahimi, S., Jahani, R., & Potter, D. (2021). Changes in the essential oil content and composition of Salvia limbata CA Mey at different growth stages and altitudes. *Biomedical Chromatography*, *35*(8), e5127. doi: 10.1002/bmc.5127

[40]. Salehi, M., & Kalvandi, R. (2020). Evaluation of Morphological and Phytochemical Characteristics Changes in Different Populations of Stachys inflata Benth. in Hamedan Province. *Journal Of Horticultural Science*, *34*(2), 247-260. doi: 10.22067/jhorts4.v34i2.79307 [in Farsi]

[41]. Slinkard, K., & Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *American journal of enology and viticulture*, *28*(1), 49-55. doi: 10.5344/ajev.1977.28.1.49

[42]. Sun, M., Gu, X., Fu, H., Zhang, L., Chen, R., Cui, L., Zheng, L., Zhang, D., & Tian, J. (2010). Change of secondary metabolites in leaves of *Ginkgo biloba* L. in response to UV-B induction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *11*(4), 672-676. doi: 10.1016/j.ifset.2010.08.006

[43]. Taghipour, A., & Rastgar, S. (2010). Role of physiography on vegetation cover using GIS (case of Hezarjarib's rangelands, Mazandaran province). *Rangeland*, *4*(2), 168-177.

[44]. Tanavar, H., Barzegar, H., Alizadeh Behbahani, B., & Mehrnia, M. A. (2020). Mentha pulegium essential oil: chemical composition, total phenolic and its cytotoxicity on cell line HT29. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, *16*(5), 643-653. doi: 10.22067/ifstrj.v16i5.84722

[45]. Wang, B., Zhang, G., & Duan, J. (2015). Relationship between topography and the distribution of understory vegetation in a Pinus massoniana forest in Southern China. *International Soil and Water Conservation Research*, *3*(4), 291-304. doi: 10.1016/j.iswcr.2015.10.002

[46]. Wink, M. (2003). Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry*, *64*(1), 3-19. doi: 10.1016/S0031-9422(03)00300-5

[47]. Wink, M. (2018). Plant secondary metabolites modulate insect behavior-steps toward addiction? *Frontiers in Physiology*, *9*, 364. doi: 10.3389/fphys.2018.00364

[48]. Xiang, X., Huang, Y.-M., Yang, C.-Y., Li, Z.-Q., Chen, H.-Y., Pan, Y.-P., Huo, J.-X., & Ren, L. (2021). Effect of altitude on community-level plant functional traits in the Qinghai Lake Basin, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, *45*(5), 456-466. doi: 10.17521/cjpe.2020.0140

[49]. Yavari, A. R., Nazeri, V., Sefidkon, F., & Hasani, M. E. (2010). Evaluation of some ecological factors, morphological traits and essential oil productivity of thymus migricus Klokov & Desj.-Shost. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *26*(2), 227-238. doi: 10.22092/ijmapr.2010.6938.

[50]. Yelenosky, G., & Guy, C. L. (1989). Freezing tolerance of citrus, spinach, and petunia leaf tissue: osmotic adjustment and sensitivity to freeze induced cellular dehydration. *Plant physiology*, *89*(2), 444-451. doi: 10.1104/pp.89.2.444

[51]. Yousefzadeh, S. (2021). Investigation of quantitative and qualitative traits (Stachys inflate Benth) affected by altitude and soil in East Azerbaijan province. *Crop Science Research in Arid Regions*, *3*(2), 207-220. doi: 10.22034/csrar.2021.302366.1125

Investigating the effect of phenological stage and altitude on morphological traits, quantity and quality of essential oil of wild mint (*Mentha longifolia* L.) in Taftan Mountain
(Research Paper)

1- Parviz Bakhtiari Nia, Master's degree in Agroecology, University of Zabol, Zabol, Iran.
2- Ahmed Ghanbari, Professor, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.
3- Esmaeel Seyedabadi*, Associate Professor, Department of Agronomy, University of Zabol, Zabol, Iran.
e.seyedabadi@uoz.ac.ir
4- Mostafa Khajeh, Professor, Department of Chemistry, University of Zabol, Zabol, Iran.

Received: 23 Apr. 2024
Accepted: 17 Sep. 2024

Abstract
The wild oregano is a species of flowering plant in the mint family *Lamiaceae* that grows naturally in Iran. The present study was conducted to investigate the effect of altitude and phenological stages on the morphological traits, quantity, and quality of secondary metabolites of wild oregano in the highlands of Taftan. The experiment was conducted as a factorial design in a completely randomized design with three replications. The experimental factors included altitude at four levels (1600-1800, 1800-2000, 2000-2200, and 2200-2400 meters above sea level) and phenological stages at two levels (beginning of flowering and full flowering). After preparing samples from the branches of these species at various altitudes and phenological stages, the quantitative traits including plant height, plant dry weight, root length, root dry matter, and biochemical traits including essential oil yield percentage, essential oil compounds, total flavonoid content, total phenol, and antioxidant activity were measured. Then the correlation of the experimental treatments and investigated traits was done. Gas chromatography (GC) devices connected to mass spectrometry (GC/MS) were used to identify the constituents of essential oil. The results showed that the traits of plant height, and plant dry matter decreased due to the increase in altitude above sea level, and the traits of root length, root dry matter, total phenol content, total flavonoid content, and antioxidant activity increased. Moreover, the full flowering stage improved the quantitative and qualitative traits investigated. There was a negative and significant correlation between essential oil yield and antioxidant activity, a positive and significant correlation between total phenol and antioxidant activity, a negative and significant correlation between flavonoid and antioxidant activity, and a positive and significant correlation between phenol and flavonoid. The major components of wild mint included α-Thujene, α-Pinene, β-Pinene, 1,8-Cineole, Limonene, Menthone, Menthol, Piperitenone oxide, Piperitenone, α-Terpinene, Thymol, Myrcene and Pulegone. The results also indicated that the amount of these compounds was influenced by both altitude and phenological stage.

Keywords: Secondary metabolites, Full flowering, Gas chromatography, Phenological stage, Total phenol, Antioxidant.