



## تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) در استان کردستان

سامان شریفی<sup>۱</sup>، لقمان قهرمانی<sup>۲\*</sup>، مهدی پورهایمی<sup>۳</sup> و مهتاب پیرباوقار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.  
<sup>۲</sup>دانشیار، گروه جنگلداری دانشگاه کردستان و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران.  
<sup>۳</sup>استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۰)

### چکیده

**مقدمه:** عوامل فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه)، اثر مهمی در شکل‌گیری رویشگاه‌ها و توزیع و رشد گونه‌های گیاهی دارند. هدف این پژوهش، بررسی تأثیر این عوامل بر ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه در استان کردستان بود.

**مواد و روش‌ها:** این پژوهش در منطقه‌ای به مساحت ۱۸۶۰ هکتار از جنگل‌های سنندج انجام گرفت. منطقه پژوهش، با استفاده از روی هم‌گذاری نقشه‌های ارتفاع از سطح دریا، جهت دامنه و شیب، به ۳۶ واحد همگن فیزیوگرافی تقسیم شد. برای هر یکان شکل زمین، چهار نقطه نمونه برداری تصادفی (معادل چهار تکرار) به صورت رقومی طراحی و مختصات آنها برای موقعیت‌یابی به GPS وارد شد. در هر نقطه نمونه برداری، هفت اصله از نزدیک‌ترین درختان بنه به آن نقطه با قطر برابر سینه مساوی و بیش از ۵ سانتی‌متر (در کل ۱۰۰۸ اصله درخت بنه)، به عنوان درختان نمونه انتخاب شدند. برای درختان نمونه، قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن اندازه‌گیری و وضعیت شادابی تاج ثبت شد. پراکنش قطری درختان بنه اندازه‌گیری شده به تفکیک عوامل فیزیوگرافی ترسیم و آماره‌های قطر، ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، شادابی تاج و ضریب قد کشیدگی، به تفکیک واحدهای فیزیوگرافی و کل (بدون در نظر گرفتن شرایط فیزیوگرافی) محاسبه شد. بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (با در نظر گرفتن ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه به عنوان فاکتورهای آزمایش) انجام گرفت. مقایسه میانگین قطر برابر سینه، ارتفاع تنه، سطح تاج و ضریب قد کشیدگی درختان بنه در ترکیبات تیماری عوامل فیزیوگرافی (ترکیب سطوح فاکتورهای آزمایش) پس از رد فرضیه یکسان بودن آنها بر اساس نتایج تجزیه واریانس، با استفاده از آزمون تی بی‌توجهی انجام گرفت.

**یافته‌ها:** بر اساس نتایج، ارتفاع از سطح دریا مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر قطر درختان بنه بود. به طور کلی، با افزایش ارتفاع، قطر درختان نیز افزایش یافت. از نظر ارتفاع کل و ارتفاع تاج، اختلاف معنی‌داری بین درختان بنه در طبقه‌های فاکتورهای فیزیوگرافی مشاهده نشد. فاکتور شیب بر ارتفاع تنه تأثیرگذار بود، به طوری که درختان در دامنه‌های با شیب کمتر، ارتفاع تنه بیشتری داشتند. افزون بر این، سطح تاج درختان بنه تحت تأثیر ترکیبی از شیب و جهت دامنه قرار داشت و شادابی تاج نیز تحت تأثیر همزمان جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا قرار داشت. ضریب قد کشیدگی درختان بنه، به طور معنی‌داری تحت تأثیر ارتفاع از سطح دریا قرار داشت.

**نتیجه‌گیری:** این پژوهش نشان داد که عوامل فیزیوگرافی به طور چشمگیری بر رشد و نمو درختان بنه تأثیرگذارند. درک این تأثیرات می‌تواند در برنامه‌ریزی برای مدیریت پایدار جنگل‌های بنه بسیار مفید باشد. با شناسایی عوامل محدودکننده رشد درختان بنه، می‌توان اقدامات مدیریتی مناسبی را برای بهبود وضعیت رویشگاه‌ها و افزایش پایداری این گونه ارزشمند طراحی کرد. برای تعمیم نتایج این پژوهش به مناطق دیگر، به پژوهش‌های مشابه در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی و اکولوژیکی متفاوت نیاز است.

**واژه‌های کلیدی:** ارتفاع از سطح دریا، بنه، زاگرس، ویژگی‌های زیستی.

## مقدمه

است (Fu et al., 2004). عوامل زیستی مؤثر در انتشار گونه‌های گیاهی شامل رقابت بین گونه‌ها برای منابع محیطی، تأثیر حیوانات در پراکندگی بذر، نقش موجودات میکروبی در خاک که به رشد گیاهان کمک می‌کنند و تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و تجارت هستند. این عوامل به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم سبب تغییر محیط‌های زیستی و گسترش گیاهان در نواحی مختلف می‌شوند. تأثیر متقابل بین عوامل فیزیکی و زیستی رویشگاه، شبکه پیچیده‌ای از تأثیرات را ایجاد می‌کند که می‌تواند به‌طور گسترده در اکوسیستم‌ها و مقیاس‌های جغرافیایی مختلف متفاوت باشد (Bueno de Mesquita et al., 2016).

در خصوص گونه بانه که موضوع پژوهش پیش رو است باید اشاره شود که ۱۱ گونه پسته (*Pistacia*) از خانواده *Anacardiaceae* در مناطق مختلف جهان از جمله شمال آفریقا (صحرای غربی، مراکش و تونس)، اروپای شرقی (مقدونیه و یونان)، فلات آناتولی (ترکیه)، فلات زاگرس (ایران) و فلات هندوکش (افغانستان و پاکستان) یافت می‌شوند (Bahrani et al., 2010). سه گونه مهم پسته شامل بانه (*Pistacia atlantica*)، خنجوک (*P. khinjuk*) و پسته خوراکی (*P. vera*) در جنگل‌های ارسباران (شمال غربی ایران)، زاگرس (غرب و جنوب غرب ایران)، ایرانی-تورانی (فلات مرکزی ایران) و صحارا-سندی با مساحتی حدود ۲/۴ میلیون هکتار گسترش دارند (Fattahi, 1995; Owji & Hamzepour, 2003; Ghazanfari et al., 2004; Didehvar et al., 2022). بانه یکی از گونه‌های بارز اکولوژیکی و اقتصادی است که اغلب در نواحی غربی ایران و در مقیاس کمتری در نواحی شرقی و مرکزی ایران با مساحتی بالغ بر ۱/۲ میلیون هکتار گسترش دارد (Kozhoridze et al., 2015; Didehvar et al., 2022). این گونه در مناطق خشک و نیمه‌خشک تأثیر مهمی در حفظ تنوع زیستی، تأمین معیشت جوامع محلی، جلوگیری از فرسایش خاک و حفظ تعادل اکولوژیکی دارد. در جنگل‌های زاگرس، بانه به‌عنوان

به‌طور کلی، عوامل رویشگاهی مؤثر در انتشار گونه‌های گیاهی به دو دسته عوامل فیزیکی و زیستی تقسیم می‌شوند. عوامل فیزیکی شامل ویژگی‌های فیزیوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه) هستند که با تغییر ویژگی‌های خاک، آب‌وهوا، چرخه مواد مغذی، ذخیره کربن و عملکرد بوم‌سازگان، به‌طور مستقیم بر رشد و پراکنش گونه‌های گیاهی تأثیر می‌گذارند (Solon et al., 2007). به‌ویژه، ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل فیزیکی، بر دما، بارش، تبخیر و تعرق، تابش خورشید و ویژگی‌های شیمیایی خاک اثر می‌گذارد (Barnes et al., 1998; Maguran, 2004; Fakhimi Abarghoie et al., 2011). شیب دامنه نیز بر فرسایش خاک، وضعیت زهکشی، عمق و حاصلخیزی خاک تأثیرگذار است. در دامنه‌های با شیب زیاد، سرعت جریان آب بیشتر است و خاک به‌طور معمول زهکشی بهتری دارد. با این حال، شیب‌های تند ممکن است سبب فرسایش خاک و از دست رفتن مواد آلی شوند. در نواحی با شیب کم، خاک به‌دلیل تجمع رسوبات، عمق و حاصلخیزی بیشتری دارد که تأثیر زیادی بر پراکنش و رشد گونه‌های گیاهی می‌گذارد (Alhamad, 2006). جهت دامنه نیز از دیگر عوامل مهم است که به‌ویژه در نواحی خشک و نیمه‌خشک نسبت به نواحی مرطوب تأثیر بیشتری دارد. جهت جغرافیایی بر میزان تابش نور خورشید، دما، رطوبت خاک و سرعت باد تأثیر می‌گذارد. در نیمکره شمالی، دامنه‌های جنوبی بیشترین تابش خورشید را دریافت می‌کنند و دامنه‌های شمالی سایه بیشتری دارند؛ این تفاوت‌ها موجب تغییرات در دما، تبخیر و رطوبت خاک می‌شود و به‌طور مستقیم بر فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان، مانند فتوسنتز و تعرق تأثیر می‌گذارد (Desta et al., 2004; Fan et al., 2022). به‌دلیل وجود مواد آلی بیشتر و پوشش گیاهی مناسب‌تر، فرایندهای تشکیل خاک در دامنه‌های شمالی بیشتر از دامنه‌های جنوبی

از یکی از گونه‌های همراه بلوط، از نظر اقتصادی به دلیل برداشت شیرۀ سقز (محصولی صنعتی و دارویی) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Fattahi, 1995). درختان چندمنظوره‌ای مانند بنه که هم از نظر اقتصادی و هم از منظر محیط زیستی اهمیت دارند، افزون بر تولید چوب، منابعی برای محصولات جنگلی غیرچوبی مانند رزین، گال‌ها، میوه‌های خوراکی، بذر و علوفه درختی فراهم می‌آورند که تأثیر زیادی در تأمین معیشت جوامع محلی دارند (Mbuvi & Boon 2009; Deafalla et al., 2014).

ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان نظیر قطر برابرسینه، ارتفاع کل، سطح تاج، ضریب قدکشیدگی و شادابی تاج، معیارهای مهمی برای ارزیابی وضعیت فیزیولوژیکی، رشد و سلامت درختان و توده‌های جنگلی به شمار می‌روند. این نمایه‌ها تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله شرایط محیطی و فعالیت‌های انسانی (مدیریت جنگل) قرار می‌گیرند و می‌توانند اطلاعات مفیدی درباره وضعیت درختان و تأثیر عوامل محیطی بر آنها فراهم آورند (Kershaw et al., 2016; Asrat et al., 2020).

در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی درباره شرایط فیزیوگرافی رویشگاه‌های بنه در نقاط مختلف ایران انجام گرفته که در ادامه به اختصار به آنها اشاره می‌شود. در پژوهشی ذکر شده که در استان فارس، بیشتر رویشگاه‌های بنه و خنجوک در ارتفاع ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا و دامنه‌های شمالی و جنوبی واقع شده‌اند (Negahdarsaber et al., 2009). در استان زنجان، این گونه به‌طور عمده در دامنه‌های با شیب بیشتر از ۴۵ درصد و در جهت‌های شمال غربی و جنوب غربی مشاهده می‌شود (Davarpanah et al., 2009). در استان کرمان، پراکنش خنجوک در محدوده ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۲۸۰۰ متر و دامنه‌های شمالی و غربی گزارش شده است (Shekarchian et al., 2020). در استان مرکزی، گسترش گونه‌های خنجوک و بنه در دامنه ارتفاعی ۱۰۸۰ تا ۲۴۰۰ متر

از سطح دریا گزارش شده است. بیشترین و کمترین سطح رویشگاه این گونه‌ها به ترتیب در جهت‌های شمال شرقی و شرقی قرار دارد و بیشترین و کمترین حضور این گونه‌ها نیز به ترتیب در طبقات شیب ۲۰-۱۰ درجه و ۸۰-۶۰ درجه مشاهده شده است (Zahedipour, 2005). در جنگل‌های دره‌شهر، جهت دامنه، مهم‌ترین عامل فیزیوگرافی مؤثر بر حضور بنه است و رابطه معکوس میان حضور این گونه با ارتفاع از سطح دریا گزارش شده است (Heydari., 2017). در جنگل‌های سردشت در آذربایجان غربی، بیشترین میانگین قطر برابرسینه و ارتفاع درختان بنه در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر از سطح دریا ثبت شده و کاهش فراوانی این گونه با افزایش ارتفاع از سطح دریا مشاهده شده است (Esmaili et al., 2022). در منطقه خلخال، حضور درختان بنه در دامنه ارتفاعی ۱۸۰۰-۷۶۰ متر از سطح دریا، با میانگین قطر برابرسینه ۱۴/۶ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع کل ۲/۹ متر و میانگین قطر تاج ۲/۴۸ متر گزارش شده است (Rostamikia et al., 2009).

در پژوهش‌های خارجی نیز به اثر مهم عوامل بوم‌شناختی و فیزیوگرافی در پراکنش گونه‌های مختلف جنس پسته اشاره و تأکید شده است (Yi et al., 2015; Kozhoridze et al., 2008).

با وجود پژوهش‌های انجام گرفته درباره شرایط فیزیوگرافی رویشگاه‌های بنه در مناطق مختلف ایران، اطلاعات کافی درباره تأثیر این عوامل بر ویژگی‌های زیست‌سنجی این گونه در استان کردستان وجود ندارد. از این‌رو، این پژوهش با هدف بررسی اثر فاکتورهای فیزیوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت دامنه) بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه در بخشی از جنگل‌های این استان انجام گرفت. اهداف اصلی این پژوهش شامل تعیین تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر ویژگی‌های زیست‌سنجی و ارزیابی اثر هر یک از این عوامل در تبیین تغییرات رشد و سلامت درختان بنه بود. این پژوهش در پی پاسخ به پرسش‌های زیر است: ۱. آیا عوامل

نقشه‌های عوامل فیزیوگرافی، ۳۶ واحد همگن فیزیوگرافی (یکان‌های شکل زمین) تفکیک شد. با ادغام یکان‌های شکل زمین با مساحت کمتر از نیم هکتار، لایه نهایی واحدهای شکل زمین برای طراحی نقاط نمونه‌برداری تهیه شد (شکل ۱). از آنجا که طبقه مسطح (طبقه ۵ نقشه جهت دامنه) بسیار محدود بود، کنار گذاشته شد و طراحی نقاط نمونه‌برداری در ۳۶ یکان شکل زمین انجام گرفت. با توجه به پراکنش نامنظم و فواصل زیاد بین درختان بنه، برای هر یکان شکل زمین، چهار نقطه نمونه‌برداری تصادفی به صورت رقومی (معادل چهار تکرار برای استفاده در تجزیه واریانس داده‌ها) تعیین شد. مختصات نقاط نمونه‌برداری تصادفی به GPS وارد شد و در منطقه موقعیت‌یابی آنها انجام گرفت. در هر نقطه نمونه‌برداری تصادفی، هفت اصله (با هدف کاهش خطای برآورد میانگین نمایه‌های زیست‌سنجی بررسی شده) نزدیک‌ترین درختان بنه به نقطه تصادفی، با قطر برابر سینه مساوی و بیشتر از ۵ سانتی‌متر، به عنوان درختان نمونه (در مجموع ۱۰۰۸ اصله) انتخاب شدند. قطر برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، قطر بزرگ تاج و قطر عمود بر آن اندازه‌گیری و وضعیت شادابی تاج درختان نمونه ثبت شد. برای تعیین شادابی درختان از شاخص چشمی شادابی (Callow et al., 2018) استفاده شد. در این روش، به صورت چشمی شاخصی برای هر درخت تعیین شد که از سه معیار تشکیل شده است: ۱. اندازه تاج؛ ۲. تراکم تاج؛ ۳. رشد شاخه‌های هرز تاج. درباره معیار اندازه تاج، به هر درخت نمره‌ای بین ۱ تا ۵ (خیلی باز: ۱؛ متوسط: ۳ و کامل: ۵) داده شد. درباره معیار تراکم تاج، به هر درخت نمره‌ای بین ۱ تا ۹ (خیلی باز: ۱؛ باز: ۳؛ متوسط: ۵؛ متراکم: ۷ و خیلی متراکم: ۹) تعلق گرفت. در مورد معیار رشد شاخه‌های هرز نیز به هر درخت نمره‌ای بین ۱ تا ۳ (شدید: ۱؛ متوسط: ۲؛ ملایم: ۲/۵ و فاقد شاخه هرز: ۳) داده شد. از مجموع سه رتبه فوق برای هر درخت، نمره‌ای به دست آمد که بیانگر شادابی درخت بود.

فیزیوگرافی بر نمایه‌های زیست‌سنجی (قطر، ارتفاع، تاج، شادابی تاج و ضریب قد کشیدگی) درختان بنه تأثیر گذارند؟ ۲. کدام یک از عوامل فیزیوگرافی، بیشترین تأثیر را بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه دارد؟ شناخت عوامل مؤثر بر رشد و نمو درختان بنه، به ویژه عوامل فیزیوگرافی، می‌تواند بینشی ارزشمند درباره فرایندهای اکولوژیکی ارائه دهد و به مدیریت پایدار جنگل‌های بنه و بهره‌برداری بهینه از این منابع کمک کند (Harper, 1977; Coomes & Allen, 2007).

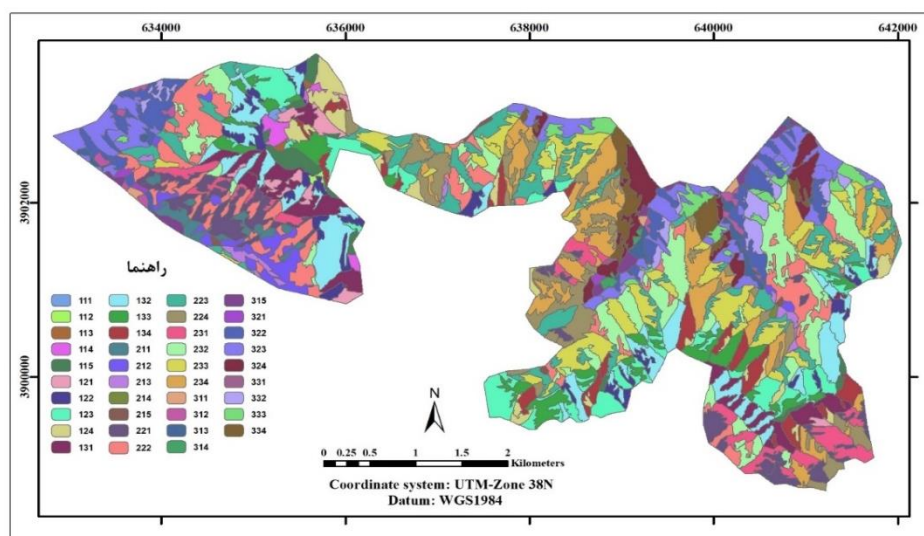
## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

منطقه پژوهش با وسعت ۱۸۶۰ هکتار و مختصات  $27^{\circ} 46'$  تا  $33^{\circ} 46'$  طول شرقی و  $13^{\circ} 35'$  تا  $16^{\circ} 35'$  عرض شمالی، جزو جنگل‌های شهرستان سنندج واقع در بخش کلانترزان و حوزه نگل، شامل روستاهای نگل، لنگریز، خواشت، سپیدین، برقرو، دریله، بنیدر و دانیکش است. متوسط دمای سالانه  $13/9$  درجه سانتی‌گراد، میانگین بارش سالانه  $436$  میلی‌متر و کمینه و بیشینه دمای سالانه نیز به ترتیب  $5/9$  و  $22$  درجه سانتی‌گراد است (Hosseini et al., 2019). این منطقه در دامنه ارتفاعی  $1228$  تا  $2024$  متر از سطح دریا و دامنه شیب صفر تا  $24$  درصد (معادل  $67-0$  درجه) قرار دارد. برودار (*Quercus brantii*) گونه اصلی تشکیل‌دهنده جنگل تحت بررسی است و بنه (*Pistacia atlantica*) به عنوان گونه همراه حضور دارد.

### شیوه اجرای پژوهش

ابتدا نقشه یکان‌های شکل زمین منطقه پژوهش با در نظر گرفتن سه عامل ارتفاع، شیب و جهت دامنه تهیه شد. نقشه ارتفاع از سطح دریا در سه طبقه با دامنه مساوی ( $1493-1228$ ،  $1758-1493$  و  $2024-1758$  متر از سطح دریا)، نقشه شیب در سه طبقه ( $30-0$ ،  $30-60$  و بیشتر از  $60$  درصد) و نقشه جهت دامنه در چهار طبقه جغرافیایی اصلی (شمال، شرق، جنوب و غرب) و یک طبقه مسطح تهیه شد. از روی هم‌گذاری



شکل ۱- نقشه یکان‌های شکل زمین منطقه پژوهش (اعداد سه‌رقمی واحدهای شکل زمین را نشان می‌دهد. عدد صدگان نشان‌دهنده طبقه ارتفاعی، عدد دهگان نشان‌دهنده طبقه شیب و عدد یکان نشان‌دهنده طبقه جهت است)

Figure 1. Map of landform units in the study area (three-digit numbers indicate landform units. The hundreds digit represents the altitude class, the tens digit represents the slope class, and the unit digit represents the aspect class)

گرفتن ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه به‌عنوان فاکتورهای آزمایش) بررسی شد. میانگین قطر برابر سینه، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج و ضریب قدکشیدگی درختان بنه در ترکیبات تیماری عوامل فیزیوگرافی (ترکیب سطوح فاکتورهای آزمایش) پس از رد فرضیه یکسان بودن آنها براساس نتایج تجزیه واریانس، با استفاده از آزمون تبعی توکی مقایسه شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS26 و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل انجام گرفت.

### نتایج

#### قطر برابر سینه

پراکنش قطری درختان بنه، بدون در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی، به نسبت نرمال با کمی چولگی به راست (۰/۴۲) بود (شکل ۲). بیشترین فراوانی درختان بنه در طبقات قطری ۴۲/۵-۲۲/۵ سانتی‌متر (دامنه ۲۰ تا ۴۵ سانتی‌متر) با ۷۹/۹ درصد مشاهده شد، در حالی که طبقات قطری ۱۲/۵ و ۱۷/۵ سانتی‌متر (دامنه ۱۰-۲۰ سانتی‌متر) ۱۳/۹ درصد از درختان را شامل می‌شد. درختان با قطر بیشتر از ۴۵ سانتی‌متر به صورت محدود و تک‌پایه، به میزان ۶/۳ درصد مشاهده شدند (شکل ۲).

### روش تحلیل

پراکنش قطری درختان بنه اندازه‌گیری شده به تفکیک عوامل فیزیوگرافی ترسیم و آماره‌های قطر، ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، شادابی تاج و ضریب قدکشیدگی (نسبت ارتفاع کل به قطر برابر سینه) به تفکیک واحدهای فیزیوگرافی و کل (بدون در نظر گرفتن شرایط فیزیوگرافی) محاسبه شد. با توجه به دامنه قطری درختان بنه (۱۲/۶ تا ۵۶/۳ سانتی‌متر)، از طبقات قطری ۵ سانتی‌متری استفاده شد. حد شمارش قطر نیز ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به دلیل محدود بودن دامنه تغییرات ارتفاع و سطح تاج (فاصله کم بین کمینه و بیشینه مقادیر ارتفاع و سطح تاج)، امکان طبقه‌بندی این نمایه‌ها فراهم نشد. با هدف بررسی امکان استفاده از تجزیه واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف یک‌نمونه‌ای بررسی شد. پیش از انجام دادن تجزیه واریانس، یکسان بودن واریانس نمایه‌های زیست‌سنجی مدنظر با استفاده از آزمون لون بررسی شد. تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه با استفاده از آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی (با در نظر

میانگین قطر برابر سینه درختان بنه بدون در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی ۳۰ سانتی‌متر بود (جدول ۱). کمینه قطر برابر سینه (۱۲/۶ سانتی‌متر) در دامنه ارتفاعی ۱۲۲۸-۱۴۹۳ متر از سطح دریا، طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد و دامنه شرقی ثبت شد.

سطح تاج درختان بنه به‌طور متوسط ۳/۱ متر مربع بود (جدول ۱). کمترین سطح تاج (۱/۵ متر مربع) در دامنه ارتفاعی ۱۷۵۸-۲۰۲۴ متر از سطح دریا، طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد و دامنه شمالی مشاهده شد. بیشترین سطح تاج (۴/۶ متر مربع) در ارتفاعات ۱۷۵۸-۲۰۲۴ متر با شیب ۶۰-۳۰ درصد و دامنه شمالی ثبت شد.

در بررسی تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر ارتفاع درختان، تفاوت معنی‌داری در ارتفاع کل و ارتفاع تاج بین طبقات مختلف ارتفاعی، شیب و جهت دامنه مشاهده نشد؛ اما ارتفاع تنه به‌طور معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) تحت تأثیر شیب دامنه قرار گرفت (جدول ۲). براساس نتیجه آزمون تویی، بیشترین میانگین ارتفاع تنه (۲/۱ متر) در طبقه شیب ۳۰-۰ درصد مشاهده شد (شکل ۳-ب).

میانگین نمایه سطح تاج در طبقه‌های شیب ( $0.05 < p$ ) و اثر متقابل جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا ( $0.05 < p$ ) تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول ۲). شکل ۴ نتایج آزمون تعقیبی توکی را برای مقایسه میانگین سطح تاج درختان بنه در طبقات مختلف شیب نشان می‌دهد. نتایج آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه میانگین سطح تاج در تیمارهای ترکیبی (اثر متقابل) ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه در سطح اطمینان ۹۵ درصد در جدول ۳ ارائه شده است. بیشترین میانگین سطح تاج درختان بنه (۲۲/۳ متر مربع) در طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد و کمترین آن (۹/۲ متر مربع) در طبقه شیب صفر تا ۳۰ درصد مشاهده شد.

#### شادابی تاج درختان بنه

میانگین شاخص شادابی تاج درختان بنه در کل منطقه پژوهش ۸/۹ بود (جدول ۱). کمترین شاخص شادابی (۴/۶) در درختانی با ارتفاع رویشگاهی ۱۷۵۸ تا ۲۰۲۴ متر، شیب بیش از ۶۰ درصد و جهت جنوبی

میانگین قطر برابر سینه درختان بنه بدون در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی ۳۰ سانتی‌متر بود (جدول ۱). کمینه قطر برابر سینه (۱۲/۶ سانتی‌متر) در دامنه ارتفاعی ۱۲۲۸-۱۴۹۳ متر از سطح دریا، طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد و دامنه غربی ثبت شد. بیشینه قطر برابر سینه (۵۶/۳ سانتی‌متر) در دامنه ارتفاعی ۱۷۵۸-۱۴۹۳ متر، طبقه شیب ۶۰-۳۰ درصد و دامنه شرقی ثبت شد.

تجزیه واریانس نشان داد که میانگین قطر برابر سینه در طبقات ارتفاعی، در سطح خطای ۱ درصد، تفاوت معنی‌داری داشت (جدول ۲ و شکل ۳-الف). کمترین میانگین قطر (۲۷/۲ سانتی‌متر) در طبقه ارتفاعی ۱۲۲۸-۱۴۹۳ متر و بیشترین میانگین آن (۳۳ سانتی‌متر) در ارتفاع ۱۷۵۸-۲۰۲۴ متر ثبت شد (شکل ۳-الف). اثر بقیه فاکتورها (شیب و جهت دامنه) بر قطر درختان بنه معنی‌دار نبود (جدول ۲).

#### ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، سطح تاج

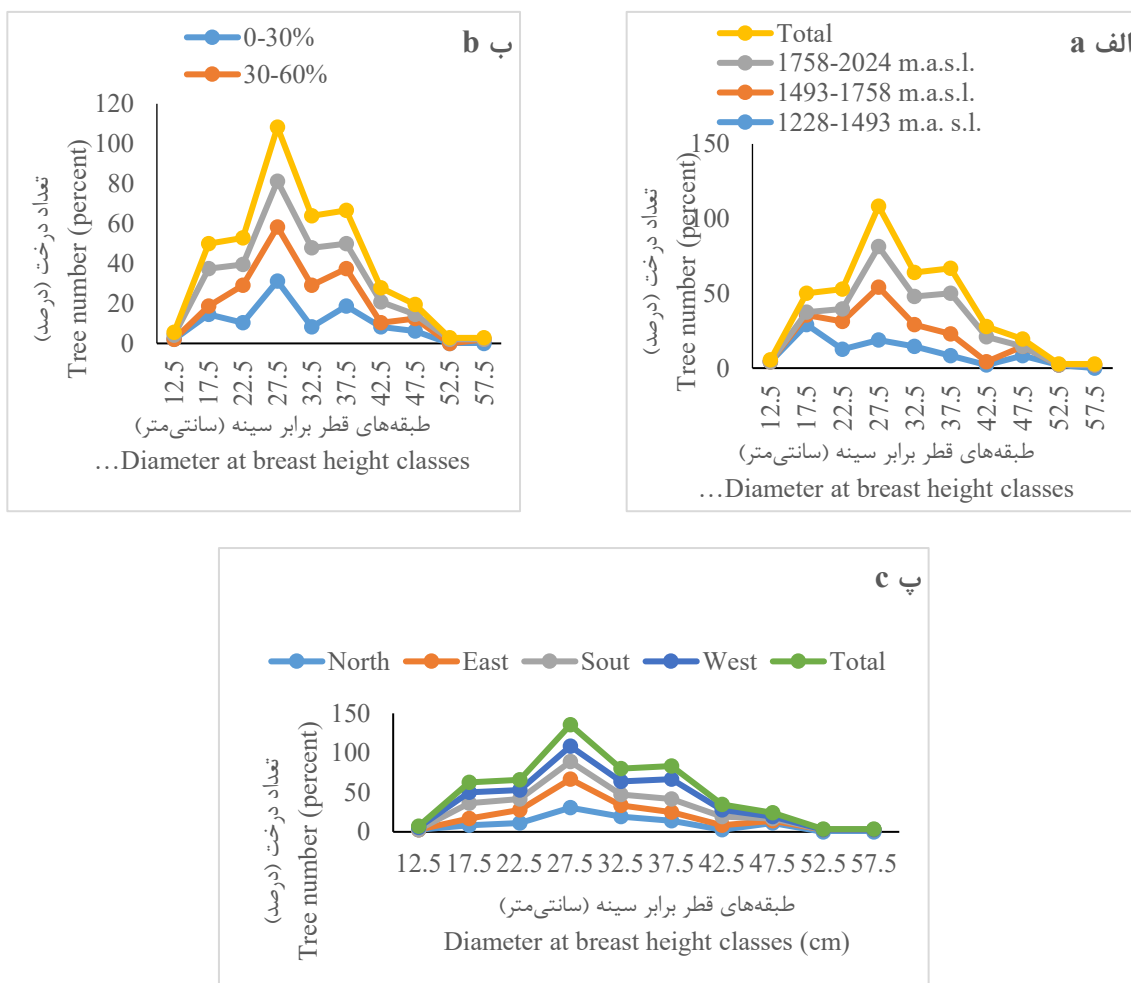
میانگین ارتفاع کل درختان بنه (بدون در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی) ۴/۷ متر بود (جدول ۱). کمینه ارتفاع کل (۳/۷ متر) در دامنه ارتفاعی ۱۴۹۳-۱۲۲۸ متر از سطح دریا، طبقه شیب ۳۰-۰ درصد و دامنه شمالی و بیشینه این نمایه (۵/۹ متر) در دامنه ارتفاعی ۱۲۲۸-۱۴۹۳ متر از سطح دریا، طبقه شیب بیش از ۶۰ درصد و دامنه شرقی مشاهده شد.

متوسط ارتفاع تنه و تاج درختان بنه بررسی شده به ترتیب ۲ متر و ۲/۶ متر بود (جدول ۱). کمینه ارتفاع تنه (۱/۶ متر) در دامنه‌های ارتفاعی ۱۷۵۸-۱۴۹۳ و ۱۷۵۸-۲۰۲۴ متر از سطح دریا، طبقه‌های شیب کمتر از ۳۰ درصد و بیش از ۶۰ درصد و دامنه شرقی ثبت شد. بیشینه ارتفاع تنه (۲/۵ متر) در طبقه‌های ارتفاعی ۱۲۲۸-۱۴۹۳ و ۱۷۵۸-۲۰۲۴ متر از سطح دریا، طبقه‌های شیب کمتر از ۳۰ و بیش از ۶۰ درصد و دامنه‌های غربی و جنوبی مشاهده شد. کمینه ارتفاع تاج (۱/۹ متر) در دامنه ارتفاعی ۱۴۹۳-۱۲۲۸ متر از سطح دریا، طبقه شیب کمتر از ۳۰ درصد و دامنه شمالی ثبت شد. بیشینه ارتفاع تاج

**ضریب قدکشیدگی**

میانگین ضریب قدکشیدگی درختان بنه در این پژوهش ۱۶/۶ بود. کمترین ضریب قدکشیدگی (۹/۳) در درختانی با ارتفاع رویشگاهی ۱۴۹۳ تا ۱۷۵۸ متر، شیب ۳۰-۶۰ درصد و جهت شرقی مشاهده شد. در مقابل، بیشترین ضریب قدکشیدگی (۳۴/۴) در درختانی با ارتفاع رویشگاهی ۱۴۹۳-۱۲۲۸ متر، شیب بیش از ۶۰ درصد و جهت جنوبی ثبت شد. بیشترین فراوانی درختان بنه (۴۵/۱ درصد) در طبقه ضریب قدکشیدگی ۱۵ (با دامنه ۱۷/۵-۱۲/۵) مشاهده شد (شکل ۵-ب). نتایج نشان داد که ارتفاع از سطح دریا تأثیر معنی‌داری بر ضریب قدکشیدگی درختان بنه دارد (جدول ۲ و شکل ۶).

مشاهده شد. در مقابل، بیشترین شاخص شادابی (۲۱/۹) در درختانی با ارتفاع رویشگاهی ۱۴۹۳ تا ۱۷۵۸ متر، شیب بیش از ۶۰ درصد و جهت جنوبی ثبت شد. توزیع درختان براساس شاخص شادابی نشان داد که ۹۶/۶ درصد آنها در طبقات ۶ تا ۱۰ قرار دارند. با این حال، تنها ۳/۴ درصد درختان دارای شاخص شادابی بیش از ۱۰ بودند (شکل ۵-الف). اثر متقابل جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا بر شاخص شادابی معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ )، اما شیب دامنه تأثیر معنی‌داری بر شاخص شادابی نداشت (جدول ۲). نتایج آزمون تعقیبی توکی برای مقایسه میانگین شاخص شادابی تاج درختان بنه در تیمارهای ترکیبی (اثر متقابل) ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه در جدول ۴ ارائه شده است.



شکل ۲- پراکنش درختان بنه در طبقات قطر برابر سینه به تفکیک طبقه‌های ارتفاع از سطح دریا (الف)، شیب (ب) و جهت دامنه (پ)  
Figure 2. Distribution of wild pistachio trees in diameter at breast height classes by altitude class (a), slope class (b), and aspect class (c)

جدول ۱- آماره‌های نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه بدون در نظر گرفتن فاکتورهای فیزیوگرافی

Table 1. Summary statistics of biometric indices of wild pistachio trees without considering physiographic factors

درجه شادابی تاج Crown vitality	ضریب فدکشیدگی Slenderness ratio	سطح تاج (متر مربع) Crown area (sq. m)	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	ارتفاع تنه (متر) Trunk height (m)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) dbh (cm)	
1008	1008	1008	1008	1008	1008	1008	تعداد نمونه Sample size
8.9	16.6	3.1	2.6	2.0	4.7	30.0	میانگین Mean
2.1	4.5	0.6	0.3	0.2	0.5	8.7	انحراف معیار S.D.
0.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.7	اشتباه معیار S.E.
4.6	9.3	1.5	1.9	1.6	3.7	12.6	کمینه Min.
21.9	34.4	4.6	3.4	2.5	5.9	56.3	بیشینه Max.
23.9	27.1	20.4	12.1	10.0	10.5	28.8	ضریب تنوع (%) CV (%)

جدول ۲- نتیجه تجزیه واریانس نمایه‌های زیست‌سنجی در طبقه‌های واحدهای فیزیوگرافی

Table 2. Results of variance analysis of biometric indices in physiographic unit classes

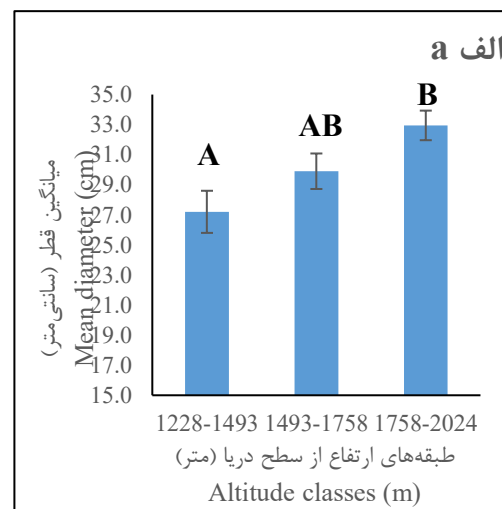
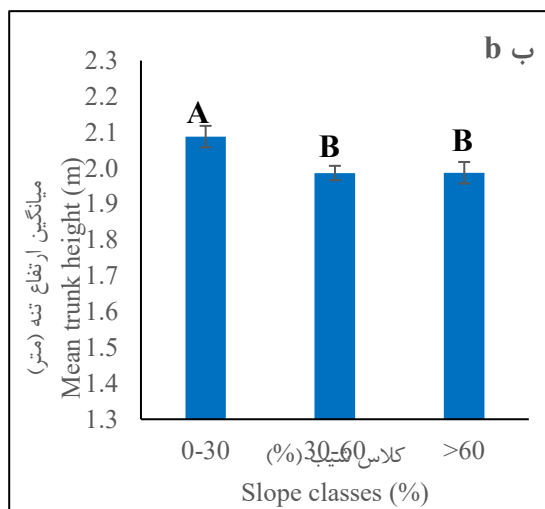
P-value	F	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	منبع تغییر Source of variation	نمایه زیست‌سنجی Biometric index
0.008	5.089	397.815	2	795.629	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) dbh (cm)
0.852	0.161	12.548	2	25.096	شیب (%) Slope (%)	
0.985	0.051	4.02	3	12.06	جهت جغرافیایی Aspect	
0.735	0.502	39.218	4	156.873	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	
0.483	0.987	77.187	6	463.12	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.777	0.540	42.217	6	253.3	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.826	0.615	48.072	12	576.862	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=30.3						
0.626	0.470	0.116	2	0.233	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)
0.193	1.671	0.414	2	0.828	شیب (%) Slope (%)	
0.719	0.448	0.111	3	0.333	جهت جغرافیایی Aspect	
0.609	0.677	0.168	4	0.671	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	
0.862	0.424	0.105	6	0.630	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.476	0.931	0.231	6	1.383	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.422	1.035	0.256	12	3.077	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=10.7						

ادامهٔ جدول ۲  
Continued table 2

P-value	F	میانگین مربعات MS	درجهٔ آزادی df	مجموع مربعات SS	منبع تغییر Source of variation	نمایه زیست‌سنجی Biometric indices
0.433	0.844	0.034	2	0.068	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	
< 0.05	4.037	0.163	2	0.327	شیب (%) Slope (%)	
0.744	0.413	0.017	3	0.050	جهت جغرافیایی Aspect	
0.567	0.739	0.030	4	0.120	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	ارتفاع تنه (متر) Trunk height (m)
0.878	0.399	0.016	6	0.097	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.499	0.898	0.036	6	0.218	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.362	1.107	0.045	12	0.538	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=10						
0.861	0.150	0.017	2	0.033	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	
0.705	0.351	0.039	2	0.078	شیب (%) Slope (%)	
0.690	0.491	0.055	3	0.164	جهت جغرافیایی Aspect	
0.477	0.883	0.098	4	0.394	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)
0.727	0.604	0.067	6	0.404	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.451	0.967	0.108	6	0.646	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.489	0.963	0.107	12	1.288	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
=12.64 (%) CV						
0.557	0.552	0.196	2	0.393	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	
< 0.05	3.244	1.153	2	2.307	شیب (%) Slope (%)	
0.294	1.252	0.445	3	1.336	جهت جغرافیایی Aspect	سطح تاج (متر مربع) Crown area (m <sup>2</sup> )
0.290	1.261	0.448	4	1.794	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	
0.040	2.300	0.818	6	4.906	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.382	1.076	0.382	6	2.295	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.459	0.994	0.354	۱۲	4.243	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=12.9						

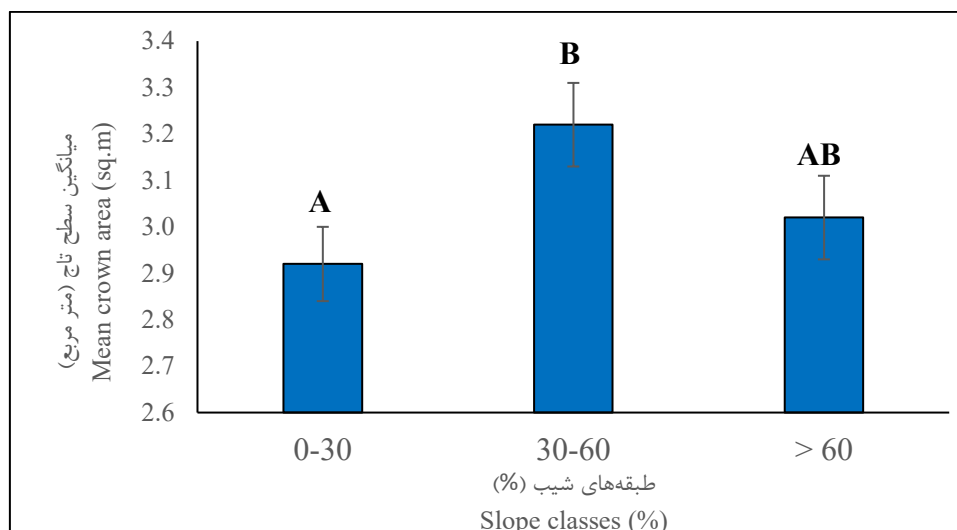
ادامه جدول ۲  
Continued table 2

P-value	F	میانگین مربعات MS	درجه آزادی df	مجموع مربعات SS	منبع تغییر Source of variation	نمایه زیست‌سنجی Biometric indices
0.943	0.06	0.2548	2	0.5096	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	شادابی تاج Crown vitality
0.420	0.87	3.8209	2	7.6419	شیب (%) Slope (%)	
0.139	1.87	8.1968	3	24.5903	جهت جغرافیایی Aspect	
0.171	1.63	7.155	4	28.62	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	
< 0.05	2.38	10.4456	6	62.6236	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.633	0.72	3.1602	6	18.9614	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.415	1.04	4.5725	12	54.8695	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=23.39						
<0.01	9.044	177.802	2	355.60	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	ضریب قد کشیدگی Slenderness coefficient
0.417	0.881	17.321	2	34.64	شیب (%) Slope (%)	
0.898	0.197	3.873	3	11.62	جهت جغرافیایی Aspect	
0.448	0.932	18.328	4	73.31	ارتفاع از سطح دریا × شیب Slope×Altitude	
0.391	1.06	20.831	6	124.99	ارتفاع از سطح دریا × جهت جغرافیایی Altitude × Aspect	
0.946	0.515	10.132	6	182.38	شیب × جهت جغرافیایی Slope × Aspect	
0.417	9.044	19.659	12	2123.17	ارتفاع از سطح دریا × شیب × جهت جغرافیایی Altitude × Slope × Aspect	
CV(%)=26.6						



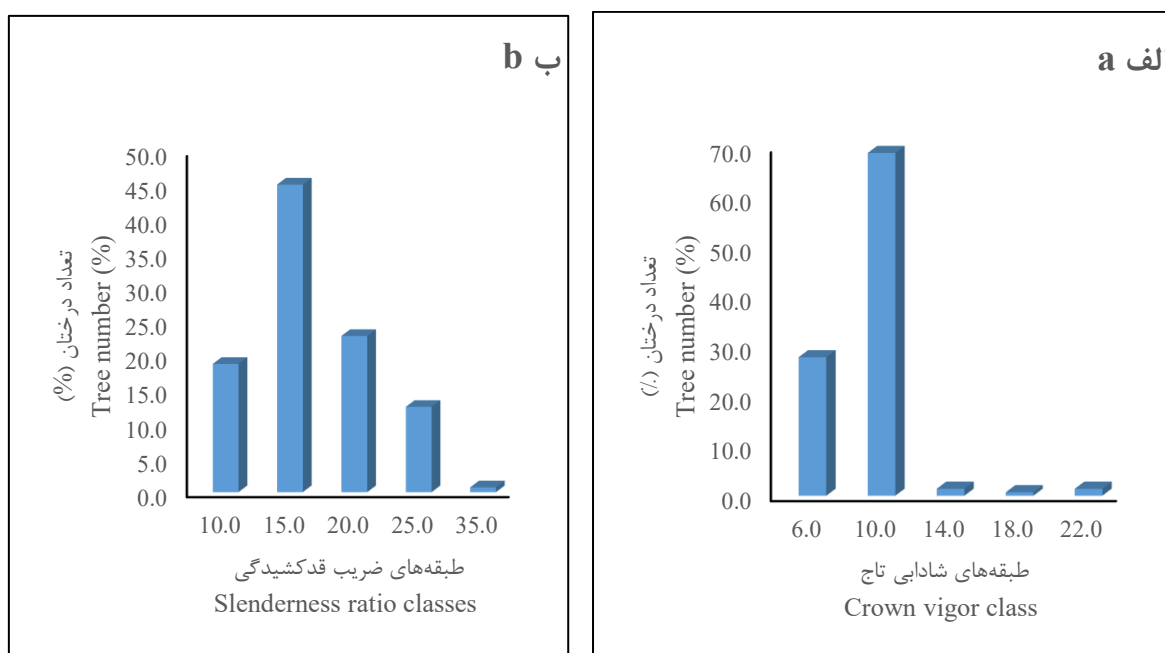
شکل ۳- نتیجه آزمون توکی برای مقایسه میانگین قطر بنه در طبقه‌های ارتفاع از سطح دریا (الف) و ارتفاع تنه در طبقه‌های شیب (ب) (میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

Figure 3. Results of Tukey's test for comparing the mean diameter of wild pistachio in altitude classes (a) and trunk height in slope classes (b) (Means with different letters are significantly different)



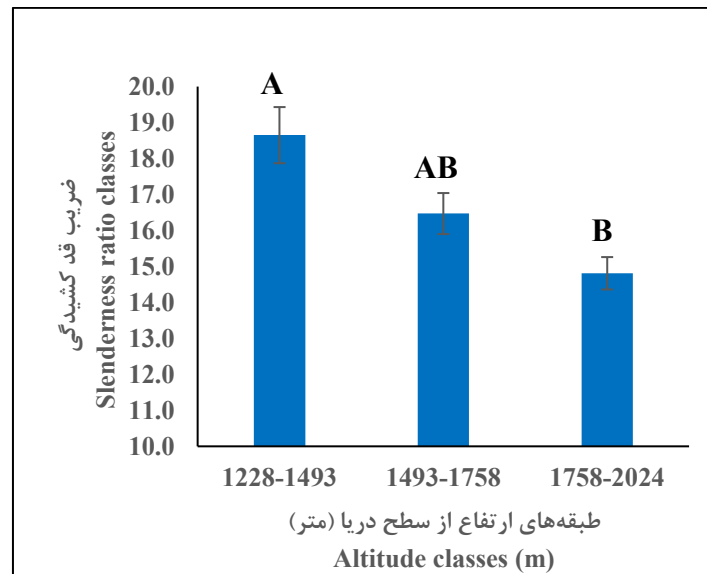
شکل ۴- نتیجه آزمون توکی برای مقایسه میانگین سطح تاج درختان بنه در طبقه‌های شیب (میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

Figure 4. Results of Tukey's test for comparing the mean crown area of wild pistachio trees in slope classes (Means with different letters are significantly different)



شکل ۵- پراکنش درختان بنه در طبقه‌های شادابی تاج (الف) و ضریب قدکشیدگی (ب) بدون در نظر گرفتن فاکتورهای فیزیوگرافی

Figure 5. Distribution of wild pistachio trees in crown vitality classes (a) and slenderness ratio classes (b) without considering physiographic factors



شکل ۶- نتیجه آزمون توکی برای مقایسه میانگین ضریب قد کشیدگی در طبقه‌های ارتفاع از سطح دریا (میانگین‌های دارای حروف متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار هستند)

Figure 6. Results of Tukey's test for comparing the mean slenderness ratio in altitude classes (Means with different letters are significantly different)

جدول ۳- مقایسه میانگین سطح تاج درختان بنه در ترکیبات تیماری ارتفاع از سطح دریا (E) و جهت دامنه (A) به روش توکی در سطح خطای ۵ درصد (در مواردی که کمیت *P*-value از ۰/۰۵ کمتر است، اختلاف از نظر آماری معنی‌دار است). اندیس‌های عددی نشان‌دهنده طبقه‌های ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه هستند)

Table 3. Comparison of the mean crown area of wild pistachio trees in altitude (E) and aspect (A) treatment combinations using Tukey's test at the 5% error level (Differences are statistically significant when the p-value is less than 0.05. Numeric indices indicate altitude and aspect classes)

E <sub>3</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	ترکیب تیماری treatment combination
0.451	0.392	0.227	0.300	0.274	0.870	0.077	0.560	0.940	0.012	0.126	-	E <sub>1</sub> A
0.435	0.018	0.746	0.618	0.660	0.172	0.808	0.342	0.146	0.305	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>2</sub>
0.072	0.001	0.178	0.129	0.144	0.018	0.043	0.049	0.014	-	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>3</sub>
0.497	0.352	0.257	0.337	0.308	0.929	0.091	0.611	-	-	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>4</sub>
0.864	0.152	0.530	0.650	0.609	0.675	0.234	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>1</sub>
0.307	0.009	0.571	0.459	0.495	0.108	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>2</sub>
0.555	0.308	0.296	0.383	0.352	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>3</sub>
0.733	0.053	0.908	0.954	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>4</sub>
0.777	0.060	0.862	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>1</sub>
0.647	0.040	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>2</sub>
0.109	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>3</sub>

جدول ۴- مقایسه میانگین شادابی تاج درختان بنه در ترکیبات تیماری ارتفاع از سطح دریا (E) و جهت دامنه (A) به روش توکی در سطح خطای ۵ درصد (در مواردی که کمیت P-value از ۰/۰۵ کمتر است، اختلاف از نظر آماری معنی‌دار است. اندیس‌های عددی نشان‌دهنده طبقه‌های ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه هستند)

Table 4. Comparison of the mean crown vitality of wild pistachio trees in altitude (E) and aspect (A) treatment combinations using Tukey's test at the 5% error level (Differences are statistically significant when the p-value is less than 0.05. Numeric indices indicate altitude and aspect classes)

E <sub>3</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>3</sub> A <sub>1</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> A <sub>1</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>4</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>3</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	E <sub>1</sub> A <sub>1</sub>	ترکیب تیماری treatment combination
0.053	0.434	0.005	0.106	0.013	0.006	0.431	0.207	0.104	0.003	0.042	-	E <sub>1</sub> A <sub>1</sub>
0.919	0.206	0.403	0.669	0.648	0.455	0.207	0.431	0.674	0.324	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>2</sub>
0.277	0.026	0.880	0.159	0.595	0.810	0.026	0.078	0.161	-	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>3</sub>
0.750	0.396	0.210	0.995	0.382	0.244	0.399	0.713	-	-	-	-	E <sub>1</sub> A <sub>4</sub>
0.493	0.630	0.106	0.718	0.215	0.127	0.633	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>1</sub>
0.246	0.996	0.037	0.402	0.087	0.046	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>2</sub>
0.397	0.046	0.927	0.241	0.770	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>3</sub>
0.578	0.086	0.703	0.378	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>2</sub> A <sub>4</sub>
0.745	0.400	0.208	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>1</sub>
0.349	0.037	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>2</sub>
0.244	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	E <sub>3</sub> A <sub>3</sub>

## بحث

اختلاف قطر درختان بنه در مناطق مختلف، افزون‌بر تفاوت سنی، تحت تأثیر مستقیم شرایط محیطی و فیزیوگرافی هر منطقه قرار دارد. این تفاوت‌ها به عوامل متعددی همچون ویژگی‌های خاک (بافت، عمق، حاصلخیزی و زهکشی)، شرایط آب‌وهوایی (دما، بارش، رطوبت نسبی و باد)، رقابت بین درختان (رقابت برای نور، آب و مواد مغذی) و تاریخچه مدیریت (فعالیت‌های انسانی) وابسته است. هر یک از این عوامل به‌طور مستقل یا ترکیبی بر رشد و توسعه درختان بنه تأثیرگذار است و در نهایت سبب تفاوت قطر این درختان در مناطق مختلف می‌شود. به‌عبارت دیگر، تفاوت‌های مشاهده‌شده در قطر درختان بنه نشان‌دهنده پیچیدگی تعاملات بین عوامل طبیعی و انسانی بر رشد این گونه است (Barnes et al., 1998; Maes et al., 2019; Fan et al., 2022; Anderson-Teixeira et al., 2022).

بررسی توزیع قطری درختان بنه نشان داد که بیشترین فراوانی به درختانی با قطر برابر سینه در محدوده ۲۰ تا ۴۵ سانتی‌متر تعلق دارد. این امر حاکی از آن است که بیشتر درختان بنه در منطقه پژوهش در مراحل میانی رشد قرار دارند. در مقابل، تعداد درختان با قطر کمتر از ۲۰ سانتی‌متر و بیشتر از ۴۵

درختان بنه در منطقه پژوهش در گستره وسیعی از شرایط محیطی، از جمله دامنه ارتفاعی ۲۰۲۴-۱۲۲۸ متر از سطح دریا، شیب‌های صفر تا ۲۴۰ درصد (معادل صفر تا ۶۷ درجه) و همه جهت‌های جغرافیایی، به‌عنوان گونه همراه برودار مشاهده شدند. این گستردگی رویشگاهی بنه در منطقه با یافته‌های پژوهش‌های پیشین در مناطق مختلف ایران (Zahedipour et al., 2005; Negahdarsaber et al., 2009; Davarpanah et al., 2009; Rostamikia et al., 2009; Shekarchian et al., 2020; همخوانی داشت که نشان‌دهنده سازگاری زیاد این گونه با شرایط اکولوژیکی متنوع است.

میانگین قطر برابر سینه درختان بنه در منطقه پژوهش، بدون در نظر گرفتن عوامل فیزیوگرافی، ۳۰ سانتی‌متر برآورد شد که نشان‌دهنده ابعادی به نسبت متوسط برای این درختان است. در پژوهش‌های پیشین، میانگین قطر برابر سینه درختان بنه در استان مرکزی ۱۶/۷ سانتی‌متر (Zahedipour et al., 2005)، در خلخال ۱۴/۶ سانتی‌متر (Rostamikia et al., 2009) و در استان کرمانشاه ۵۰/۸ سانتی‌متر (Ghahramany et al., 2016) گزارش شده است.

بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه در منطقه پژوهش داشته است. برداشت مکرر شیرۀ سقز، با کاهش مواد مغذی ذخیره‌شده در درخت، از رشد قطری مطلوب درختان بنه جلوگیری می‌کند (Ghahramany et al., 2016). بنابراین همان‌طور که مشاهده شد، درختان بنه قوتورتر، اغلب در ارتفاعات بالاتر و مناطق دور از دسترس قرار دارند که میزان دخالت‌های انسانی در آنها کمتر است.

براساس نتایج این پژوهش، دیگر عوامل فیزیوگرافی مانند شیب و جهت دامنه، تأثیر معنی‌داری بر قطر درختان بنه نداشتند. نتایج پژوهش Chawla et al. (2008) نشان داد که در بسیاری از بوم‌سازگان‌ها، ارتفاع از سطح دریا نسبت به شیب و جهت دامنه تأثیر بیشتری بر پراکنش پوشش گیاهی دارد (Chawla et al., 2008). براساس یافته‌های پژوهشی Cimalová, & Lososová (2009)، همه عوامل فیزیوگرافی بر پراکنش و ترکیب گیاهی مؤثرند، اما شدت اثر آنها متفاوت است. همچنین، شایان ذکر است که دخالت‌های انسانی به‌ویژه برداشت شیرۀ سقز، می‌تواند بر میزان تأثیرگذاری عوامل فیزیوگرافی بر رشد درختان بنه تأثیرگذار باشد.

تنوع ارتفاعی درختان بنه (با ضریب تنوع ۱۰/۵ درصد) کمتر از تنوع قطری آنها (با ضریب تنوع ۲۸/۸ درصد) بود. به‌عبارت دیگر، درختان بنه از نظر ارتفاع همگن‌تر بودند (جدول ۱). براساس نتایج، درختان بنه در منطقه پژوهش از ارتفاع کل (۴/۷) بیشتری نسبت به پژوهش‌های مشابه در مناطق دیگر کشور برخوردار بودند. به‌طور متوسط، ارتفاع کل درختان بنه در جواهرود (۴/۶ متر)، یاسوج (۵ تا ۱۰ متر)، استان مرکزی (۳/۸ متر) و خلخال (۲/۹ متر) گزارش شده است (Zahedipour et al., 2005; Falahchai et al., 2009; Rostamikia et al., 2009; Ghahramany et al., 2016). ارتفاع تنه درختان بنه در منطقه پژوهش (۲ متر) نیز از مقدار این ویژگی در پژوهش‌های مشابه در مناطق دیگر کشور مانند استان مرکزی (۱/۲ متر)،

سانتی‌متر به‌طور چشمگیری کمتر بود. وجود تعداد اندک درختان بنه با قطر بیش از ۴۵ سانتی‌متر حاکی از آن است که تعدادی از درختان توانسته‌اند در شرایط محیطی منطقه پژوهش، عمر طولانی‌تر و رشد بیشتری داشته باشند. از سوی دیگر، نبود درختان بنه با قطر کمتر از ۱۰ سانتی‌متر و همچنین فراوانی کم درختان در دامنه قطری ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر، نشان‌دهنده وضعیت نامطلوب و ضعف شدید زادآوری این گونه در منطقه پژوهش است. ضعف زادآوری درختان بنه ممکن است ناشی از عوامل متعددی از جمله شرایط نامساعد محیطی (مانند کمبود رطوبت و فقیر بودن خاک) (Mayor et al., 2017; Panthi et al., 2020) و تأثیرات منفی فعالیت‌های انسانی (مانند برداشت بی‌رویه شیرۀ سقز) باشد (Ghahramany et al., 2020; Yousefi et al., 2020). این وضعیت هم‌پایداری جنگل‌های بنه را تهدید می‌کند و هم بر تنوع زیستی منطقه تأثیر منفی خواهد گذاشت. نتایج این پژوهش با یافته‌های پژوهش‌های پیشین همسو است و ضرورت توجه به مدیریت پایدار جنگل‌های بنه برای حفظ و بهبود وضعیت زادآوری این درختان را بیش از پیش آشکار می‌کند.

نتایج تحلیل آماری نشان داد که بین ارتفاع از سطح دریا و قطر درختان بنه رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود دارد. به‌عبارت دیگر، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، قطر درختان بنه نیز به‌طور متوسط افزایش می‌یابد. این ارتباط را می‌توان به تأثیر غیرمستقیم ارتفاع بر عوامل محیطی مانند میزان بارش، دما، تبخیر و تعرق، شدت تابش خورشید، تشکیل نواحی اقلیمی و ویژگی‌های شیمیایی خاک نسبت داد که خود بر رشد درختان تأثیرگذارند (Barnes et al., 1998; Fakhimi Abarghoie et al., 2011). افزون‌بر عوامل محیطی، دخالت‌های انسانی، به‌ویژه برداشت سنتی شیرۀ سقز در مناطق پایین‌دست و در دسترس ساکنان محلی، تأثیر زیادی

پوشش گیاهی مناطق خشک و موسمی حاره‌ای، نشان دادند که این دو عامل بر تنوع گونه‌ای رستنی‌ها اثرگذارند.

شادابی تاج، شاخصی کیفی برای ارزیابی سلامت و شادابی تاج درخت است. این نمایه نشان‌دهنده توانایی مقاومت درخت در برابر تنش‌های محیطی و آفات و بیماری‌هاست. کاهش شادابی تاج نشانه‌ای از مشکلات بهداشتی درخت، شرایط نامناسب محیطی و فشار ناشی از دخالت‌های انسانی است (Morales-Gallegos et al., 2023). یافته‌های پژوهش پیش‌رو، بیانگر شادابی کم درختان بنه بود. این موضوع افزون‌بر شرایط ضعیف رویشگاهی، می‌تواند با برداشت شیره سقز به روش سنتی توسط بهره‌برداران محلی و فشار بهره‌برداری‌ها در طول سالیان طولانی ارتباط داشته باشد (Ghahramany et al., 2016).

ضریب قدکشیدگی درختان نشان‌دهنده شکل درخت و میزان پایداری آنهاست و به‌طور کلی تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی مانند تراکم درختان، نوع خاک، دسترسی به نور و شرایط رویشگاه قرار دارد (Bijak & Orzoł, 2018). این ویژگی می‌تواند در ارزیابی کیفیت و سلامت توده‌های درختی و همچنین بررسی وضعیت رشد درختان در جنگل‌های مختلف به کار رود. ضریب قدکشیدگی در توده‌های ناهمسال می‌تواند اطلاعات مفیدی درباره الگوهای رشد و وضعیت سلامت درختان ارائه دهد. مقدار ضریب قدکشیدگی در همه درختان بنه از ۴۵ کمتر بود؛ بنابراین از این نظر، درختان بنه در طبقه روییده در فضای باز قرار می‌گیرند و از پایداری مناسبی برخوردارند (Namiranian, 2000). با در نظر گرفتن ارتباط مستقیم ضریب قدکشیدگی با حاصلخیزی رویشگاه (Bijak & Orzoł, 2018)، کوچک بودن این ضریب در منطقه اجرای این پژوهش، معرف ضعف رویشگاه نیز می‌تواند باشد.

در این پژوهش، ضمن توصیف شرایط اکولوژیکی رویشگاه‌های درختان بنه در منطقه پژوهش، به

خلخال (۱/۹-۰/۸۱ متر) و جوانرود (۱/۸ متر) بیشتر بود (Zahedipour et al., 2005; Rostamikia et al., 2016). ضریب تنوع ارتفاع تاج درختان بنه ۱۲/۱ درصد بود که بر همگنی این درختان از نظر نمایه ارتفاع تاج دلالت دارد (جدول ۱). ارتفاع تاج درختان بنه در منطقه پژوهش (۲/۶ متر) از متوسط ارتفاع تاج بنه (۳/۲ متر) در جوانرود (Ghahramany et al., 2016) کمتر است. درختان بنه بررسی‌شده در مقایسه با درختان بنه در جوانرود با سطح تاج ۲۸/۶ متر مربع (Ghahramany et al., 2016) از تاج کوچک‌تری برخوردارند. تفاوت در ویژگی‌های زیست‌سنجی درختان بنه در رویشگاه‌های مختلف، افزون بر تفاوت‌های اکولوژیکی و سنی، از برداشت سنتی سقز نیز تأثیر می‌پذیرد. بهره‌برداران محلی برای افزایش بازدهی برداشت سقز، ترجیح می‌دهند درختان بنه را به‌گونه‌ای مدیریت کنند که ارتفاع تنه آنها بیشتر باشد (Ghahramany et al., 2020; Yousefi et al., 2016). با افزایش ارتفاع تنه، امکان نصب تعداد بیشتری کاسه گلی برای برداشت سقز فراهم می‌شود و در نتیجه، مقدار بیشتری سقز می‌توان برداشت کرد. به همین دلیل، ارتفاع تنه بیشتر درختان بنه در شیب‌های کم (صفر تا ۳۰ درصد) مشاهده می‌شود. به‌نظر می‌رسد این عامل، دلیل اصلی سطح تاج کوچک‌تر درختان بنه در شیب‌های کم نسبت به شیب‌های زیاد (بیش از ۶۰ درصد) باشد. افزایش ارتفاع تنه به‌طور معمول با افزایش ارتفاع کل درخت همراه است که نتایج این پژوهش نیز این ارتباط را تأیید می‌کند. Hund (2002) نیز اثر جهت دامنه بر شرایط محیطی و پوشش گیاهی را بررسی کرد و به این نتیجه رسید که جهت دامنه بر اقلیم محلی و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد، به‌طوری که جهت‌های شمالی و جنوبی از نظر پوشش گیاهی، اختلاف معنی‌دار با هم داشتند. Gallardo-Cruz et al. (2009) نیز در بررسی اثر ارتفاع از سطح دریا و جهت دامنه بر تنوع و ساختار

توپوگرافی قرار دارد. به‌طور خاص، شیب دامنه و اثر متقابل بین جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا بر نمایه سطح تاج تأثیرگذار بوده‌اند. تاج درختان بنه تحت تأثیر متقابل جهت دامنه و ارتفاع از سطح دریا قرار گرفته است. ارتفاع از سطح دریا به‌طور معنی‌داری بر ضریب قدکشیدگی درختان بنه تأثیرگذار بود. این یافته‌ها نشان می‌دهد که شرایط محیطی به‌ویژه ارتفاع از سطح دریا و شیب، نقش تعیین‌کننده‌ای در رشدونمو درختان بنه در منطقه پژوهش داشتند. به‌طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که عوامل فیزیوگرافی و فعالیت‌های انسانی (برداشت سقز) هر دو بر نمایه‌های زیست‌سنجی درختان بنه تأثیرگذارند. برای درک بهتر تأثیر متقابل عوامل طبیعی و انسانی بر درختان بنه، باید پژوهش‌های جامع‌تری با در نظر گرفتن بقیه عوامل مؤثر مانند نوع خاک، اقلیم منطقه و تاریخچه بهره‌برداری از جنگل انجام گیرد. این امر می‌تواند در تدوین برنامه‌های مدیریت پایدار جنگل‌های بنه و حفظ تنوع زیستی این بوم‌سازگان‌ها مفید باشد. با توجه به ضعف شدید زادآوری گونه بنه، تنظیم شیوه‌نامه‌های جنگل‌شناسی برای کاشت بذر یا نهال بنه با مشارکت فعال بهره‌برداران محلی، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. شایان یادآوری است که وقوع زادآوری شرط لازم برای کمک به استمرار جنگل‌های بنه است، ولی شرط کافی برای تضمین بقای آن، استقرار زادآوری ایجادشده است که بدون مشارکت ذی‌نفعان محلی امکان‌پذیر نخواهد بود.

در نهایت، ذکر این نکته ضروری است که تعمیم نتایج این پژوهش به بقیه مناطق، مستلزم پژوهش‌های مشابه در مناطق مختلف با شرایط اقلیمی و اکولوژیکی متفاوت است.

بررسی کمی و کیفی شاخص‌های زیستی این درختان با توجه به شرایط توپوگرافی (ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت دامنه) پرداخته شد. نتایج نشان داد که افزون بر عوامل طبیعی، فعالیت‌های انسانی به‌ویژه برداشت سنتی سقز تأثیر چشمگیری بر ویژگی‌های کمی و کیفی درختان بنه دارد. برداشت سنتی سقز به‌عنوان نوعی فعالیت اقتصادی رایج در منطقه، با اعمال تنش‌های فیزیولوژیکی بر درختان، می‌تواند الگوهای رشد و پراکنش آنها را تحت تأثیر قرار دهد. شدت، نحوه و مدت زمان برداشت سقز، به‌همراه عوامل توپوگرافی، می‌تواند ترکیبات مختلفی از تنش‌ها را بر درختان وارد کند و در نتیجه سبب ایجاد تنوع در ویژگی‌های زیستی آنها شود. نتایج این پژوهش می‌تواند به درک بهتر سازگاری بنه با شرایط محیطی و توسعه روش‌های مدیریت پایدار جنگل‌های بنه کمک کند. با شناسایی عوامل محدودکننده رشد درختان بنه، می‌توان اقدامات مدیریتی مناسب را برای بهبود وضعیت رویشگاه‌ها و افزایش تولید بذر و شیرۀ سقز درختان بنه طراحی کرد.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر عوامل فیزیوگرافی بر ویژگی‌های زیستی درختان بنه در بخشی از جنگل‌های شهرستان سنندج بررسی شد. نتایج نشان داد که ارتفاع از سطح دریا به‌عنوان مهم‌ترین عامل، تأثیر معنی‌داری بر قطر درختان بنه داشته است. به‌عبارت دیگر، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، قطر درختان بنه نیز افزایش یافته است. همچنین، شیب دامنه رابطه معکوسی با ارتفاع تنه درختان داشته است؛ به این معنا که درختان واقع در دامنه‌های با شیب کمتر، ارتفاع تنه بیشتری داشته‌اند. نتایج نشان داد که نمایه سطح تاج تحت تأثیر زیاد عوامل

## References

- Alhamad, M.N. (2006). Ecological and species diversity of arid Mediterranean grazing land vegetation. *Journal of Arid Environments*, 66(4), 698-715.
- Anderson-Teixeira K.J., Herrmann V., Rollinson C.R., Gonzalez B., Gonzalez-Akre E. B., Pederson N., Alexander M.R., Allen C.D., Alfaro-Sánchez R., Awada T., Baltzer J.L., Baker P.J., Birch J.D., Bunyavejchewin S., Cherubini P., Davies S. J., Dow C., Helcoski R., Kašpar J., Lutz J.A., Margolis E.Q., Maxwell J.T., McMahon S.M., Pioniot C., Russo S.E., Šamonil P., Sniderhan A.E., Tepley A.J., Vašíčková I., Vlam M., & Zuidema P.A.. (2022). Joint effects of climate, tree size, and year on annual tree growth derived from tree-ring records of ten globally distributed forests. *Global Change Biology*, 28(1), 245-266.
- Barnes, B.V. (1998) *Forest Ecology*. John Wiley and Sons Inc., Hoboken, 773 p.
- Bijak, S., & Orzoł, K. (2018). Slenderness of trees in black locust stands. *Lesne Prace Badawcze*, 79(2), 113-117.
- Bueno de Mesquita, C.P., King, A.J., Schmidt, S.K., Farrer, E.C., & Suding, K.N. (2016). Incorporating biotic factors in species distribution modeling: are interactions with soil microbes important?. *Ecography*, 39(10), 970-980.
- Callow, D., May, P., & Johnstone, D.M. (2018). Tree vitality assessment in urban landscapes. *Forests*, 9(5), 279.
- Cimalová, Š., & Lososová, Z. (2009). Arable weed vegetation of the northeastern part of the Czech Republic: effects of environmental factors on species composition. *Plant Ecology*, 203, 45-57.
- Chawla, A., Rajkumar, S., Singh, K.N., BrijLal, R.D.S. & Thukral, A.K. (2008). Plant species diversity along an altitudinal gradient of Bhabha Valley in Western Himalaya. *Journal of Mountain Science*, 5, 157-177.
- Coomes, D.A., & Allen, R.B. (2007). Effects of size, competition and altitude on tree growth. *Journal of Ecology*, 95(5), 1084-1097.
- Davarpanah, G., Fattahi, M., Golmohammadi, M., Aghajanlu, F., Hajighaderi, T., & Tarasi, J. (2009). Investigation on effective factors influencing distribution of wild pistachio species at Zanjan province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(1), 33-50. (In Persian)
- Deafalla, T.H., Dafa-Alla, D.M., & Abbas, M.E. (2014). The importance of non wood forest products for rural livelihoods: the case of South Kordofan state, Sudan. *Science, policy and politics of modern agricultural system: global context to local dynamics of sustainable agriculture*, 323-332.
- Desta, F., Colbert, J.J., Rentch, J.S., & Gottschalk, K.W. (2004). Aspect induced differences in vegetation, soil, and microclimatic characteristics of an Appalachian watershed. *Castanea*, 69(2), 92-108.
- Didehvar, M., Ebadi, M.T., & Ayyari Nooshabadi, M. (2022). An Environmentally-Friendly Method for Exploitation of Oleo-Gum-Resin from *Pistacia atlantica* Desf. Trees. *Journal of Nuts*, 13(2), 153-165.
- Esmaili, A., Mousavi Mirkala, S.R., Alijanpour, A., Hajjarian, M., & Ghanbari, S. (2022). The effect of altitude on quantitative and qualitative characteristics and estimation of *Pistacia atlantica* fruits in the forest stands in Sardasht, West Azerbaijan province. *Forest Research and Development*, 7(4), 653-670. (In Persian)
- Fakhimi Abarghoie, E., Mesdaghi, M., Gholami, P., & Naderi Nasrabad, H. (2011). The effect of some topographical properties in plant diversity in Steppic Rangelands of Nodushan, Yazd Province, Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 18(3), 408-419. doi: 10.22092/ijrdr.2011.102172. (In Persian)
- Falahchai, M.M., Firouzan, A.H., Yousefi, M., Panahpour, H., & Falahchai, S.R. (2009). Survey of some vegetative characteristics *Pistacia mutica* species in Yasuj forestes. (Mah Parviz local forests). *Journal of Biology Science*, 3(1), 29-41. (In Persian)

- Fan, B., Yang, B., & Li, G. (2022). Assessing the influence of local environment, regional climate and tree species on radial growth in the Hexi area of arid northwest China. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1046462.
- Fattahi, M. (1995). Ecology of pistachio wild. In *first national seminar of pistachio*. Ilam, Iran, 26-62. (In Persian)
- Fu, B.J., Liu, S.L., Chen, L.D., Lü, Y.H., & Qiu, J. (2004). Soil quality regime in relation to land cover and slope position across a highly modified slope landscape. *Ecological Research*, 19, 111-118.
- Gallardo-Cruz, J.A., Pérez-García, E.A., & Meave, J.A. (2009).  $\beta$ -Diversity and vegetation structure as influenced by slope aspect and altitude in a seasonally dry tropical landscape. *Landscape Ecology*, 24, 473-482.
- Ghahramany, L., Saedizadeh, F., & Ghazanfari, H. (2016). Response of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) to resin exploitation. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 23(4), 25-44. (In Persian)
- Ghazanfari, H., Namiranian, M., Sobhani, H., & Marvi Mohajer, M.R. (2004). Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the northern Zagros mountains of Kurdistan Province, Iran. *Scandinavian Journal of Forests Research*, 19, 65-71.
- Harper, J.L. (1977). Population Biology of Plants. New York, *Academic Press*.
- Heydari, M. (2017). Study the effect of physiographic and anthropogenic factors on the spatial distribution of *Pistacia atlantica* using GIS in Dareh Shahr forests. *Journal of Plant Research, Iranian Journal of Biology*, 30(3), 560-570. (In Persian).
- Hosseini, S.M., Hosseini, S.A., & Karbalaee Doree, A. (2019). Evaluation of bioclimatic index in Sanandaj. *Journal of Environmental Science Studies*, 4(2), 1307-1316. (In Persian)
- Hund, K.C. (2002). The effects of slope aspect on environmental conditions and vegetation (slope aspect study). *California state science fair*.
- Kershaw Jr, J.A., Ducey, M.J., Beers, T.W., & Husch, B. (2016). Forest Mensuration (5th ed.). New York: *John Wiley & Sons*, 640 p.
- Kozhoridze, G., Orlovsky, N., Orlovsky, L., Blumberg, D.G., & Golan-Goldhirsh, A. (2015). Geographic distribution and migration pathways of *Pistacia*—present, past and future. *Ecography*, 38(11), 1141-1154.
- Mbuvi, D., & Boon, E. (2009). The livelihood potential of non-wood forest products: The case of Mbooni Division in Makueni District, Kenya. *Environment, Development and Sustainability*, 11, 989-1004.
- Maes, S.L., Perring, M.P., Vanhellemont, M., Depauw, L., Van den Bulcke, J., Brümelis, G., & Verheyen, K. (2019). Environmental drivers interactively affect individual tree growth across temperate European forests. *Global Change Biology*, 25(1), 201-217.
- Maguran, A.E. (2004). Measuring biological diversity. *Blackwell Publishing*, UK.
- Mayor, J.R., Sanders, N.J., Classen, A.T., Bardgett, R.D., Clement, J.C., Fajardo, A., Lavorel S., Sundqvist M.K., Bahn M., Chisholm C., Cieraad E., Gedalof Z., Grigulis K., Kudo G., Oberski D.L., & Wardle D.A. (2017). Elevation alters ecosystem properties across temperate treelines globally. *Nature*, 542(7639), 91-95.
- Morales-Gallegos, L.M., Martínez-Trinidad, T., Hernández-de la Rosa, P., Gómez-Guerrero, A., Alvarado-Rosales, D., & Saavedra-Romero, L.D.L. (2023). Tree health condition in urban green areas assessed through crown indicators and vegetation indices. *Forests*, 14(8), 1673.
- Namiranian, M. (2000). A study on dimensional characters of Beech species in Gorazbon District, Kheyroudkenar forest. *Iranian Journal of Natural Resources*, 53(1), 87-95. (In Persian)

- Negahdarsaber, M.R., Fattahi, M., Pakparvar, M., & Joukar, L. (2009). Statistical study of physiographic conditions in wild pistachio habitats using GIS in Fars province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(4), 522-512. (In Persian)
- Owji, M.G., & Hamzpour, M. (2003). Comprehensive study on Baneh (*Pistacia atlantica*) Experimental Forest of Fars province of Iran. *Iranian Journal of Forests and Poplar Research*, 10(1), 283-308. (In Persian)
- Panthi, S., Fan, Z.X., van der Sleen, P., & Zuidema, P.A. (2020). Long-term physiological and growth responses of Himalayan fir to environmental change are mediated by mean climate. *Global change biology*, 26(3), 1778-1794.
- Rostamikia, Y., Imani, A.A., Fattahi, M., & Sharifi, J. (2009). Site demands, quantitative and qualitative characteristics of wild pistachio in Khalkhal forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(4), 489-499. (In Persian)
- Shekarchian, A., Khodashenas, M., Kadoori, M.R., Poursafari, B., Ghonche pour, M., & Fattahi, M. (2020). Quantitative and qualitative study of *Pistacia* Forests in Kerman Province and suggestions to improve their management. *Iran Nature*, 5(1), 27-33. (In Persian)
- Solon, J., Degórski, M., & Roo-Zielińska, E. (2007). Vegetation response to a topographical-soil gradient. *Catena*, 71(2), 309-320.
- Yampolsky, C., & Yampolsky, H. (1922). Distribution of sex forms in the phanerogamic flora. *Bibliotheca genetica*, 3, 1-63.
- Yi, T., Wen, J., Golan-Goldhirsh, A., & Parfitt, D.E. (2008). Phylogenetics and reticulate evolution in PISTACIA (Anacardiaceae). *American Journal of Botany*, 95(2), 241-251.
- Yousefi, A., Ghahramany, L., Ghazanfari, H., Pulido, F., & Moreno, G. (2020). Biometric indices of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) trees under resin extraction in Western Iran. *Agroforestry Systems*, 94, 1977-1988.
- Zahedipour, H., Fattahi, M., Mirdavoodi Akhavan, H.R., Godarzi, G., & Azdoo, Z. (2005). Distribution of different species of Pistachio in Markazi Province of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 13(1), 33-78. (In Persian).



## The impact of physiographic factors on the biometric characteristics of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) trees in Kurdistan Province

S. Sharifi<sup>1</sup>, L. Ghahramany<sup>2\*</sup>, M. Pourhashemi<sup>3</sup>, and M. Pir Bavaghar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. of forest science and engineering, Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

<sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan and Dr. Hedayat Ghazanfari Center for Research and Development (R&D) of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

<sup>3</sup>Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

(Received: 2 November 2024; Accepted: 30 December 2024)

### Abstract

**Introduction:** Physiographic factors such as altitude, slope, and aspect play a crucial role in shaping vegetation patterns and species distribution. This study aimed to investigate the impact of these factors on the biometric characteristics of *Pistacia atlantica* trees in Kurdistan Province, Iran.

**Material and Methods:** This study was conducted in an 1860-hectare forest area in Sanandaj. The study area was divided into 36 homogeneous physiographic units based on altitude, slope, and aspect maps. For each landform unit, four random points (four repetitions) were determined digitally and their coordinates were entered to GPS for positioning. At each random sample point, seven of the nearest wild pistachio trees (with diameter at breast height  $\geq 5$  cm) were selected as sample trees (totally 1008 wild pistachio individuals). For each sample tree, the diameter at the breast height, total height, trunk height, crown height, the major diameter of the crown and its perpendicular diameter, and crown vitality were recorded. The distribution of wild pistachio trees in the diameter classes was drawn and the statistics of biometric indices of sample trees were calculated by separating physiographic factors and without considering physiographic factors (total). The effect of physiographic factors on the biometric indices of wild pistachio trees was investigated using a factorial experiment with a completely randomized design (considering the altitude, the slope, and the aspect as the test factors). The comparison of mean diameter at breast height, trunk height, crown area, slenderness coefficient of wild pistachio trees and treatment combinations (after rejecting the assumption that they are the same based on the result of analysis of variance) was done using Tukey's post hoc test.

**Results:** The results showed that altitude was the most significant factor affecting tree diameter. Generally, tree diameter increased with increasing altitude. Pistachio trees showed no significant differences in total and crown heights across physiographic factor classes. Slope influenced trunk height, with trees on gentler slopes having greater trunk heights. Additionally, crown area was influenced by a combination of slope and aspect, while crown vitality was influenced by both aspect and elevation. In terms of slenderness coefficient (the ratio of total height to diameter at 1.3 m above ground), the effect of altitude is statistically significant.

**Conclusion:** This study demonstrated that physiographic factors significantly influence the growth and development of wild pistachio trees. Understanding these influences can be beneficial for developing sustainable management strategies for pistachio forests. By identifying the limiting factors for tree growth, appropriate management measures can be designed to improve habitat conditions and enhance the sustainability of this valuable species. Further studies in different regions with varying climatic and ecological conditions are needed to generalize the findings of this study.

**Keywords:** Altitude, Biometric characteristics, *Pistacia atlantica*, Zagros.