

ارزیابی تولید و هزینه عملیات قطع با استفاده از اره موتوری MASHOUF PSI 9700 در جنگلکاری های صنوبر در غرب استان گیلان

فرشته رحیمی بی تم^۱، مهرداد نیکوی^{۲*}، محمود حیدری^۳ و پتروس سایروس^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران. (fereshtehrahimi2000@gmail.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران. (nikooy@guilan.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران. (mheidari1360@gmail.com)

۴- استادیار، آزمایشگاه بهره برداری جنگل، دانشکده جنگلداری و محیط زیست طبیعی، دانشگاه Aristotle، یونان. (ptsioras@for.auth.gr)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

چکیده

مقدمه و هدف: امروز، اره های موتوری به دلیل کاربردهای چندمنظوره و سرمایه گذاری مالی نسبتاً کم، ابزار اصلی برداشت چوب از جنگل ها در جهان هستند. اره های موتوری کارایی بالایی دارند تا بتوانند بازده و بهره وری را افزایش دهند که منجر به کاهش هزینه های قطع می شود. قطع درختان صنوبر در غرب استان گیلان به صورت نیمه مکانیزه با استفاده از اره موتوری و با اعمال سامانه برداشت چوب یکسره انجام می شود. بهره وری و هزینه دو عامل اصلی هستند که بر انتخاب سامانه های برداشت چوب تأثیر می گذارند و قطع درختان یک عنصر اساسی در این زمینه است. اثرات قطع درختان بر کیفیت بوم سازگان های جنگلی به شدت به مدت زمان این فعالیت بستگی دارد. هدف از این پژوهش ارزیابی بهره وری و هزینه عملیات برش در یک صنوبر واقع در غرب استان گیلان با استفاده از اره موتوری مدل MASHOUF PSI 9700 بود.

مواد و روش ها: این تحقیق در جنگلکاری های منطقه تنیان واقع در غرب استان انجام شد. یک گروه کاری متشکل از یک اره موتوری و یک کمک اره موتوری انتخاب شدند. گروه کاری انتخاب شده معرف میانگین سطح کاری کارگران منطقه بود. اره موتوری انتخاب شده برای این تحقیق حدود ۲۰۰۰ ساعت عمر مفید داشت که میانگین عمر مفید اره های موتوری از این نوع است. در طول سال ها، تحقیقات در مورد زمان صرف شده به ویژه بر ایجاد رابطه بین راندمان کاری و بهره وری انجام شده با ابزارهای مختلف قطع و خصوصیات مختلف رویشگاه برداشت متمرکز شده است. تجزیه و تحلیل ساختار زمان کار و بهره وری در عملیات قطع با اره موتوری یک نگرانی مهم مدیریت برداشت پایدار چوب است. بنابراین، از بررسی زمانی

برای محاسبه تولید ساعتی گروه قطع استفاده شد. زمان قطع به دو دسته زمان تولید و زمان تأخیر طبقه‌بندی شد. زمان مؤثر شامل (الف) حرکت به سمت درخت، (ب) آمادگی برای قطع کردن، (ج) بن‌زنی، (د) بن‌بری و (ه) سوخت‌گیری بود، درحالی‌که زمان تأخیر شامل (الف) زمان استراحت یا زمان شخصی، (ب) زمان تأخیرهای عملیاتی و (ج) زمان تأخیرهای فنی بود. پس از تعیین قیمت اره‌موتوری، کل هزینه ثابت از مجموع ارزش سرمایه‌گذاری سالانه، استهلاک، بیمه و مالیات به‌دست آمد. هزینه‌های متغیر نیز از مجموع هزینه ساعتی سوخت، هزینه نگهداری، هزینه زنجیر و اسپراکت و غیره محاسبه شد. مجموع هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، متغیر و هزینه‌های پرسنلی بود. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Excel 2013 پردازش و با استفاده از SPSS نسخه ۱۸ مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. علاوه بر این، متغیرهای تأثیرگذار بر هر یک از عناصر کار با استفاده از رگرسیون چند متغیره گام‌به‌گام تعیین شدند.

یافته‌ها: در مجموع ۱۳۳ اصله درخت به حجم ۱۰۹/۰۶ مترمکعب قطع شد. کل زمان کار لازم برای قطع درختان در مناطق مورد بررسی ۵۰۰/۲۱ دقیقه بود. ۴۱/۴۲ درصد از زمان به زمان کار اصلی اختصاص داشت. ۸/۸۴ درصد از زمان قطع به کارهای تکمیلی مانند جابجایی بین درختان، گوه‌زنی، ۱۵/۲۹ درصد به کارهای مقدماتی مانند جابجایی بین محل کار، آمادگی برای کار، ۹/۶۰ درصد برای زمان تعمیر، ۱۵/۷۴ درصد برای تأخیرها و توقف‌های کاری و ۹/۰۹ درصد زمان غیرمرتبط با کار بود. ۷۱ درصد تأخیرها مربوط به تأخیرهای شخصی بود که ۸۰/۷ درصد مربوط به زمان صرف ناهار و ۱۹/۹۳ درصد مربوط به دیگر تأخیرهای شخصی بود. سهم تأخیرهای عملیاتی و فنی از کل تأخیرها به ترتیب ۱۰ و ۱۹ درصد بود. با افزایش قطر، تولید ساعتی (بدون تأخیر) و زمان قطع (بدون تأخیر) افزایش یافت. همچنین رابطه بین قطر و هزینه واحد تولید نشان داد که با افزایش قطر، هزینه واحد تولید کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که میانگین زمان صرف شده (خالص-ناخالص) برای قطع هر درخت به ترتیب ۳/۷۵-۲/۷۳ دقیقه و مقدار تولید ساعتی با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب ۱۳/۴۴ و ۱۷/۲۸ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید (با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر) ۰/۳۲ و ۰/۲۵ دلار بود. تحلیل داده‌ها همبستگی بسیار معنی‌داری را بین زمان کار (دقیقه) و قطر درخت در ارتفاع سینه (سانتی‌متر)، حجم درخت (مترمکعب) و فاصله بین درختان (متر) نشان داد.

نتیجه‌گیری کلی: با ایجاد مدل‌های ریاضی زمان کار برای انواع اره‌های موتوری می‌توان عملکرد گروه قطع را افزایش داد و دستمزد معقول‌تری به کارگران جنگل پرداخت کرد. علاوه بر این، از نتایج این پژوهش می‌توان برای تعیین نرخ کار، برنامه‌ریزی کاری و برآورد هزینه استفاده کرد. به‌طور کلی، مدل‌ها و نتایج ارائه شده در این تحقیق می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا عوامل مؤثر بر بهره‌وری و هزینه در مراحل مختلف کار را بهتر درک کنند. همچنین می‌توان از آن برای سازماندهی مجدد و برنامه‌ریزی کار جنگل برای رفع نگرانی‌های اقتصادی استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: تولید چوب، جنگل کاری صنوبر، زی‌توده، برداشت چوب، پژوهش زمانی.

مقدمه

چوب یکی از پرمصرف‌ترین مواد صنعتی است که به توسعه و رشد اقتصادی یک کشور کمک می‌کند و در عین حال فرصت‌های شغلی بسیاری را فراهم می‌کند (Safarzadeh et al., 2023). در استان گیلان در حدود ۸۳۵ کارگاه مصرف‌کننده چوب وجود دارد که در حدود نیمی از چوب‌آلات تولیدشده در استان را مورد مصرف قرار می‌دهد و زمینه اشتغال ۱۸۰۳۰ نفر را فراهم کرده‌اند (Nikooy et al., 2021). از نقطه نظر عملیاتی و برای تحویل به بازارهای مصرف تغییراتی در شکل و ماهیت اولیه چوب به وجود می‌آید که آن را به یک محصول میانی یا نهایی تبدیل می‌کند. بخش زیادی از این تحولات ارزش افزوده در جنگل‌ها با استفاده از سیستم‌های برداشت مختلف صورت می‌گیرد که سطح مکانیزاسیون آنها به عوامل متعددی مانند وضعیت اقتصادی یک منطقه یا کشور معین بستگی دارد (Moskalik et al., 2017; Rauch et al., 2015). در حالی که فناوری بسیار مکانیزه در کشورهای توسعه یافته وجود دارد، استفاده از آن به دلایل مختلفی مانند سطح کم جنگلکاری‌ها (Borz et al., 2014)، برداشت در مناطق کوچک و شدت کم برداشت در ایران مقدور نیست. در این شرایط، بخش مهمی از کار برداشت چوب به صورت دستی و با ارموتوری به دلایلی مانند هزینه‌های خرید و عملیات قابل قبول، طول عمر به نسبت طولانی (Calvo et al., 2014)، سازگاری با زمین‌های شیب دار، سازگاری با طیف گسترده‌ای از اندازه‌ها و گونه‌های درخت (Borz et al., 2014) و شدت برداشت (Borz et al., 2013) کم انجام می‌شود. قطع درختان و پردازش دستی با ارموتوری هنوز یکی از پرکاربردترین گزینه‌ها در عملیات برداشت چوب است (Borz et al., 2014). پژوهش تولید، هزینه و عوامل مؤثر بر زمان قطع درختان در ایران سابقه‌ای

طولانی دارد. (Sobhani et al., 2007) در تحقیق خود در جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر بخش پاتم با عنوان بررسی مقدار تولید و هزینه‌های قطع درختان مدل ریاضی زمان یک نوبت قطع را تهیه کردند که این مدل فقط تابعی از متغیر مستقل قطر برابر سینه درخت بود. (Naghdi et al., 2010) در تحقیقی تحت عنوان ارزیابی بهره‌وری گروه‌های قطع در جنگل‌های تحت سرپرستی شرکت جنگل سفارود در استان گیلان نشان دادند عواملی مانند قطر درخت در ارتفاع برابر سینه، فاصله بین درختان، شیب طولی و شیب عرضی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در مقدار تولید ساعتی گروه‌های قطع به حساب می‌آیند. Jourgholami et al. (2012) در بررسی‌های خود برای ارزیابی روش سستی تبدیل چوب در جنگل گرازبن خیرود نشان دادند که مقدار تولید با و بدون زمان‌های تأخیر ۰/۶۹ و ۰/۹۳ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید با و بدون زمان‌های تأخیر ۲۴۵۹۵۰ و ۱۸۳۱۴۰ ریال است. Rizvandi (2012) and Jourgholami با مقایسه تولید و هزینه قطع درخت با ارموتوری در دو روش مرسوم و هدایت شده (مطالعه موردی: جنگل خیرود) نشان دادند که معادله رگرسیون چندمتغیره زمان قطع در روش مرسوم، تابعی از متغیر قطر و فاصله بین درختان و در روش هدایت شده تابعی از قطر و برای انداختن درخت است. در این پژوهش مقدار تولید ساعتی قطع در روش مرسوم با در نظر گرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به ترتیب ۴/۶ و ۶/۶ مترمکعب در ساعت و در روش هدایت شده با در نظر گرفتن زمان‌های تأخیر و بدون آن، به ترتیب ۴/۴ و ۱/۵۹ مترمکعب در ساعت بود. نتایج تحقیق همچنین نشان داد که با افزایش قطر، مقدار تولید در هر دو روش مرسوم و هدایت شده به صورت رابطه توانی افزایش و هزینه واحد تولید در قطع با ارموتوری در دو روش

بدون تأخیر به ترتیب $3/35$ و $3/48$ مترمکعب در ساعت، تولید ساعتی در اره موتوری معمولی با تأخیر و بدون تأخیر به ترتیب $3/42$ و $3/91$ مترمکعب در ساعت است. در نهایت مدت زمان متوسط در دقیقه مورد نیاز برای تولید به ترتیب $28/27$ و $24/21$ دقیقه برای اره-موتوری باتری دار و معمولی است. Ghaffariyan (2021) پژوهش مروری بر روی تولید و قطع درخت با اره موتوری بر روی درختان سرپای اکالیپتوس انجام داد. نتایج نشان داد که عوامل اصلی بر روی تولید و قطع درخت با اره موتوری شامل قطر در ارتفاع برابر سینه، مسافت طی شده تا درختان، تراکم پوشش کف جنگل، شیب زمین و همچنین تجربه اپراتور نقش مهم و کلیدی در تولید عملیات قطع است. دامنه تولید در نواحی مختلف از $0/6$ تا $48/9$ مترمکعب در ساعت گزارش شد. Suhartana et al. (2022) با بررسی زمان کار، بهره‌وری، و هزینه قطع در یک جنگل استوایی در پاپوآ غربی اندونزی نشان دادند که حداقل و حداکثر زمان قطع هر درخت بین $15/3$ تا $18/3$ دقیقه برای هر درخت با میانگین $16/7$ دقیقه برای هر درخت بود. کل زمان قطع تحت تأثیر متغیرهای مختلفی شامل قطر درخت، ارتفاع امتداد ریشه و شیب طولی بود. بهره‌وری گروه قطع بین $14/901$ تا $17/067$ مترمکعب در ساعت (به-طور متوسط $15/778$ مترمکعب در ساعت) محاسبه شد. برای بهبود اثربخشی زمان قطع، ارتقاء مهارت‌های اپراتورها از طریق آموزش و تهیه نقشه پراکنش درختان مقطوعه پیشنهاد شد. Latterini et al. (2022) با ارزیابی بهره‌وری گروه قطع درختان با اره موتوری در عملیات تنک کردن درختان کاج بروسیا دریافتند که بهره‌وری گروه قطع برابر با $10/3$ درخت در هر ساعت ($11/2$ مترمکعب در ساعت) و با در نظر گرفتن یک روز کاری هشت ساعت، بهره‌وری برابر با 41 درخت برای هر کارگر ($44/8$ مترمکعب چوب برای هر کارگر) بود.

مرسوم و هدایت شده با افزایش قطر به صورت توانی کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که عملیات قطع درخت به روش هدایت شده از روش مرسوم گران‌تر است. Hamed Ghazi et al. (2016) با بررسی تولید، هزینه قطع و تبدیل اولین عملیات تنک کردن در توده جنگلکاری شده (بررسی موردی: جنگل تیروم رود) دریافتند که مدت زمان کل قطع تابعی از مؤلفه‌های تأثیرگذار شامل قطر، حجم و فاصله درختان از یکدیگر بوده است. همچنین مقدار تولید ساعتی برای تمام گونه‌ها به طور میانگین $2/8$ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید نیز به طور متوسط 61522 ریال بر مترمکعب به دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که هزینه واحد تولید در عملیات قطع تا حد زیادی به اندازه درختان مورد نظر و وضعیت شاخه دوانی درختان بستگی دارد. Klepac and Rummer (2002) دو سیستم بهره-برداری شامل قطع درخت با اره موتوری و هاروستر را از نظر مقدار تولید، هزینه‌ها مقایسه کردند. نتایج نشان داد که با افزایش قطر درخت، زمان یک نوبت قطع درخت افزایش می‌یابد. Wang et al. (2004) به بررسی مقدار تولید و هزینه‌های سیستم برداشت قطع با اره-موتوری و چوبکشی با اسکیدر در توده‌های پهن برگ آپالچین غرب ورجینیا در آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که اثرگذارترین عوامل در زمان قطع هر درخت، قطر و فاصله بین درختان قطع شده است و مقدار تولید ساعتی گروه قطع $10/25$ مترمکعب و هزینه ساعتی در ساعات کار مفید $28/99$ دلار بود. Li et al. (2006) به بررسی تولید و هزینه سه سیستم بهره‌برداری پرداختند و بیان کردند که عوامل مؤثر بر زمان قطع با اره موتوری، قطر درخت و فاصله بین درختان است. Dimou et al. (2019) بهره‌وری تولید در اره موتوری دستی را با اره-موتوری باتری دار مورد ارزیابی قرار دادند؛ نتایج نشان داد که تولید ساعتی در اره موتوری باتری دار با تأخیر و

اره موتوری ماشوف از اره های موتوری جدیدی است که برای عملیات برداشت چوب در جنگل کاری های استان گیلان مورد استفاده قرار می گیرد. این پژوهش با هدف ارزیابی تولید و هزینه عملیات قطع درختان با اره موتوری MASHOUF در عملیات قطع یکسره درختان جنگل کاری شده انجام شد.

مواد و روش ها

این پژوهش در جنگل های سری دو تنیان در حومه شهرستان صومعه سرا انجام شد. برای جلوگیری از اثر ویژگی های دموگرافیک کارگران و تأثیر آنها بر تحقیق از یک اره موتورچی برای این پژوهش استفاده شد (Kanawaty, 1992). اره موتوری MASHOUF PSI 9700 برای این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱).

Borz et al. (2019) در نتایج مقدماتی تحقیق قطع یکسره نهال های تندرشد بید با اره موتوری Husqvarna 545 RX در کشور رومانی نشان دادند که کارایی سیستم قطع ۰/۱ هکتار در ساعت است. Mousavi et al. (2011) با بررسی زمان مصرف، تولید، و تجزیه و تحلیل هزینه اره دستی در قطع و پردازش درخت در جنگل هیرکانی در ایران نشان دادند که مقدار تولید در قطع با و بدون زمان تأخیر ۹/۷ و ۱۱/۶۵ مترمکعب در ساعت و میانگین هزینه تولید با و بدون تأخیر ۱/۲۱ و ۱/۴۵ دلار بود. میانگین تولید در پردازش ۳۵ مترمکعب در ساعت و هزینه پردازش ۰/۲۲ دلار بود.

پژوهش های مربوط به تولید و هزینه اره موتوری در ایران عموماً بر روی مدل های مختلف اره موتوری اشتیل انجام شده و دیگر اره های مورد استفاده برای قطع کمتر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند.

جدول ۱- مشخصات فنی اره موتوری MASHOUF PSI 9700 مورد استفاده در این پژوهش

Table 1. Technical specifications of MASHOUF PSI 9700 chainsaw used in this study

کمیت Quantity	مشخصه Feature
5.1	وزن خالص (کیلوگرم) Pure weight (Kg)
520	حجم باک سوخت (میلی لیتر) Fuel tank volume (ml)
260	حجم باک روغن (میلی لیتر) Oil tank volume (ml)
50	طول تیغه (سانتی متر) Blade length (cm)
54	جابجایی سیلندر (سانتی مترمکعب) Cylinder displacement (cm^3)
2.2	توان خروجی (کیلووات) Output power (kw)
2000	طول عمر (ساعت) Longevity (h)

استفاده از دوربین دیجیتال کانن مدل EOS 77D به همراه لنز ۱۸-۱۳۵ میلی متر IS USM با دقت ۲/۲۴

زمان بر حسب ثانیه با استفاده از روش بررسی زمان پیوسته (Mousavi and Nikooy 2014) و با

Ciubotaru and Câmpu با استفاده از رابطه ۱ به دست آمده که در آن n =حداقل نمونه لازم برای محاسبه، p =درصد زمان غیرتولیدی، q =درصد زمان تولیدی، t =ارزش عددی توزیع استیودنت و e =حداکثر خطای پذیرفته شده است. در جدول ۳ کمینه تعداد محاسبه شده و تعداد اندازه گیری های انجام شده ارائه شده است. تعداد زیادی اندازه گیری برای عادی سازی توزیع مقادیر اندازه گیری شده و به حداقل رساندن اثر هائورن مدنظر قرار گرفت. بعد از مشخص کردن اجزای هر یک از بخش های قطع، مؤلفه های تأثیرگذار بر مدت زمان هریک از این اجزای عملیات با استفاده از رگرسیون خطی چندعامله به روش گام به گام تعیین شد. ۱۳۳ نمونه قطع درخت از گونه صنوبر انتخاب و زمان سنجی شد.

$$n = \frac{p \times q \times t^2}{e^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

مگاپیکسل اندازه گیری شد. از یک زمان سنج و یک ساعت مچی برای اندازه گیری زمان با ثبت شروع و پایان هر عملیات، مرحله یا فعالیت در طول یک شیفت کاری استفاده شد. شیفت کاری از لحظه ای شروع می شود که تیم قطع کارگاه را ترک می کند و در هنگام بازگشت به همان مکان به پایان می رسد. تمام اندازه گیری های مربوط به زمان کار توسط یک گروه سه نفره انجام شد. به منظور عدم ایجاد اختلال در روند کار، متغیرهای مربوط به درختان و دیگر نمونه های مورد تجزیه و تحلیل توسط نفر دوم اندازه گیری شد. تمام اندازه گیری ها در یک روز کاری انجام شد. فاصله بین درختان و ارتفاع درخت با متر لیزری و بر روی زمین (پس از قطع) و قطر در ارتفاع برابر سینه با استفاده از کالیپر اندازه گیری شد. برای اولین درخت فاصله از ورودی منطقه قطع اندازه گیری شد. تعداد اندازه گیری های لازم با رابطه پیشنهادی (Kanawaty (1992 و (2017)

جدول ۲- ساختار زمانی عملیات قطع درختان در منطقه مورد بررسی

Table 2. The time structure of tree felling operations in the study area

پایان Finish	شروع Start	اجزاء کار قطع Felling work components
زمانی که اره موتورچی به درخت می رسد	هنگامی که اره موتورچی به سمت درختی که قرار است بریده شود حرکت می کند	حرکت به سمت درخت Moving toward the tree
When the chainsaw operator reaches the tree	When the chainsaw operator moves towards the tree to be fell	
زمانی که اره موتورچی نوک تیغه را بر روی درخت برای انجام بن زنی می گذارد	زمانی که اره موتورچی شروع به تمیز کردن اطراف درخت، انتخاب مسیر افت و غیره می کند	آمادگی برای قطع Preparation for felling
When the chainsaw operator puts the tip of the blade on the tree to under cut	When the chainsaw operator starts cleaning around the tree, choosing the route of the fall, etc.	
زمانی که اره موتورچی قطاع (قاج) را از داخل درخت بیرون می کشد	زمانی که اره موتورچی شروع به بن زنی می کند	بن زنی Under cut
When the chainsaw operator pulls the cut out of the tree	When the chainsaw operator starts under cut	

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

پایان Finish	شروع Start	اجزاء کار قطع Felling work components
زمانی که درخت شروع به افتادن می کند When the tree starts to fall	زمانی که اره موتوری شروع به بن بری می کند When the chainsaw operator starts back cut	بن بری Back cut
زمانی که سوخت گیری به پایان می رسد When refueling ends	زمانی که اره موتوری شروع به سوخت گیری می کند When the chainsaw operator starts refueling	سوخت گیری Refueling
زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند تعویض تیغه و زنجیر، تعمیر و تعویض فیلتر هوا، تنظیم زنجیر و غیره متوقف می شود When the felling operation is stopped due to factors such as changing the blade and chain, repairing and replacing the air filter, adjusting the chain, etc	تأخیرهای فنی Technical delays
زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند جابجایی بین گروه های کاری، تداخل کاری ناشی از عدم سازماندهی و غیره متوقف می شود When the felling operation is stopped due to factors such as moving between work groups, work interference due to lack of organization, etc	تأخیرهای اجرایی Operational delays
زمانی که تأخیر به پایان رسیده و کارگر به عملیات قطع باز می شود When the delay ended and the worker returns to the felling operation	زمانی که عملیات قطع به دلیل عواملی مانند تغذیه، کشیدن سیگار، سرویس بهداشتی و غیره متوقف می شود When the felling operation stops due to factors such as nutrition, smoking, going to the bathroom, etc	تأخیرهای شخصی Personal delays

جدول ۳- کمینه تعداد نمونه های اندازه گیری شده برای پژوهش

Table 3. Minimum number of measured samples for the study

تعداد اندازه گیری شده Measured number		ارزش شاخص های پژوهش The value of study parameters		تعداد در پلات آزمایشی Number in experimental plot	محل انجام کار Place of work	عملیات Operation
واقعی Real	محاسبه شده Calculated	درصد زمان غیرتولید Nonproductive time percent	درصد زمان تولید Productive time percent			
133	123	47	53	100	محوطه قطع Felling area	قطع Felling

محاسبه هزینه ساعتی

بعد از تعیین قیمت اره موتوری، هزینه ثابت کل از مجموع هزینه‌های بهره مالکانه سالیانه، استهلاک، بیمه و مالیات به دست آمد. هزینه‌های متغیر هم از جمع ساعتی هزینه سوخت، تعمیر و نگهداری، زنجیر و تیغه، اسپراکت و غیره محاسبه شد. جمع کل هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت، متغیر و هزینه کارگری بود (Hamedi Ghazi et al., 2016).

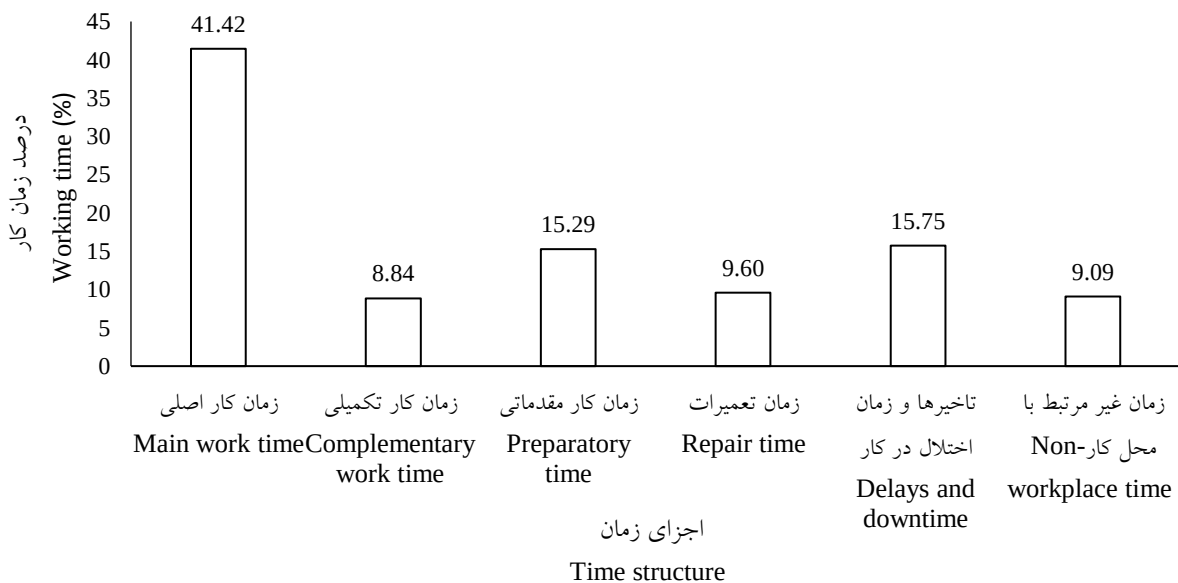
نتایج

تولید و هزینه قطع درخت

۴۱/۴۲ درصد از زمان کار به عملیات قطع درختان اختصاص داده شد، در این مرحله کارگر اره موتوری به موضوع قطع درختان و فعالیت بر روی آن پرداخت. ۸/۸۴ درصد از زمان قطع به کارهای تکمیلی مانند حرکت بین درختان، گوه‌زنی، ۱۵/۲۹ درصد به کارهای

مقدماتی مانند انتقال بین محل کار، آمادگی برای انجام کار، ۹/۶۰ درصد برای تعمیرات، ۱۵/۷۴ درصد برای تأخیرها و زمان اختلال در کار و ۹/۰۹ درصد برای زمان غیرمرتبط با محل کار صرف شد (شکل ۱).

در زمان کار تولیدی ۴۵ درصد برای بن‌زنی، ۱۹ درصد برای بن‌بری، ۱۳ درصد برای آمادگی برای قطع و ۲۳ درصد برای حرکت به سمت درخت صرف شد. ۷۱ درصد تأخیرها به تأخیرهای شخصی اختصاص داده شد که ۸۰/۷ درصد آن مربوط به زمان صرف ناهار و ۱۹/۹۳ درصد به دیگر تأخیرهای شخصی مربوط بود. سهم تأخیرهای اجرایی و فنی در مجموع تأخیرها به ترتیب ۱۰ و ۱۹ درصد بود. در جدول ۴ توصیف آماری مربوط به مؤلفه‌های قطع درختان در منطقه موردبررسی آمده است. در جدول ۵ زمان و مقدار تولید خالص و ناخالص نشان داده شده است.



شکل ۱- ساختار زمان کار در قطع درختان

Figure 1. Work time structure in tree felling

جدول ۴- میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف معیار فازهای مختلف قطع درخت

Table 4. The average, minimum, maximum and standard division of different phases of tree felling

انحراف از معیار Std.dev.	بیشترین Max	کمترین Min	میانگین Mean	تعداد Number	
10.55	55	16	38.33	133	حرکت به سمت درخت Moving toward the tree
4.58	30	15	22.16	133	آمادگی برای قطع Preparation for felling
21.07	125	35	73.29	133	بن‌زنی Under cut
5.01	42	17	30.54	133	بن‌بری Back cut
60.07	336	0	11.81	133	سوخت‌گیری Refueling
323.59	3682	0	67.44	133	تاخیرها Delays

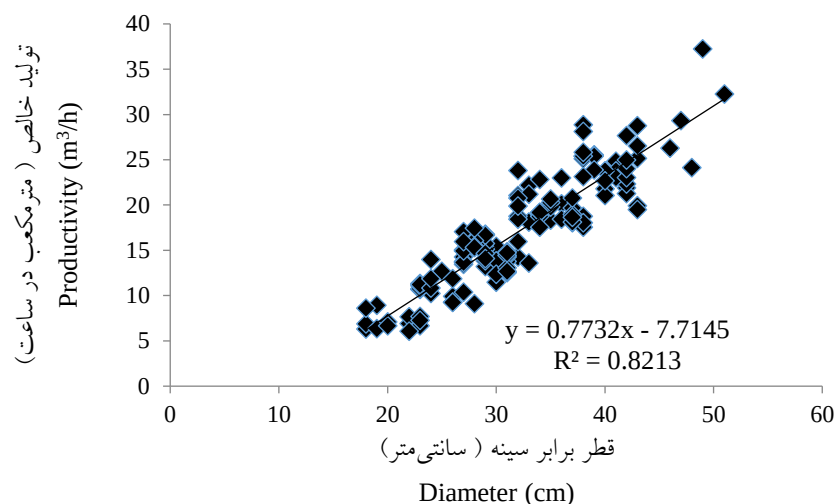
جدول ۵- میانگین، کمترین، بیشترین و انحراف از معیار متغیرهای موردبررسی

Table 5. The average, minimum, maximum and standard division of the studied variables

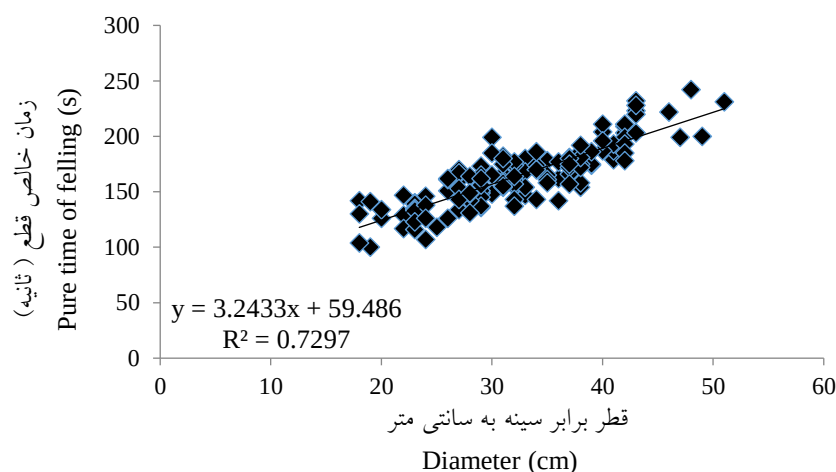
انحراف از معیار Std.dev.	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	تعداد Number	
7.29	32.33	51	18	133	قطر (سانتی‌متر) Diameter (cm)
8.95	39.72	55.3	25.6	133	فاصله (متر) Distance (m)
27.71	164.34	242	100	133	زمان خالص (ثانیه) Pure time (s)
96.05	225.66	613.68	127.6	133	زمان ناخالص (ثانیه) Gross time (s)
0.39	0.820	2.069	0.248	133	حجم (مترمکعب) Volume (m^3)
6.22	17.28	37.24	6.07	133	تولید خالص (مترمکعب) Productivity (m^3/h)
5.30	13.44	28.793	2.07	133	تولید ناخالص (مترمکعب) Gross productivity (m^3/h)

و زمان خالص قطع افزایش معنی‌داری یافت. همچنین رابطه بین قطر و هزینه واحد تولید نشان داد که با افزایش قطر، هزینه واحد تولید کاهش می‌یابد.

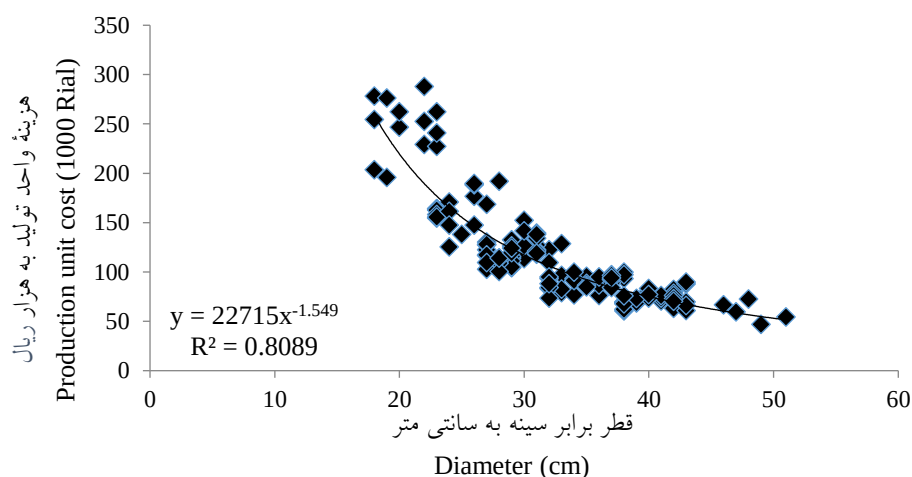
رابطه متغیر قطر با تولید ساعتی خالص و زمان خالص قطع در شکل ۲ و ۳ نمایش داده شده است. براساس نتایج به‌دست آمده با افزایش قطر، تولید ساعتی



شکل ۲- اثر قطر برابر سینه درخت بر تولید ساعتی خالص در منطقه مورد بررسی
Figure 2. The effect of tree diameter on productivity in the study area



شکل ۳- اثر قطر برابر سینه درخت بر زمان خالص در منطقه مورد بررسی
Figure 3. The effect of tree diameter on pure time in the study area



شکل ۴- اثر قطر برابر سینه درخت بر هزینه واحد تولید در منطقه مورد بررسی
Figure 4. The effect of tree diameter on unit cost of production in the study area

تأخیرها (t_6): میانگین زمان صرف‌شده برای تأخیرها
۵۴/۴۲ ثانیه بود.

زمان خالص t_t : $t_t = 116.58 + 58.239x_d$
زمان کل $t_{tot} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$

تولید ساعتی: $p_r = 4.907 + 15.093 x_v$

جزئیات آماری مربوط به مدل‌های رگرسیونی
نمایش داده‌شده در مرحله قطع در جدول ۶ نمایش
داده‌شده است. x_d و x_v در مدل‌های بالا به ترتیب
فاصله بین دو درخت به متر و حجم درخت به
مترمکعب است.

در جدول ۷ مقدار هزینه‌ها بر اساس قیمت سال
۱۴۰۰ نشان داده‌شده است.

معادله رگرسیون خطی به تفکیک اجزای قطع به
شکل زیر است. در اجزایی که رابطه معنی‌داری شکل
نگرفته است میانگین زمان صرف‌شده در آن اجزا بیان
شده است.

حرکت به سمت درخت (t_1): $t_1 = 8.341 + 0.819x_d$

زمان تصمیم‌گیری (t_2): میانگین زمان تصمیم‌گیری
برای قطع درخت ۲۲/۱۷ ثانیه بود.

بن‌زنی (t_3): $t_3 = -10.786 + 2.061x_d$

بن‌بری (t_4): $t_4 = 11.156 + 0.600x_d$

سوخت‌گیری (t_5): میانگین زمان لازم برای سوخت-
گیری ۱۱/۸۱ ثانیه است.

جدول ۶- جزئیات مربوط به مدل‌های رگرسیونی ارائه‌شده

Table 6. Details of regression models presented

T- test		اشتباه معیار Estimated std. error	متغیرها Variables	تعداد Number	F-Test		R^2	متغیر وابسته Dependent variable	مدل Model
P	T-Value				P	F-Value			
0.00	10.70	0.779	ثابت Constant	132	0.00	1744.14	0.93	t_1	حرکت به سمت درخت Moving toward the tree
0.00	41.76	0.020	فاصله Distance	132	0.00	208.96	0.615	t_3	بن‌زنی Under cut
0.00	-3.88	7.06	ثابت Constant	132	0.00	564.95	0.812	t_4	بن‌بری Back cut
0.00	14.45	0.228	قطر Diameter	132	0.00	283.86	0.684	t_t	زمان خالص Pure time
0.003	-2.97	3.62	ثابت Constant	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production
0.00	23.76	0.109	قطر Diameter	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production
0.00	37.10	3.14	ثابت Constant	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production
0.00	16.84	3.45	قطر Diameter	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production
0.00	13.02	0.377	ثابت Constant	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production
0.00	36.41	0.414	حجم Volume	132	0.00	1325.85	0.910	t_{tot}	تولید ساعتی Hourly production

جدول ۷- مقدار مربوط به هزینه‌های ثابت، متغیر و کارگری در پژوهش

Table 7. The amount related to fixed, variable and labor costs in the study

مقدار هزینه (ریال) Cost amount (Rials)	عامل هزینه Cost factor
60000000	سرمایه‌گذاری اولیه Purchase price
6000000	ارزش اسقاطی Salvage value
۴ سال 4 years	عمر مفید Service life Years
۱۵۰۰ ساعت 1500 hours	کارکرد سالیانه Annual use
۱۸ درصد 18 percent	نرخ بهره Interest
6912000	ارزش سرمایه‌گذاری سالیانه Annual investment value
10800000	استهلاک Depreciation
2430000	بیمه و مالیات Tax and Insurance
20142000	هزینه ثابت سالیانه Fixed annual cost
123250000	تعمیر و نگهداری (شامل هزینه تعمیر و تعویض تیغه، زنجیر، اسپرکت، شمع و دیگر تجهیزات مانند شکستگی موردی دسته و غیره) Maintenance (including the cost of repairing and replacing blades, chains, sprockets, spark plugs and other equipment such as broken handles and etc.)
306000000	روغن و سوخت Fuel and lubricant
429250000	هزینه متغیر سالیانه Annual variable cost
89878400	هزینه بالاسری (۲۰ درصد مجموع هزینه‌ها) Overhead and profit (20% of the total costs)
2100000000	دستمزد کارگر (اره‌موتورچی و کمک اره‌موتورچی) Labour cost (Chainsaw operator and assistant chainsaw operator)
1747514	هزینه واحد تولید در ساعات کار تولید Production unit cost in production hours
1310635	هزینه تولید در ساعات کار برنامه ریزی شده Production cost in scheduled working hours
13.44 – 17.28	تولید ساعتی ناخالص / خالص (مترمکعب) Gross productivity / productivity (m ³)
101129 – 130023 0.32\$-0.25\$	هزینه واحد تولید خالص / ناخالص (ریال/دلار) Productivity/gross productivity unit cost (Rial/dollar)

بحث

قطع درخت با ارموتوری یک فعالیت بسیار مخاطره-آمیز و پیچیده محسوب می‌شود که به عنوان شروع چرخه بهره‌برداری از جنگل بسیار مهم بوده و نیازمند توجه ویژه بخش مدیریت جنگل در این قسمت است (Rahimi et al., 2018; Nikooy et al., 2016)، چون هرگونه کوتاهی در این بخش دیگر عملیات بهره‌برداری را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد.

توسعه مدل‌های ریاضی برای تعیین بهره‌وری کار قطع درختان با ارموتوری به مدیران جنگل کمک می‌کند تا منابع انسانی و مادی موردنیاز برای برنامه‌ریزی عملیات برداشت چوب را فراهم نمایند تا فرآیند برداشت چوب در زمان مناسب و با حداقل تأثیر بر بوم‌سازگان جنگل انجام شود (Campu and Ciubotaru, 2017). مدل تولید و هزینه و ساختار زمان کار مورد استفاده در این پژوهش در شبیه‌سازی عملیات قطع در شرایط یکسان مفید بوده و راهنمای مناسبی برای آموزش ارموتورچی‌ها خواهد بود. در این پژوهش از یک گروه قطع استفاده شده است و به همین دلیل اثر تغییر نیروی انسانی بر متغیرهای تحقیق حذف شده است. یافته‌های قبلی پژوهش تولید و هزینه نشان داده بود که در شرایط کاری یکسان گروه‌های کاری مختلف به نتایج متفاوتی دست پیدا می‌کنند و کارگران جنگل تأثیر زیادی بر روی بهره‌وری در بیشتر کارهای مربوط به جنگل دارند (Gullberg, 1995). در این پژوهش متغیرهایی مانند قطر درختان، حجم درختان و فاصله بین درختان بر روی زمان مراحل مختلف قطع درخت تأثیرگذار بودند (Hamedi Ghazi et al. (2016)، (Sobhani et al. (2007)، (Nikooy et al. (2008)، (Wang et al. (2004) و (Uotila et al. (2014) هم در تحقیقات خود اثر قطر برابرسینه، فاصله بین درختان، شدت برداشت و نوع گونه را بر روی زمان قطع مؤثر

دانسته‌اند. پردازش هر جزء از قطع درخت نسبت به متغیر مستقل قطر برابرسینه درخت نشان داد که مراحل بن‌زنی و بن‌بری بیشترین مقدار تغییرات را با افزایش قطر نشان داده‌اند. نتایج پژوهش (Lortz et al. (1997 نشان داد که با افزایش قطر درخت، تولید ساعتی گروه قطع افزایش می‌یابد. با توجه به رابطه مستقیم قطر و حجم درخت با افزایش قطر، حجم درخت هم افزایش یافته و موجب افزایش تولید ساعتی سیستم می‌شود. نتایج فوق در پژوهش (Lortz et al. (1997، (2007) Session و (Wang et al. (2004 مورد تأکید قرار گرفته است. فاصله بین درختان از متغیرهایی است که با افزایش آن زمان فاصله طی شده بین درختان افزایش می‌یابد و در مجموع بر روی زمان کل قطع تأثیر می‌گذارد (Soenarno et al. 2022). (2013) et l. Jourgholami هم به نقش فاصله در زمان قطع درخت اشاره کرده است. بخش مهمی از زمان کار به تأخیرهای فنی مانند تیز کردن زنجیر ارموتوری، پاره شدن زنجیر و نیاز به زنجیر یدک، خارج شدن زنجیر از شیار تیغه، تأخیرهای اجرایی مانند مدیریت و سازماندهی کار، نظارت، فراهم نبودن وسایل لوازم و ابزار کار و تأخیرهای شخصی ارموتورچی مانند تلفن‌زدن، استراحت‌های فیزیولوژیک، سیگار کشیدن، خوردن میان‌وعده‌های غذایی، نوشیدن آب و غیره اختصاص یافت. تأخیرهایی مربوط به تعمیر و نگهداری ارموتوری و همچنین سوخت‌گیری به گروه قطع در انجام بهینه عملیات قطع کمک می‌کند و در نتیجه بخش مهمی از کل زمان کار هستند و به سختی می‌توان آنها را کاهش داد. تعمیر و نگهداری و سوخت‌رسانی تضمین می‌کند که ارموتوری به‌صورت بهینه کار کند. برخی از تأخیر فنی، اجرایی و شخصی را می‌توان با سازماندهی و برنامه‌ریزی بهتر عملیات کاهش داد (Campu and Ciubotaru, 2017). مقدار تولید ساعتی خالص و

نوبت قطع را به خود اختصاص دادند. با توجه به اینکه انجام برش بن‌زنی با دو برش فوقانی و تحتانی انجام می‌شود؛ بالا بودن سهم این جزء از عملیات قطع منطقی به نظر می‌رسد ولی انجام بن‌زنی‌های عمیق زمان این جزء را اندکی افزایش داد. مخروبه بودن عرصه جنگلکاری همراه با وجود درختچه‌هایی مانند ازگیل، ولیک و رویش تمشک، آقطی شرایط را برای تردد اره-موتورچی سخت کرده و زمان حرکت بین درختان را افزایش داد. مهم‌ترین دلیل افزایش تأخیرهای شخصی، نظارت نامناسب و ناهماهنگی در بخش‌های مختلف است که با نظارت درست می‌توان مقدار آن را کاهش داد. تولید خالص و ناخالص ساعتی اره-موتوری موردبررسی به ترتیب $17/28 \pm 6/22$ و $13/44 \pm 5/30$ مترمکعب در ساعت بود. زمان یک نوبت قطع بیشتر تحت تأثیر قطر درختان مقطوعه بود. هزینه واحد تولید خالص و ناخالص به ترتیب 74616 و 124378 ریال ($0/18$ دلار و $0/3$ دلار) بود. روش پژوهش مورد استفاده در این مقاله مبتنی بر استفاده از یک گروه کاری قطع بود و ساختار زمان کار هم رویکرد جدیدی را به این مشکل نشان داد و هم امکان شناسایی عوامل مؤثر بر زمان قطع و عوامل تأثیرگذار بر آن را مشخص کرد. توسعه مدل‌های ریاضی برای تعیین بهره‌وری کار در طول عملیات قطع درختان می‌تواند به مدیران جنگل کمک کند تا منابع انسانی و مواد مورد نیاز برای برنامه‌ریزی کار را انتخاب نمایند. مدل‌ها و نتایج ارائه شده در این پژوهش می‌تواند به‌طور کلی به مدیران جنگل کمک کند تا عوامل مؤثر بر بهره‌وری و هزینه در مراحل مختلف کاری را بهتر درک کنند. می‌توان از آن برای سازماندهی مجدد و برنامه‌ریزی کار جنگل برای پاسخگویی به نگرانی‌های اقتصادی استفاده کرد.

ناخالص به ترتیب $13/44$ و $17/28$ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید خالص و ناخالص به ترتیب $0/25$ دلار و $0/32$ دلار) بود. (Hamedi Ghazi et al. (2016) با بررسی تولید، هزینه قطع و تبدیل اولین عملیات تنک‌کردن در توده جنگلکاری شده (بررسی موردی: جنگل تیروم‌رود) دریافتند که مقدار تولید ساعتی به‌طور میانگین $2/8$ مترمکعب در ساعت و هزینه واحد تولید نیز به‌طور متوسط 61522 ریال ($0/2$ دلار) بر مترمکعب به‌دست آمد. نتایج پژوهش نشان داد که هزینه واحد تولید در عملیات قطع تا حد زیادی به اندازه درختان موردنظر و وضعیت شاخه‌دوانی درختان بستگی دارد. (Nikooy et al. (2008) در پژوهش خود هزینه و تولید گروه قطع در جنگل‌های اسالم را مورد ارزیابی قرار دادند نتایج نشان داد که تولید ساعتی گروه قطع به-صورت خالص و ناخالص به ترتیب $84/2$ و $66/5$ مترمکعب در ساعت و هزینه قطع هر درخت با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب 23343 و 18424 ریال ($0/25$ دلار و $0/20$ دلار) بود. (et al. (2007) Sobhani در تحقیق خود در جنگل آموزشی پژوهشی خیرودکنار نوشهر (بخش پاتم) با عنوان بررسی مقدار تولید و هزینه‌های قطع درختان به‌طور متوسط مقدار تولید ساعتی برای اکیپ سه نفره قطع هفت اصله درخت در ساعت و هزینه روزانه آنها 309785 ریال ($3/33$ دلار) برآورد کردند.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی کار گروه قطع با اره-موتوری MASHOUF PSI 9700 نشان داد که حداقل زمان لازم برای قطع درختان (با قطر $32/33 \pm 7/29$) با اره-موتوری مورد بررسی با و بدون احتساب زمان‌های تأخیر به ترتیب $3/75$ و $2/73$ دقیقه بود. بن‌زنی ($30/08$ درصد)، حرکت بین درختان (16 درصد) و تأخیرهای شخصی بیشترین زمان یک

References

- Borz, S.A.; Birda, M.; Ignea, G.; Popa, B.; Campu, V.R.; Iordache, E.; Derczeni, R.A., Efficiency of a Woody 60 processor attached to a Mounty 4100 tower yarder when processing coniferous timber from thinning operations. *Annals of Forest Research* **2014**, *57*, 333–345.
- Borz, S.A.; Dinulica, F.; Birda, M.; Ignea, G.; Ciobanu, V.D.; Popa, B., Time consumption and productivity of skidding silver fir (*Abies alba* Mill.) round wood in reduced accessibility conditions (a case study: in windthrow salvage logging from Romanian Carpathians). *Annals of Forest Research* **2013**, *56*, 363–375.
- Borz, S.A.; Talagai, N.; Cheța, M.; Chiriloiu, D.; Gavilanes Montoya, A.V.; Castillo Vizuet, D.D.; and Marcu, M.V., Physical strain, exposure to noise and postural assessment in motor-manual felling of willow short rotation coppice: Results of a preliminary study. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2019**, *40* (2), 377–388.
- Calvo, A.; Deboli, R.; Preti, C.; De Maria, A., Daily exposure to hand arm vibration by different electric olive beaters. *Journal of Agricultural Engineering*, **2014**, *45* (3), 103–110.
- Câmpu, V.R.; Ciubotaru, A., Time consumption and productivity in manual tree felling with a chainsaw (a case study of resinous stands from mountainous areas). *Silva Fennica* **2017**, *51* (2), p.1657.
- Dimou, V.; and Symeonidou, M., Evaluating the effectiveness productivity of motor-manual felling with a catalytic chainsaw. *International Scientific publication* **2019**, *13*, 187–198.
- Ghaffariyan, M.R., Review of studies on motor-manual felling productivity in eucalypt stands. *Silva Balcanica* **2021**, *22*(1), 77–87.
- Gullberg T., Evaluating operator-machine interactions in comparative time studies. *Journal of Forest Engineering* **1995**, *7* (1): 51–61
- Hamed Ghazi, P.; Mousavi Mirkala, S.; & Samadi, A., Study on production, felling and processing costs of first thinning operation in a reforested stand (case study: Tyrum road). *Forest Research and Development* **2016**, *2* (2), 153–165. (In Persian)
- Jourgholami, M.; Majnounian, B.; & Zargham, N., Performance, capability and costs of motor-manual tree felling in Hyrcanian hardwood forest. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2013**, *34* (2), 283–293. (In Persian)
- Jourgholami, M.; Majnounian, B.; and Egthesadi, A., Traditional wood processing (Lumber) method in forest; production, costs and value loss (case study: Namkhaneh District). *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2012**, *18* (4), 111–130. (In Persian)
- Kanawaty G., Introduction to work study (4th edition). International Labour Office, Geneva **1992**, 524 p.
- Klepac, J.F.; and Rummer, R.B., Smallwood Logging Production and Costs—Mechanized vs Manual. In 2002 ASAE Annual Meeting **2002**, (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Latterini, F.; Venanzi, R.; Stefanoni, W.; Sperandio, G.; Suardi, A.; Civitarese, V.; and Picchio, R., Work Productivity, Costs and Environmental Impacts of Two Thinning Methods in Italian Beech High Forests. *Sustainability* **2022**, *14* (18), p.11414.
- Li, Y.; Wang, J.; Miller, G.; and McNeel, J., Production economics of harvesting small-diameter hardwood stands in central Appalachia. *Forest Products Journal* **2006**, *56* (3): 81–86, 56(3).
- Lortz, D.; Kluender, R.; McCoy, W.; Stokes, B., and Klepac, J., Manual felling time and productivity in southern pine forests. *Forest Products Journal*, **1997**, *47* (10), 59.
- Moskalik, T.; Borz, S. A.; Dvořák, J.; Ferencik, M.; Glushkov, S.; Muiste, P.; and Styranivsky, O., Timber harvesting methods in Eastern European countries: A review. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering* **2017**, *38* (2), 231–241.
- Mousavi, R.; Nikouy, M. and Uusitalo, J., Time consumption, productivity, and cost analysis of the motor manual tree felling and processing in the Hyrcanian Forest in Iran. *Journal of Forestry Research* **2011**, *22* (4), 665–669.
- Mousavi, S.R.; and Nikooy, M., Evaluation of tree forwarding by farm tractor in patch cutting of poplar plantations in Northern Iran. *Small-scale forestry* **2014**, *13* (4), 527–540.
- Naghdi, R.; Nikooy, M.; Mohammadi Limaie, S.; & Shormage, Y., Evaluation of felling

- productivity in Shafarood forest (Guilan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, 18 (3), 425-417. (In Persian)
- Nikooy, M., Hajatnia, M., Sotoudeh Foumani, B., and Mohammadi, E., Assessment of the log smuggling causes in Caspian forests, north of Iran. *Caspian Journal of Environmental Sciences* **2021**, 20 (2), 243-251.
- Nikooy, M.; Sobhani, H.; Majnonian, B.; Marvi Mohajer, M.R.; Fegghi, J., Study of Cost Production of Felling using Chainsaw in, Asalem Forest-Guilan, *Iranian Journal of Natural Resources* **2008**, 60 (4), 1357-1371. (In Persian)
- Nikooy, M.; Nourozi, Z.; Naghdi, R., Survey of felling and bucking operation's safety in Shafarood watershed. *Forest Research and Development* **2016**, 1 (3), 209-219. (In Persian)
- Rahimi, F.; Nikooy, M.; Ghajar, I., Ranking the dangers of working with chainsaw during felling operation. *Forest Research and Development*, **2018**, 4 (3), 401-413. (In Persian)
- Rauch, P.; Wolfsmayr, U.J.; Borz, S.A.; Triplat, M.; Krajnc, N.; Klock, M.; Oberwimmer, R.; Ketikidis, C.; Vasiljevic, A.; Stauder, M.; et al., SWOT analysis and strategy development for forest fuel supply chains in South East Europe. *Forest Policy and Economics* **2015**, 61, 87-94.
- Rizvandi, V.; and Jourgholami, M., Production and cost comparison of conventional and directional tree felling (Case study: in Kheyroud forest). *Iranian Journal of Forest* **2012**, 4 (1), 1-11. (In Persian)
- Safarzadeh, B., Nikooy, M., Petros, A. T., Arman, Z., & Tavankar, F. Assessing the impact of log manual loading on the physiological load in forest workers. *Forest Research and Development* **2023**, 9 (2), 175-187. (In Persian)
- Sessions, J. Harvesting operations in the tropics. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. **2007**; 170.
- Sobhani, H.; Ghaffarian, M.R.; and Khakzade Rostamim m.J., Study of the Production and Cost of Tree Felling in Patom Section at Kheyroudkenar Forest Education and Research Station, *Journal of the Iranian Natural Resources* **2007**, 60 (2), 485-491. (In Persian)
- Soenarno, Dulsalam, Yuniawati, Suhartana, S.; Gandaseca, S.; Rochmayanto, Y.; & Andini, S., Working Time, Productivity, and Cost of Felling in a Tropical Forest (A Case Study from Wijaya Sentosa's Forest Concession Area, West Papua, Indonesia). *Forests* **2022**, 13 (11), 1789.
- Suhartana, S.; Gandaseca, S.; Rochmayanto, Y.; Supriadi, A.; and Andini, S., Working Time, Productivity, and Cost of Felling in a Tropical Forest (A Case Study from Wijaya Sentosa's Forest Concession Area, West Papua, Indonesia). *Forests* **2022**, 13 (11), p.1789.
- Uotila K.; Saksa T.; Rantala J.; Kiljunen N., Labour consumption models applied to motormanual pre-commercial thinning in Finland. *Silva Fennica* **2014**, 48 (2), 1-14.
- Wang, J.; Long, C.; McNeel, J.; and Baumgras, J., Productivity and cost of manual felling and cable skidding in central Appalachian hardwood forests. *Forest Products Journal* **2004**, 54 (12): 45-51.

Productivity and cost of clear-cutting operations utilizing the MASHOUF PSI 9700 chainsaw model in a poplar plantation located in the western part of Guilan Province

Fereshteh Rahimi Bitam¹, Mehrdad Nikooy^{*2}, Mahmoud Heidari³ and Petros A. Tsioras⁴

1- Ph.D. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, I. R. Iran. (fereshtehrahimi2000@gmail.com)

2- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh Sara, I. R. Iran. (nikooy@guilan.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Guilan University of Medical Sciences, I. R. Iran. (mheidari1360@gmail.com)

4- Assistant professor, Lab of Forest Utilization, Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki, POB 227, Thessaloniki, Greece. (ptsioras@for.auth.gr)

Received: 28 June 2023

Accepted: 17 October 2023

Abstract

Background and objectives: Nowadays, chainsaws remain the primary main tool for wood harvesting in the world due to their multifunctionality and the relatively low requirements in financial investment. Another reason is that chainsaws provide high workability, enhancing efficiency and productivity, at reduced felling costs. The felling of poplar stands in the west of Guilan Province is carried out semi-mechanically using chainsaws within a clear-cutting silviculture system. Productivity and cost are two main factors that affect the selection of wood harvesting systems, whose tree felling consists an element of paramount importance, most notably its duration. The purpose of this study was to assess the productivity and cost of clear-cutting operations in a poplar plantation located in the western part of the Guilan Province, using the MASHOUF PSI 9700, a short-bladed chainsaw model with a bar length of 50 cm.

Methodology: The research was conducted in the Tanyan district, which is located in the western part of Guilan province. A work team, consisting of a chainsaw operator and a helper, was used during the study. The selected work team was chosen as representative of the average skill level of the workers in the region. The chainsaw selected for this research, the MASHOUF PSI 9700 model featuring a cylinder displacement of 54 cm³ a power output of 2.2 KW, and a weight of 5.1 kg excluding equipment, had been in operation for about 2000 hours, which is the average life span of a product of this category. Over the years, the research on consumption time has focused especially on establishing the relationship between work efficiency and productivity carried out considering various equipment and wood harvesting factors. Analysis of work time consumption and productivity in chainsaw operations is an important concern of sustainable harvest management. A time study was performed to calculate the hourly productivity rate. Felling time was classified into two categories, namely effective time and delay time. Effective time consisted of (a) Moving towards the tree, (b) Felling preparation, (c) Under cut, (d) Back cut and (e) Refueling. Moreover, the delay times fell into (a) Rest time or personal time, (b) Operational delays, and (c) Technical delays. The total fixed cost was obtained considering the chainsaw purchase value, the sum of the annual investment, the depreciation, the insurance and taxes. Variable costs were also calculated considering the hourly expenditure on fuel cost, maintenance as in the cases of chain and sprocket replacement, etc. The sum total of costs included fixed, variable and labor costs. The data was initially processed using Excel 2013 software and then analyzed using the SPSS statistical software version 18 to determine the distribution and ratio of work interruption time according to the factors affecting it. Regression analysis was conducted to explore the relationship between the factors affecting the total cut-off time.

Results: A total of 133 trees were felled amounting to a volume of 109.06 m³. The total work time consumed for felling operations was 500.21 minutes. Of the total working time, 41.42% was allocated to main work tasks. Supplementary work, such as moving between trees and driving wedges, accounted

* Corresponding author

Tel: +989117815510

for 8.84% of felling time, while preparatory tasks, including moving between workplaces and preparation activities, constituted 15.29%. Repair time accounted for 9.60% of the total time, while delays and downtime occupied 15.74%. Additionally, 9.09% of the time was spent on non-workplace activities. The majority, 71% of the delays were linked to personal delays, of which 80.7% were related to lunchtime breaks and 19.93% to other personal delays. Operational and technical delays accounted for 10% and 19% of total delays, respectively. Increases in the diameter of the felled trees, resulted in increases to both the net felling time and the net production of the felling team. Furthermore, an increase in the diameter decreased the production cost. The results showed that the average time consumed per tree for felling were 2.73 min of effective time vs 3.75 min of gross time, and net hourly productivity amounted to 17.28 m³ per hour vs 13.44 m³ per hour found for the gross hourly productivity, and the unit cost of net production was 0.25 USD vs 0.32 USD for the gross production, respectively. The statistical analysis exhibited a highly significant correlation between work element times (measured in minutes) and various factors, including the diameter of the tree at breast height, tree volume (measured in m³), and the distance between trees (measured in m).

Conclusion: By developing mathematical models of working time for various chainsaw models, chainsaws, the performance of the felling teams can be increased, and a more equitable remuneration of the forest workers is made possible. The results of the present study can support decision making regarding the work rates, work schedules, and cost estimation. The models and results presented in this study can generally assist forest managers to better understand the factors affecting productivity and cost during different work elements with the aim to reorganize and plan forest work to meet economic concerns.

Keywords: Wood production, Poplar plantation, Biomass, Wood harvesting, Time study.

بررسی مدل‌های قطر - ارتفاع بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) در جنگل‌های دانه‌زاد زاگرس میانیپیمان امیری^۱، جواد سوسنی^{۲*} و حامد نقوی^۳

۱- دانشجوی دکتری مدیریت جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (peyman.amiri67@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (soosani.j@lu.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (naghavi.ha@lu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۷

چکیده

مقدمه و هدف: برای مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی اصولی منابع جنگلی به اطلاعات کارآمد و باکیفیتی از وضعیت حال و آینده جنگل نیازمند است. جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ناحیه‌های رویشی ایران، تأثیر بسیار مهمی در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی در کل کشور دارند، از این‌رو، حفاظت و مدیریت پایدار این بوم‌سازگان‌های جنگلی به دغدغه اصلی محققان و مدیران در این ناحیه رویشی تبدیل شده است. گونه غالب این جنگل‌ها، گونه بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) است. این گونه بر حسب شرایط جغرافیایی و محیطی دارای رویشگاه‌های متنوعی در ناحیه رویشی زاگرس میانی است. با توجه به جایگاه ارشمنند گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس، اهمیت توسعه پژوهش‌های هرچه بیشتر در رابطه با این گونه امری ضروری است. مشخصه‌های قطر و ارتفاع درخت از مهم‌ترین مؤلفه‌های موردنیاز در آماربرداری جنگل هستند. این متغیرها از اصلی‌ترین متغیرها برای اندازه‌گیری خصوصیات ظاهری درختان جنگلی بوده و در مواردی از جمله تعیین حجم و ترسیم منحنی ارتفاع کاربرد دارند. با توجه به این‌که اندازه‌گیری ارتفاع تمام درختان جنگلی عملیاتی زمان‌بر و پرهزینه است، از این‌رو، استفاده از مدل‌های قطر و ارتفاع برای برآورد ارتفاع درختان توسعه پیدا کرده است. هدف از این پژوهش بررسی مدل‌های خطی و غیرخطی قطر - ارتفاع گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های دانه‌زاد زاگرس میانی برای دستیابی به پاسخ این سوال که آیا امکان برآورد ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی به‌عنوان تابعی از قطر برابرسینه در این ناحیه رویشی وجود دارد یا خیر.

مواد و روش: این پژوهش در منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه لرستان انجام شد. پوشش درختی غالب این منطقه مانند دیگر مناطق زاگرس از بلوط تشکیل شده است اما به گیاهان و درختان دیگری نظیر زالزالک، بادام

کوهی، گون و غیره می‌توان در آن اشاره کرد. برای انجام این پژوهش با انجام جنگل‌گردشی‌های متعدد و شناخت جنگل‌های منطقه، توده‌ای به مساحت تقریبی پنج هکتار که دارای ساختار رویشی دانه‌زاد بود انتخاب شد. در توده جنگلی انتخاب شده، مشخصه‌های قطر برابرسینه و ارتفاع کل تمامی درختان بلوط ایرانی که قطر برابرسینه بیش از ۱۲/۵ سانتی‌متر، مورد آماربرداری ۱۰۰ درصد قرار گرفت. در مجموع قطر برابرسینه و ارتفاع کل تعداد ۶۴۲ اصله درخت بلوط ایرانی اندازه‌گیری شد. برای برازش داده‌های قطر برابرسینه و ارتفاع درختان از مدل‌های خطی و غیرخطی استفاده شد که شامل انواع مدل‌های نمایی، توانی، تراکم - محصول، رویش، سیگموییدی و دیگر توابع است. در این پژوهش ۸۰ درصد داده‌ها در فرآیند مدل‌سازی و ۲۰ درصد برای ارزیابی به‌کار گرفته شدند. همچنین برای برازش داده‌ها و برآورد شاخص‌های هر یک از مدل‌ها از نرم‌افزار Curve Expert Professional استفاده شد. در فرآیند مدل‌سازی، داده‌های قطر به‌عنوان متغیر مستقل و داده‌های ارتفاع به‌عنوان متغیر وابسته بکار گرفته شدند. برای صحت‌سنجی مدل‌ها، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و اریبی (Bias) به‌صورت مطلق و نسبی و نیز ضریب تبیین (R^2) و معیار اطلاعات آیک (AIC) به‌عنوان شاخص‌های اعتبارسنجی محاسبه شدند.

یافته‌ها: براساس بررسی آماره‌های توصیفی درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی میانگین، کمینه و بیشینه قطر برابرسینه به ترتیب ۴/۴۲، ۵/۱۲ و ۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع به ترتیب ۳/۶، ۲/۱ و ۱۷ متر بود. مدل‌های استفاده‌شده بر اساس مقادیر R^2 ، ۶۲ تا ۸۶ درصد از تغییرات کل ارتفاع درختان را توجیه کردند. نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های قطر - ارتفاع درختان نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard به‌ترتیب دارای بالاترین ضریب تبیین (۰/۸۶، ۰/۸۶، ۰/۸۶)، کمترین اشتباه معیار (۱/۳۰۷، ۱/۳۰۷، ۱/۳۰۷) و معیار اطلاعات آیک (۲۷۷/۰۴، ۲۷۷/۱۳، ۲۷۷/۰۳) بودند. نتایج حاصل از معیارهای استفاده‌شده برای اعتبارسنجی مدل‌های به‌کار رفته نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard با RMSE به‌ترتیب ۲۲/۲۰، ۲۲/۱۹ و ۲۲/۲۰ درصد و نیز MAE به‌ترتیب ۱۶/۶۹، ۱۶/۷۴ و ۱۶/۷۹ درصد بهتر توانستند مشخصه ارتفاع درختان را برآورد کنند. با توجه به نتایج ذکرشده مشخص شد که سه مدل Gompertz، MMF و Richard در مقایسه با دیگر مدل‌ها از توانایی بالاتری در برآورد مشخصه ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی برخوردار هستند.

نتیجه‌گیری کلی: در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های خطی و غیرخطی توانایی برآورد ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی را در ناحیه رویشی زاگرس میانی دارند، که از میان این مدل‌ها سه مدل غیرخطی Gompertz، MMF و Richard بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد از دقت بالاتری برخوردار بودند. بنابراین این مدل‌ها می‌توانند در مناطق جنگلی ناحیه رویشی زاگرس میانی که دارای ساختار و شرایط رویشگاهی مشابهی با منطقه موردبررسی هستند مورداستفاده قرار گیرند. پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده از مدل‌های تعمیم‌یافته ارتفاع و قطر استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: رگرسین، بلوط ایرانی، مدل‌سازی، صحت‌سنجی، آماربرداری.

مقدمه

جنگل‌ها با ۴/۰۶ میلیارد هکتار حدود ۳۱ درصد از مساحت زمین را پوشش می‌دهند (Jafari et al., 2021)، برای انجام مدیریت پایدار و برنامه‌ریزی اصولی این منابع با ارزش، به اطلاعات کارآمد و باکیفیتی از وضعیت حال و آینده آنها نیاز است. جنگل‌های زاگرس از نظر بوم‌شناختی و اقتصادی از مهم‌ترین زیست‌بوم‌های کشور محسوب می‌شوند (Eshgh nimvari et al., 2003)، وجود گونه‌های متنوع گیاهی و جانوری، جنگل‌های زاگرس را متمایز از دیگر مناطق جنگلی ساخته و توجه بیشتر پژوهشگران علوم زیستی را به خود معطوف ساخته است (Zeynali Yadegari and Seyed, 2019). این جنگل‌ها تأثیر بسیار مهمی در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب و هوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی در کل کشور دارند (Rahimi et al., 2020). از این رو، حفاظت و مدیریت پایدار بوم‌سازگان‌های جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس به دغدغه اصلی محققان و مدیران در این ناحیه رویشی تبدیل شده است (Salmani et al., 2021). در جنگل‌های زاگرس به‌طور کلی سه گونه عمده بلوط به نام‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، دارمازو (*Q. infectoria*) و ویول (*Q. libani*) وجود دارد که گسترده‌ترین آنها گونه بلوط ایرانی است. این گونه در همه ارتفاعات، شیب‌ها و جهت‌های جغرافیایی و حتی انواع خاک و اقلیم رشد و پراکنش دارد (Fattahi, 1994) اما در اثر تخریب‌های بی‌رویه از فرم دانه‌زاد به فرم شاخه‌زاد تبدیل شده است و تنها در مناطق سخت‌گذر و عوارض طبیعی فرم دانه‌زاد آن باقی مانده است. با توجه به جایگاه ارزشمند گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس، اهمیت توسعه پژوهش‌های هرچه بیشتر در رابطه با این گونه امری ضروری است. مشخصه‌های قطر و ارتفاع درخت از مهم‌ترین مؤلفه‌های مورد نیاز در آماربرداری

جنگل هستند. این متغیرها از اصلی‌ترین متغیرها برای اندازه‌گیری خصوصیات ظاهری درختان جنگلی بوده و در مواردی از جمله تعیین حجم، ترسیم منحنی ارتفاع، محاسبه ضرایب شکل و قدکشیدگی، شاخص رویشگاه، شبیه‌سازی جنگل، بررسی نظریه رشد درختان و مواردی از این دست کاربرد دارند (Ahmadi et al., 2014). روش‌های زیادی مانند انواع روش‌های رگرسیون خطی و غیرخطی، منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی و غیره برای ارزیابی داده‌ها وجود دارد که به کمک آنها می‌توان به ارتباط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته دست یافت (Bayat et al., 2020)، مدل‌های قطر - ارتفاع درخت نمونه‌ای از این روش‌ها است که یکی از کاربردی‌ترین ابزارها در مدیریت جنگل هستند (Mohammadi and Shataee, 2016). از آنجایی که اندازه‌گیری ارتفاع همه درختان زمان‌بر، پرهزینه و دشوار است، معمولاً تعداد کمی از درختان در عمل برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت نمونه‌برداری می‌شوند، درحالی که قطر به‌طور دقیق برای همه درختان در یک قطعه نمونه اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین، مدل‌های قطر - ارتفاع اغلب برای پیش‌بینی ارتفاع کل سایر درختان ایجاد می‌شوند. تاکنون مدل‌های قطر - ارتفاع متعددی ایجاد شده‌اند که این مدل‌ها به ویژگی‌های ژنتیکی، سن توده، شرایط رویشگاه، رقابت و غیره وابسته هستند (Xu et al., 2022). از این مدل‌ها به‌عنوان مدل‌های تجربی قطر - ارتفاع یا مدل‌های پایه قطر - ارتفاع نام برده می‌شود (Cui et al., 2022). به‌طور کلی در مدل‌های قطر - ارتفاع، تنها قطر درخت به‌عنوان متغیر پیش‌بینی - کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد، اگرچه متغیرهای دیگری نظیر سن توده، شاخص رویشگاه، سطح مقطع، ارتفاع غالب و قطر غالب نیز می‌توانند در این مدل معرفی شوند (Petras et al., 2014). این رابطه‌ها برای

گونه‌های درختی مختلف ایجاد می‌شوند و معمولاً به صورت خطی یا غیرخطی نمایش داده می‌شوند. نکته دارای اهمیت در مورد این معادلات این است که بین رویشگاه‌ها و مناطق مختلف و حتی در یک رویشگاه ثابت ولی در طی دوره‌های زمانی مختلف متفاوت هستند؛ بنابراین لازم است که این مدل‌ها برای یک بررسی جدید به‌روز شوند (Golob et al., 2018). در رابطه با مدل‌های قطر-ارتفاع درختان تاکنون بررسی‌های گسترده‌ای برای گونه‌های مختلف انجام شده است. Bolat et al. (2020) در پژوهشی به بررسی مدل‌های قطر-ارتفاع برای گونه *Quercus frainetto* در ترکیه پرداختند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل لجستیک نسبت به دیگر مدل‌ها از دقت بالاتری برخوردار است. Hamidi et al. (2021) رابطه بین قطر و ارتفاع گونه راش را در مازندران مورد بررسی قرار دادند و مدل‌های کورف، راتکوفسکی، نسلند و وایبول را مناسب‌تر تشخیص دادند. Wang and Lam (2021)، مدل‌های قطر - ارتفاع را بر روی گونه‌های *Acacia confusa*، *Pistacia chinensis* و *Fraxinus griffithii* در تایوان مورد پژوهش قرار دادند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل ویکوف مدل مناسب‌تری است. Aishan et al. (2016) روی مدل‌سازی قطر-ارتفاع گونه *Populus euophatica* در جنگل‌های کران‌رودی چین کار کردند، نتایج بررسی آنها نشان داد که مدل پرودان دقت بالاتری در مقایسه با دیگر مدل‌ها دارد. Ahmadi et al. (2013) در پژوهشی به بررسی مدل‌های غیرخطی قطر - ارتفاع برای گونه راش شرقی در جنگل‌های هیرکانی پرداختند، نتایج پژوهش آنها نشان داد که مدل چمپن - ریچاردز دقت بالاتری در پیش‌بینی ارتفاع درختان دارد. نظر به این‌که گونه بلوط ایرانی دارای بیشترین وسعت در ناحیه رویشی زاگرس بوده و همچنین از آنجایی که فرم رویشی این درختان حالت دانه‌زاد و تک‌پایه بوده

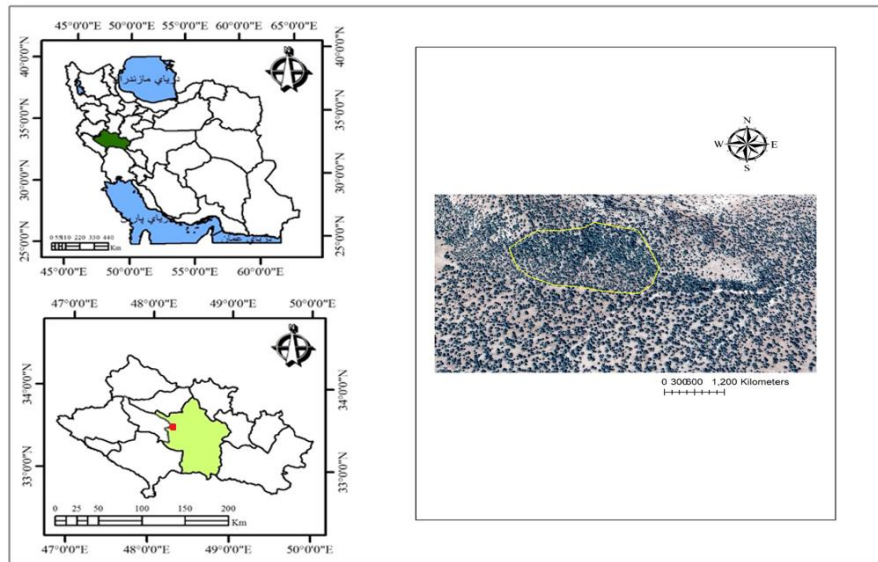
است که در دهه‌های اخیر به‌علت تخریب‌های گسترده بیشتر به شکل شاخه‌زاد تبدیل شده‌اند، چنانچه بخواهیم در غالب عملیات مدیریتی صحیح ساختار پایداری در این جنگل‌ها برقرار کنیم، می‌بایست مدیریت توده‌ها را به‌نحوی انجام دهیم که به سمت ساختار دانه‌زاد برگردد. از این‌رو، استخراج اطلاعات کمی و روابط آلومتریک در معدود توده‌های دانه‌زاد باقی‌مانده بسیار اهمیت دارد. هدف اصلی این پژوهش عبارت است از آزمون برازش مدل‌های خطی و غیرخطی به داده‌های قطر برابرسینه و ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی و انتخاب بهترین مدل بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد مدل برای دستیابی به پاسخ این سوال که آیا امکان برآورد ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی به‌عنوان تابعی از قطر برابرسینه در ناحیه رویشی زاگرس میانی وجود دارد یا خیر.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه لرستان، واقع در طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 43'$ تا $48^{\circ} 18'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ} 30'$ تا $33^{\circ} 48'$ شمالی انجام شد. منطقه حفاظت‌شده سفیدکوه به وسعت ۶۹۵۰۰ هکتار بین دامنه ارتفاعی ۳۱۷۰-۱۰۸۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است و طول تقریبی آن ۶۰ کیلومتر است. متوسط بارندگی و دمای متوسط سالیانه ۶۰۰ میلی‌متر و ۱۱ درجه سانتی‌گراد، منطقه را دارای اقلیم مدیترانه‌ای معتدل نموده است. سفیدکوه به‌علت شرایط خاص توپوگرافی و وجود رودخانه‌های پرآبی نظیر کریمه و کشکان یکی از مهم‌ترین زیستگاه‌های جانوری در غرب کشور به‌حساب می‌آید؛ به‌طوری‌که ۲۷۲ گونه گیاهی و ۱۳۸ گونه جانوری در آن شناسایی شده است. پوشش درختی غالب این منطقه مانند دیگر

مناطق زاگرس از بلوط تشکیل شده‌است اما به گیاهان و درختان دیگری نظیر بنه، گیلان وحشی، خینجک، زالزالک، بادام کوهی، گون و غیره می‌توان در آن اشاره کرد (Delpasand et al., 2017). شکل ۱ موقعیت منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی توده‌های مورد بررسی

Figure 1. Geographical location of the investigated stands

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش با انجام جنگل‌گردشی‌های متعدد و شناخت جنگل‌های منطقه، توده‌ای به مساحت تقریبی پنج هکتار که دارای ساختار رویشی دانه‌زاد بود انتخاب شد. در توده جنگلی انتخاب شده، مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع کل تمامی درختان بلوط ایرانی که قطر برابر سینه آنها بیشتر از ۱۲/۵ سانتی‌متر بود مورد آماربرداری ۱۰۰ درصد قرار گرفت. در مجموع قطر برابر سینه و ارتفاع کل تعداد ۶۴۲ اصله درخت بلوط ایرانی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر برابر سینه از خط‌کش دوبازو و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان از دستگاه ارتفاع‌یاب لیزری TruPulse 360 استفاده شد.

تحلیل‌های آماری

تجزیه و تحلیل کمی داده‌های قطر و ارتفاع از طریق نرم-افزار SPSS-26 انجام شد (Aleml et al., 2021). برای

تشخیص داده‌های پرت از رسم نمودار جعبه‌ای و پراکنش باقی‌مانده‌ها در برابر مقادیر مشاهده‌شده استفاده شد. نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف سنجیده شد. برای برازش داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان از مدل‌های خطی و غیرخطی استفاده شد که شامل انواع مدل‌های نمایی، توانی، تراکم - محصول، رویش، سیگموئیدی و سایر توابع است (جدول ۱). مدل‌های نمایی یا لگاریتمی بیشتر دارای شکل محدب یا معقر بوده ولی بعضی از این مدل‌ها دارای یک نقطه عطف و یک کمینه و بیشینه هستند. مدل‌های توانی دارای یک یا چند شاخص به‌عنوان توان متغیر مستقل بوده و البته در بعضی از موارد مانند مدل خود متغیر مستقل به‌عنوان توان یک شاخص مشخص قرار می‌گیرد، این مدل‌ها معمولاً مجموعه‌ای از منحنی‌های محدب و معقر هستند که دارای نقاط

نزدیک می‌شود (Alijani et al., 2020). در این بررسی تعدادی از مدل‌ها در هیچکدام از طبقه‌بندی‌های ذکر شده قرار نگرفتند که تحت عنوان دیگر توابع در جدول ۱ قرار گرفتند. در این پژوهش ۸۰ درصد داده‌ها در فرآیند مدل‌سازی و ۲۰ درصد برای ارزیابی به کار گرفته شدند، همچنین برای برازش داده‌ها و برآورد شاخص‌های هر یک از مدل‌های یاد شده (a, b, c, d) از نرم‌افزار Curve Expert Professional که یک نرم‌افزار جامع برای برازش منحنی‌ها است استفاده شد (Hyams, 2010). در فرآیند مدل‌سازی داده‌های قطر به عنوان متغیر مستقل و داده‌های ارتفاع به عنوان متغیر وابسته بکار گرفته شدند.

عطف و کمینه و بیشینه هستند (Alijani et al., 2020). مدل‌های تراکم - محصول دارای کارکردهای متنوعی در علوم کشاورزی هستند، این مدل‌ها دارای دو شکل مجانب و سهمی شکل هستند. مدل‌های رویش که توسط یک رشد یکنواخت از یک ارزش خاص به یک خط مجانب توصیف می‌شوند؛ در علوم مربوط به مهندسی کاربرد گسترده‌ای دارند. از دیگر مدل‌های استفاده شده در این پژوهش مدل‌های سیگموییدی هستند که زیر مجموعه‌ای از مدل‌های رشد بوده و تحت عنوان مدل‌های S نامیده می‌شوند، این مدل‌ها از یک نقطه ثابت شروع شده و مقدار رشد آن به شکل یکنواخت تا رسیدن به یک نقطه عطف افزایش می‌یابد و سپس مقدار رشد به یک ارزش نهایی به شکل مجانب

جدول ۱- مدل‌های خطی و غیرخطی مورد استفاده (Hyams, 2010)

Table 1. Used linear and non-linear models (Hyams, 2010)

معادله Equation	شماره و نام مدل Model number and name	نوع مدل Model type
$y = a + bx$	1- Linear	خطی linear
$y = a + bx + cx^2$	2- Quadratic	
$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	3- Cubic	
$y = ae^{b/x}$	4- Modified expontial	نمایی Expontial
$y = a + b \ln x$	5- Logarithmic	
$y = e^{(a+b/x+c \ln x)}$	6- Vapor pressure	
$y = ae^{bx}$	7- Expontial	توانی Power
$y = ax^b$	8- Power	
$y = ax^{b/x}$	9- Modified Geometric	
$y = ab^x x^c$	10- Hoerl	
$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$	11- Harris	تراکم - محصول Yield density model
$y = a(1 - e^{-bx})$	12- Expontial Association	رویش Growth
$y = \frac{ax}{(b + x)}$	13- Saturation Growth Rate	
$y = ae^{-e^{b-cx}}$	14- Gompertz	سیگموییدی Sigmoidal
$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$	15- Logistic	
$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	16- MMF	

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

معادله Equation	شماره و نام مدل Model number and name	نوع مدل Model type
$y = a - be^{-cx^d}$	17- Weibull	
$y = \frac{a}{(1 + e^{b-cx})^{1/d}}$	18- Richards	سیگموئیدی
$y = a/(1 + e^{b-cx})$	19- Ratkowsky	Sigmoidal

اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل

در پژوهش پیش‌رو برای صحت‌سنجی مدل‌های به‌دست آمده، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و اریبی (Bias) به صورت مطلق و نسبی و نیز ضریب تبیین (R^2) و معیار اطلاعات آیک (AIC) به عنوان شاخص‌های اعتبارسنجی محاسبه شد (رابطه‌های ۱ تا ۸). در این رابطه‌ها هرچقدر میزان RMSE%، MAE% و AIC کمتر باشد مدل‌ها از کارایی بالاتری برخوردار خواهند بود، در صورتی که BIAS% بین دو مقدار +۱۰ و -۱۰ درصد باشد مدل‌ها دقت قابل قبولی خواهند داشت، همچنین مقدار R^2 بین صفر تا یک است که هر چه به یک نزدیک‌تر باشد برازش مدل بهتر است (Bihamta and Chahouki, 2008).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}^i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$RMSE\% = RMSE/\bar{y} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$MAE\% = \frac{MAE}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$MAE = 1/n \sum |y_i - \hat{y}^i| \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Bias = \sum_{i=1}^n (\hat{y}^i - y_i) / n \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$Bias\% = \frac{Bias}{\bar{y}} \times 100 \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$AIC = 2K - 2\ln(L) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}^i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه‌ها، n تعداد نمونه‌ها، L لگاریتم درست نمایی مدل رگرسیون، K تعداد شاخص، y_i مقدار

مشاهده شده، $\hat{y}^i$ مقدار پیش‌بینی شده و $\bar{y}$ میانگین مشاهده شده است.

در ادامه بعد از بررسی اولیه مدل‌ها برای مقایسه بیشتر و بهتر، مدل‌ها از نظر معیارهای عملکرد رتبه‌بندی شدند. مدل‌های دارای کمترین مقادیر شاخص‌های اعتبارسنجی بالاترین رتبه را به خود اختصاص دادند، سپس میانگین رتبه هر مدل به دست آمد و مدلی که دارای کمترین میانگین رتبه بود به عنوان بهترین مدل تشخیص داده شد.

همچنین علاوه بر معیارهای مذکور، تفاوت‌های بین مقادیر واقعی ارتفاع با مقادیر برآورد شده داده‌های آزمون با استفاده از داده‌ها و مدل‌های مذکور نیز مقایسه شد. برای بررسی معنی‌دار بودن میانگین تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل‌های یاد شده، از آزمون تی جفتی استفاده شد.

در آخر فرض همگنی واریانس با رسم نمودار باقی‌مانده‌های آموزش در برابر ارتفاع پیش‌بینی شده با استفاده از نرم‌افزار Curve Expert Professional بررسی شد. این نمودار تفاوت بین نتایج و داده‌ها را به عنوان تابعی از یک متغیر مستقل نشان می‌دهد، همچنین نمودار باقی‌مانده‌ها یک تناسب خط مستقیم با نقاط باقی‌مانده را نشان می‌دهد؛ به طوری که این خط رگرسیونی نشان می‌دهد که آیا باقی‌مانده‌ها به سمت بالا یا پایین حرکت می‌کنند و یا این که به صورت منظم

پراکنش داشته که نشان‌دهنده ثبات واریانس و تناسب مدل مربوطه است (Hyams, 2010; Ahmadi et al., 2013).

نتایج

براساس بررسی آماره‌های توصیفی درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی میانگین، کمینه و بیشینه قطر برابر سینه به ترتیب ۴/۲، ۵/۱۲ و ۳/۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع به ترتیب ۳/۶،

۲/۱ و ۱۷ متر بود. بررسی آماره‌های توصیفی قطر برابر سینه و ارتفاع درختان نشان داد که دامنه تغییرات این مشخصه‌ها زیاد بود که این امر نشان‌دهنده کل دامنه مشخصه‌های کمی ساختار توده جنگلی مورد پژوهش است. همچنین این نتایج نشان داد که بین آماره‌های توصیفی کل داده‌ها و داده‌های آموزش و آزمون تفاوت زیادی وجود نداشت (جدول ۲).

جدول ۲- آماره‌های توصیفی مشخصه‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان

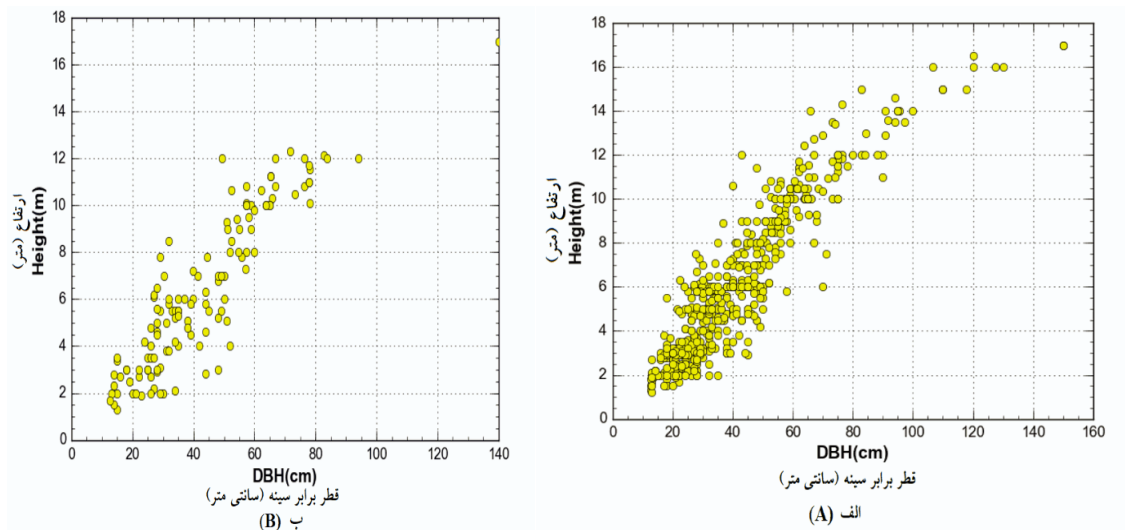
Table 2. Descriptive statistics of characteristics of DBH and height of trees

ارتفاع (متر) Height (m)			قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)			آماره‌های توصیفی Descriptive statistics
ارزیابی Evaluation	مدل Model	کل Total	ارزیابی Evaluation	مدل Model	کل Total	
6.41	6.28	6.3	43.16	42.26	42.44	میانگین Average
1.3	1.2	1.2	12.5	12.5	12.5	کمینه Minimum
17	17	17	140	150	150	بیشینه Maximum
5.8	5.7	5.8	39	38	38	میانه Median
15.7	15.8	15.8	127.5	137.5	137.5	دامنه Range
0.45	0.78	0.72	1.07	1.54	1.42	چولگی Skewness
-0.6	-0.07	-0.17	2.55	3.44	3.25	کشیدگی Kurtosis
10.98	12.07	11.84	427	468.98	460	واریانس Variance
3.31	3.47	3.44	20.66	21.65	21.45	انحراف معیار Standard deviation
0.29	0.15	0.13	1.81	0.95	0.84	اشتباه معیار Standard Error
51.63	55.25	54.6	47.86	51.23	50.54	ضریب تغییرات Coefficient of variation
129	513	642	129	513	642	تعداد درخت Trees number

بررسی نرمال بودن داده‌های قطر برابر سینه و ارتفاع درختان با استفاده آزمون کولموگروف - اسمیرنوف نشان داد که این مشخصه‌ها از یک توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. شکل‌های ۲ - الف و ۲ - ب ابر نقاط ارتفاع

درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی در برابر قطر برابر سینه را برای داده‌های آموزش و آزمون را نشان می‌دهند.

جدول ۳ شاخص‌های مدل حاصل از برازش ۲۴ مدل رگرسیونی خطی و غیرخطی را نشان می‌دهد.



شکل ۲- ابرنقاط ارتفاع درختان در برابر قطر برابر سینه برای داده‌های آموزش (الف) و آزمون (ب)
Figure 2. Hyperpoints of tree height against DBH for training data (A) and test (B)

جدول ۳- ضرایب رگرسیونی مدل‌های استفاده‌شده در این پژوهش

Table 3. Regression coefficients of the models used in the current research

ضرایب				رابطه	مدل
Coefficients				Equation	Model
d	c	b	a		
		0.15	0.08	$y = a + bx$	Linear
	-0.0005	0.21	-1.38	$y = a + bx + cx^2$	Quadratic
-0.00001	0.00082	0.132	-0.17	$y = a + bx + cx^2 + dx^3$	Cubic
		-49.21	21.87	$y = ae^{b/x}$	modified expontial
		6.44	-17.08	$y = a + b \ln x$	logarithmic
	0.58	-19.55	0.16	$y = e^{(a+b/x+c \ln x)}$	Vapor pressure
		0.01	3.41	$y = ae^{bx}$	Expontial
		0.96	0.18	$y = ax^b$	Power
		-17.39	30.97	$y = ax^{b/x}$	Modified Geometric
	1.47	0.99	0.04	$y = ab^x x^c$	Hoerl
	-1.48	29.37	0.04	$y = \frac{1}{(a + bx^c)}$	Harris
		0.0025	64.91	$y = a(1 - e^{-bx})$	Expontial Association
		-	-	$y = \frac{ax}{(b + x)}$	Saturation Growth Rate
	0.03	1.16	17.96	$y = ae^{-e^{b-cx}}$	Gompertz

y: ارتفاع بر حسب متر، x: قطر برابر سینه بر حسب سانتی‌متر و a, b, c و d: ضرایب ثابت مدل

Y: height (m), x: DBH (cm) and a, b, c and d are constant coefficients of the model

ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

ضرایب Coefficients				رابطه Equation	مدل Model
d	c	b	a		
	0.05	11.43	15.91	$y = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$	Logistic
2.28	19.34	14164.86	1.74	$y = \frac{ab + cx^d}{b + x^d}$	MMF
1.83	0.0004	15.43	16.76	$y = a - be^{-cx^d}$	Weibull
0.31	0.03	0.37	17.09	$y = \frac{a}{(1 + e^{b-cx})^{1/d}}$	Richards
	0.05	2.44	15.91	$y = a/(1 + e^{b-cx})$	Ratkowsky
		-186.63	11.85	$y = a + \frac{b}{x}$	Hyperbolic
3.92	0.02	9.55	6.84	$y = a + b \cos(cx + d)$	Sinusoidal
0.0001	-0.007	0.11	0.04	$y = \frac{a + bx}{1 + cx + dx^2}$	Rational
	-169.33	0.14	0.53	$y = a + bx + \frac{c}{x^2}$	Heat capacity
	54.53	118.67	16.34	$y = ae^{\left(\frac{-(x-b)^2}{2c^2}\right)}$	Gaussian

y: ارتفاع برحسب متر، x: قطر برابر سینه بر حسب سانتی متر و a، b، c و d: ضرایب ثابت مدل

Y: height (m), x: DBH (cm) and a, b, c and d are constant coefficients of the model

مدل‌های استفاده شده بر اساس مقادیر R^2 ، ۶۲ تا ۸۶ درصد از تغییرات کل ارتفاع درختان را توجیه کردند (جدول ۴). نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های قطر-ارتفاع درختان نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard به ترتیب دارای بالاترین ضریب تبیین (۰/۸۶، ۰/۸۶، ۰/۸۶)، کمترین اشتباه معیار (۱/۳۰۷، ۱/۳۰۷، ۱/۳۰۷) و معیار اطلاعات آیک (۲۷۷/۱۳، ۲۷۶/۰۴، ۲۷۷/۰۳) بوده و از دقت مناسب‌تری در مقایسه با دیگر مدل‌ها برخوردار هستند (جدول ۴).

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده ضریب تبیین، اشتباه معیار و معیار اطلاعات آیک جهت مدل‌سازی ۲۴ مدل خطی و غیرخطی
Table 4. Calculated values of R^2 , standard error and AIC for modeling 24 linear and non-linear models

مدل Model			AIC	Std-Err	R^2
Linear			349.94	1.406	0.83
Quadratic			295.69	1.332	0.85
Cubic			285.60	1.318	0.85
modified expontial			367.28	1.430	0.83
logarithmic			444.89	1.542	0.80
Vapor pressure			308.32	1.350	0.84
Expontial			688.85	1.956	0.68
Power			344.11	1.398	0.83
Modified Geometric			308.00	1.349	0.84
Hoerl			284.96	1.318	0.85
Harris			288.71	1.323	0.85
Expontial Association			330.78	1.380	0.84
Saturation Growth Rate			350.30	1.406	0.83
Gompertz			276.04	1.307	0.86

ادامه جدول ۴.

Continued table 4.

مدل Model	R ²	Std-Err	AIC
Linear	0.83	1.406	349.94
Quadratic	0.85	1.332	295.69
Cubic	0.85	1.318	285.60
modified expontial	0.83	1.430	367.28
logarithmic	0.80	1.542	444.89
Vapor pressure	0.84	1.350	308.32
Expontial	0.68	1.956	688.85
Power	0.83	1.398	344.11
Modified Geometric	0.84	1.349	308.00
Hoerl	0.85	1.318	284.96
Harris	0.85	1.323	288.71
Expontial Association	0.84	1.380	330.78
Saturation Growth Rate	0.83	1.406	350.30
Gompertz	0.86	1.307	276.04
Logistic	0.85	1.311	278.66
MMF	0.86	1.307	277.13
Weibull	0.86	1.308	277.77
Richards	0.86	1.307	277.03
Ratkowsky	0.85	1.311	278.66
Hyperbolic	0.62	2.138	779.87
Sinusoidal	0.85	1.316	283.84
Rational	0.85	1.313	281.67
Heat capacity	0.83	1.400	346.40
Gaussian	0.84	1.361	317.20

باتوجه به این نتایج مشخص شد که مدل‌های Linear، Saturation Growth، Cubic، Modified Expontial، Rate، Hyperbolic و Heat Capacity مقدار ارتفاع را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی کردند. نتایج کامل اعتبارسنجی مدل‌های به‌کار رفته در جدول ۵ آورده شده‌است.

نتایج حاصل از معیارهای استفاده‌شده برای اعتبارسنجی مدل‌های به‌کار رفته نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard با RMSE به‌ترتیب ۲۲/۱۹، ۲۲/۲۰ و ۲۲/۲۰ درصد و نیز MAE به‌ترتیب ۱۶/۶۹، ۱۶/۷۴ و ۱۶/۷۹ درصد بهتر توانستند مشخصه ارتفاع درختان را برآورد کنند (جدول ۵). همچنین

جدول ۵- مقادیر محاسبه‌شده مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا، اریبی، معیار اطلاعات آیک و ضریب تبیین برای اعتبارسنجی ۲۴ مدل خطی و غیرخطی

Table 5. Calculated values of RMSE, MAE, Bias, AIC and R² for validation of 24 linear and non-linear models

مدل Model	RMSE	RMSE%	MAE	MAE%	Bias	Bias%	R ²	AIC
Linear	1.46	22.79	1.11	17.36	-0.0008	-0.012	0.76	102.01
Quadratic	1.43	22.42	1.085	16.91	0.039	0.62	0.79	99.86
Cubic	1.42	22.22	1.080	16.84	-0.019	-0.29	0.78	99.59
modified expontial	1.55	24.27	1.17	18.34	-0.027	-0.43	0.78	118.22
logarithmic	1.63	25.53	1.26	19.69	0.02	0.32	0.73	131.36
Vapor pressure	1.45	22.6	1.09	17.14	0.015	0.24	0.78	101.83

ادامه جدول ۵.

Continued table 5.

AIC	R ²	Bias%	Bias	MAE%	MAE	RMSE%	RMSE	مدل Model
172.89	0.28	0.52	0.033	24.61	1.58	29.99	1.92	Expontial
100.72	0.75	0.71	0.045	17.29	1.10	22.67	1.45	Power
103.65	0.79	0.18	0.011	17.22	1.10	22.93	1.47	Modified Geometric
98.95	0.79	0.61	0.039	16.80	1.07	22.34	1.43	Hoerl
99.20	0.79	0.53	0.034	16.83	1.08	22.37	1.43	Harris
98.63	0.75	1.37	0.088	17.16	1.10	22.49	1.44	Expontial Association
102.31	0.76	-0.25	-0.016	17.38	1.11	22.81	1.46	Saturation Growth Rate
97.13	0.79	0.99	0.063	16.69	1.07	22.19	1.42	Gompertz
98.45	0.79	1.46	0.094	17.08	1.09	22.30	1.43	Logistic
99.29	0.79	1.20	0.077	16.74	1.07	22.20	1.42	MMF
99.34	0.79	1.09	0.070	16.79	1.07	22.21	1.42	Weibull
99.26	0.79	1.15	0.073	16.79	1.07	22.20	1.42	Richards
98.45	0.79	1.46	0.094	17.08	1.09	22.30	1.43	Ratkowsky
199.91	0.46	-0.80	-0.051	27.24	1.74	33.31	2.13	Hyperbolic
99.62	0.79	0.81	0.052	16.83	1.07	22.23	1.42	Sinusoidal
99.46	0.79	0.76	0.049	16.81	1.07	22.22	1.42	Rational
104.30	0.76	-0.10	-0.006	17.49	1.12	22.81	1.46	Heat capacity
101.82	0.77	1.22	0.078	17.53	1.12	22.59	1.44	Gaussian

در ادامه مدل‌ها بر اساس مقادیر معیارهای عملکردی رتبه‌بندی شدند و میانگین رتبه بر اساس مجموع رتبه‌های به‌دست آمده محاسبه شد (جدول ۶).
بر این اساس مدل‌های Gompertz, Richard, Hoerl و MMF با میانگین رتبه به ترتیب ۴/۶، ۷ و ۷/۴ بهترین رتبه را به خود اختصاص دادند (جدول ۶).

جدول ۶- رتبه‌بندی مدل‌های انتخابی بر اساس معیارهای عملکرد برای داده‌های اعتبار

Table 6. Ranking of selected models based on performance criteria for validity data

میانگین رتبه Average rank	AIC	Bias%	MAE%	RMSE%	R ²	مدل Model
14.2	17	1	17	17	19	Linear
11.8	13	12	10	12	12	Quadratic
9.4	11	6	9	6	15	Cubic
17	21	8	21	21	14	modified expontial
19	22	7	22	22	22	logarithmic
12.2	16	4	13	15	13	Vapor pressure
20.4	23	9	23	23	24	Expontial
15.8	14	13	16	16	20	Power
13.2	19	3	15	20	9	Modified Geometric
7	5	11	5	10	4	Hoerl
8.2	6	10	8	11	6	Harris
14.8	4	22	14	13	21	Expontial Association
15.4	18	5	18	19	17	Saturation Growth Rate
4.4	1	17	1	1	2	Gompertz
11	3	24	12	9	7	Logistic
7.4	9	20	2	3	3	MMF
7.8	9	18	3	4	5	Weibull
6.6	7	19	4	2	1	Richards
10.4	2	23	11	8	8	Ratkowsky
21.8	24	15	24	24	23	Hyperbolic
10.6	12	16	7	7	11	Sinusoidal

ادامهٔ جدول ۶.

Continued table 6.

میانگین رتبه Average rank	AIC	Bias%	MAE%	RMSE%	R ²	مدل Model
9	10	14	6	5	10	Rational
15.4	20	2	19	18	18	Heat capacity
17.2	15	21	20	14	16	Gaussian

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی میانگین تفاوت‌های مقادیر مشاهده‌شده با مقادیر برآوردشده مشخصه ارتفاع با استفاده از ۲۴ مدل انتخاب‌شده، نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard دارای کمترین انحراف معیار مقادیر تفاوت‌ها (به ترتیب با ۱/۴۲۷۷۶، ۱/۴۲۸۰۱ و ۱/۴۲۸۰۵ متر) بودند. همچنین تفاوت بین مقادیر برآورد شده همه مدل‌ها با مقادیر واقعی در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار نبود (جدول ۷).

جدول ۷ - تفاوت‌های مقادیر واقعی با مقادیر برآوردشده مشخصه ارتفاع با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی انتخاب شده

Table 7. The differences between the actual values and the estimated values of the height characteristic using selected linear and non-linear regression models

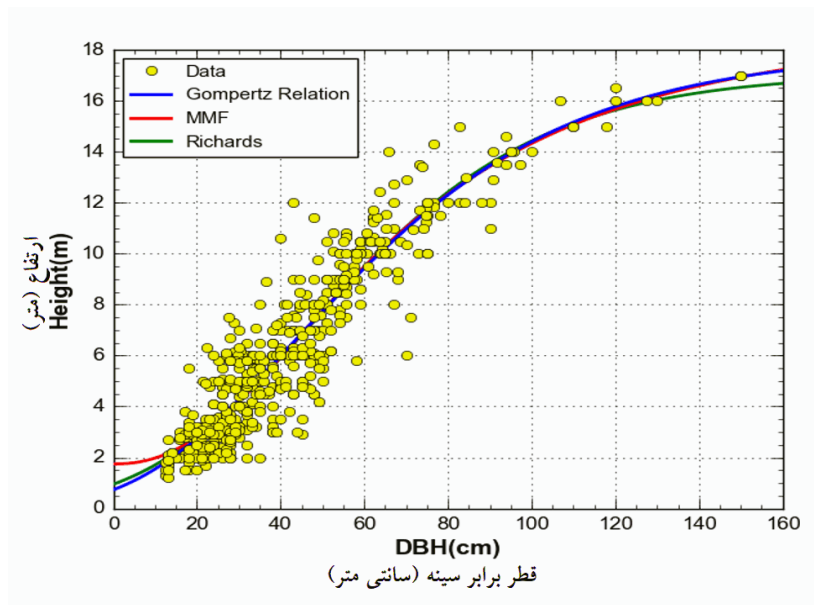
انحراف از معیار تفاوت‌ها Std. Error difference	میانگین تفاوت‌ها Mean differences	Sig.	t	میانگین برآورد شده Estimated average	میانگین واقعی Actual average	مدل Model
1.46787	0.00079	0.995 ^{ns}	0.006	6.4153	6.4151	Linear
1.44388	-0.03979	0.775 ^{ns}	-0.313	6.4549	6.4151	Quadratic
1.43147	0.01921	0.879 ^{ns}	0.152	6.3959	6.4151	Cubic
1.56278	0.02798	0.389 ^{ns}	0.203	6.3871	6.4151	modified expontial
1.64457	-0.02099	0.885 ^{ns}	-0.145	6.4361	6.4151	logarithmic
1.45538	-0.01576	0.902 ^{ns}	-0.123	6.4309	6.4151	Vapor pressure
1.93168	-0.03353	0.844 ^{ns}	-0.197	6.4486	6.4151	Expontial
1.45982	-0.04587	0.722 ^{ns}	-0.357	6.4610	6.4151	Power
1.47716	-0.01189	0.927 ^{ns}	-0.091	6.4270	6.4151	Modified Geometric
1.43877	-0.03944	0.756 ^{ns}	-0.311	6.4546	6.4151	Hoerl
1.44032	-0.03412	0.788 ^{ns}	-0.296	6.4492	6.4151	Harris
1.44606	-0.08812	0.490 ^{ns}	-0.692	6.5032	6.4151	Expontial Association
1.46946	0.01616	0.901 ^{ns}	0.125	6.3990	6.4151	Saturation Growth Rate
1.42776	-0.06391	0.612 ^{ns}	-0.508	6.4790	6.4151	Gompertz
1.43345	-0.09417	0.475 ^{ns}	-0.746	6.5093	6.4151	Logistic
1.42801	-0.07737	0.539 ^{ns}	-0.615	6.4925	6.4151	MMF
1.42865	-0.07019	0.578 ^{sn}	-0.588	6.4853	6.4151	Weibull
1.42805	-0.07378	0.558 ^{sn}	-0.587	6.4889	6.4151	Richards
1.43345	-0.09410	0.457 ^{sn}	-0.746	6.5092	6.4151	Ratkowsky
2.14458	0.05183	0.784 ^{sn}	0.275	6.3633	6.4151	Hyperbolic
1.43096	-0.05254	0.677 ^{sn}	-0.417	6.4677	6.4151	Sinusoidal
1.43022	-0.04918	0.697 ^{sn}	-0.391	6.4643	6.4151	Rational
1.46945	-0.00689	0.958 ^{sn}	0.053	6.4082	6.4151	Heat capacity
1.45330	-0.07862	0.540 ^{sn}	-0.614	6.4937	6.4151	Gaussian

ns: غیر معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد.

ns: non-significant at the 95% confidence level

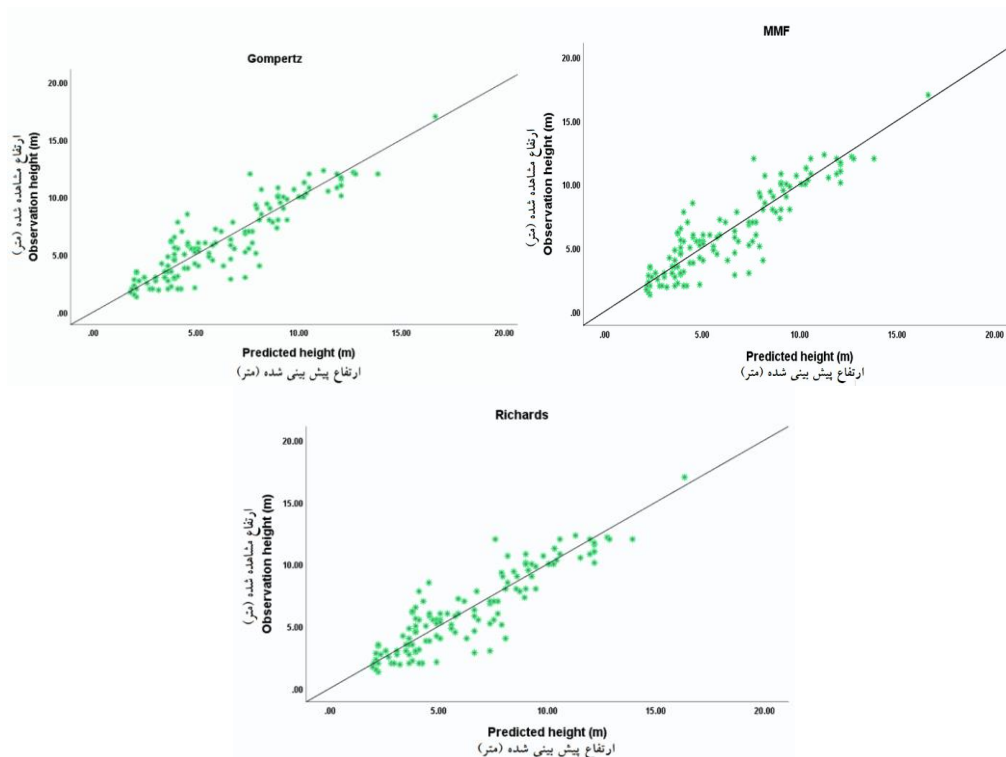
باتوجه به نتایج ذکر شده مشخص شد که سه مدل Gompertz، MMF و Richard در مقایسه با دیگر مدل‌ها از توانایی بالاتری در برآورد مشخصه ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی برخوردار هستند، شکل ۳

منحنی قطر و ارتفاع و شکل ۴ منحنی ارتفاع مشاهده-شده شده در برابر ارتفاع برآورد شده سه مدل ذکر شده را نشان می‌دهد.



شکل ۳- منحنی قطر و ارتفاع سه مدل برتر

Figure 3. Diameter and height curve of three top models

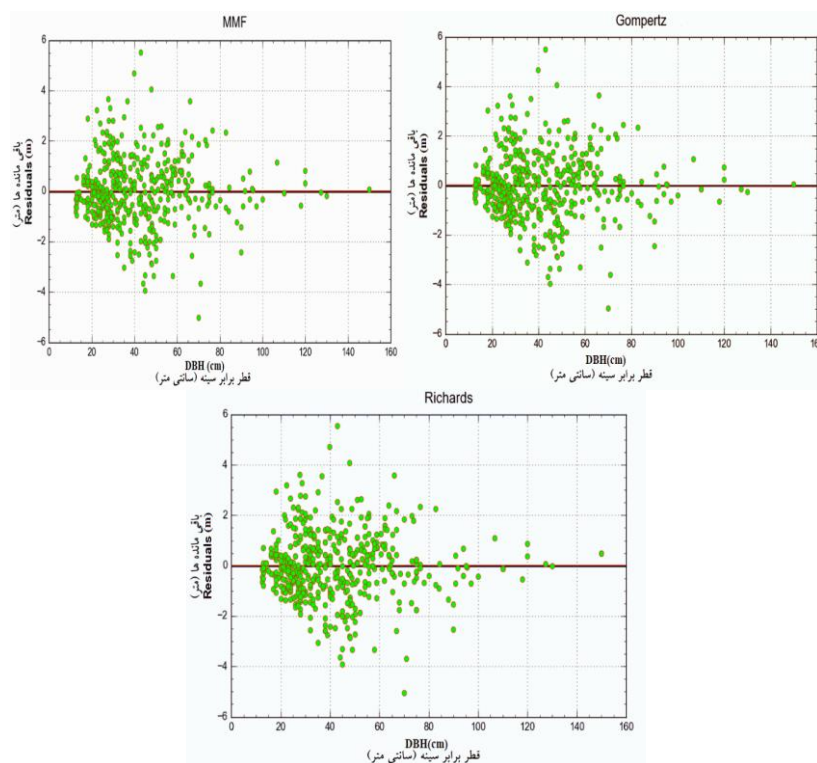


شکل ۴- منحنی ارتفاع مشاهده‌شده در برابر ارتفاع برآورد شده سه مدل منتخب (Richard و MMF، Gompertz)

Figure 4. The observed height curve against the estimated height of three selected models (Gompertz, MMF and Richard)

هیستوگرام باقی‌مانده‌ها چولگی نداشت و نمودار باقی-مانده‌ها در مقابل مقادیر تطبیق‌یافته از پراکنش یکنواخت در دو سوی محور صفر و ثبات واریانس داشت که نشان از تناسب این مدل‌ها است (شکل ۵).

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل باقی‌مانده‌های سه مدل رگرسیونی غیرخطی منتخب (Gompertz، MMF و Richard) نشان داد که میانگین باقی‌مانده‌ها به‌طور تقریب صفر و دارای توزیع نرمال بوده و همچنین



شکل ۵- منحنی باقی‌مانده مدل‌های منتخب (Gompertz، MMF و Richard)

Figure 5. Residual curve of selected models (Gompertz, MMF and Richard)

جنگل به یک وضعیت مطلوب از اهمیت بالایی

برخوردار است (Amiri et al., 2022).

نتایج به‌دست‌آمده از ۲۴ مدل خطی و غیرخطی نشان‌دهنده برتری مدل‌های غیرخطی در مقایسه با مدل‌های خطی است؛ به‌طوری‌که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی Gompertz، MMF و Richard بر اساس معیارهای ارزیابی مورد استفاده در این پژوهش (درصد مجذور میانگین مربعات خطای، درصد میانگین قدر مطلق خطای، درصد اریبی، ضریب تبیین، معیار اطلاعات آیک، میانگین تفاوت‌های مقادیر برآوردشده با مقادیر واقعی و انحراف معیار تفاوت‌های مقادیر

بحث

بررسی نتایج حاصل از آماره‌های توصیفی قطر و ارتفاع درختان نشان داد که واریانس و دامنه تغییرات زیادی دارند که نشان‌دهنده این مطلب است که این داده‌ها از یک دامنه وسیع قطر برابر سینه ۱۲/۵ تا ۱۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۱/۲ تا ۱۷ متر انتخاب شده‌اند که این مورد بیانگر ناهمگن بودن توده جنگلی در منطقه مورد پژوهش است. همچنین وجود درختان با قطر و ارتفاع پایین که می‌تواند تضمین‌کننده آینده و دوام جنگل باشند و نیز پایه‌های قطور و بلندی که می‌توانند نقش پایه‌های مادری را ایفا کنند، از نظر جنگل‌شناسی در جهت رسیدن

ارتفاع درختان قطور است که خود این امر نشان‌دهنده توانایی مدل‌های غیرخطی خانواده سیگموییدی در برآورد ارتفاع درختان قطور است. برتری مدل‌های غیرخطی در پژوهش‌های دیگر در زمینه مدل‌های قطر-ارتفاع نیز به اثبات رسیده است (Fang et al., 1998; Scaranello et al., 2012; Hamidi et al., 2021; Ghaderi et al., 2023). مقایسه نتایج این پژوهش با دیگر بررسی‌های انجام شده نشان داد که عواملی مانند ساختار توده، نوع توده و نوع مدل بکار گرفته شده در انتخاب مدل برتر بسیار مؤثر است، همچنین به دلیل تغییر شرایط رویشگاهی و توده، مدل‌های قطر و ارتفاع در یک جنگل نیز ممکن است که تغییر کند.

نتیجه‌گیری

در مجموع نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های خطی و غیرخطی توانایی برآورد ارتفاع درختان دانه‌زاد بلوط ایرانی را در ناحیه رویشی زاگرس میانی دارند، که از میان این مدل‌ها سه مدل غیرخطی Gompertz، MMF و Richard بر اساس معیارهای ارزیابی عملکرد از دقت بالاتری برخوردار بودند. بنابراین این مدل‌ها می‌توانند در مناطق جنگلی ناحیه رویشی زاگرس میانی که دارای ساختار و شرایط رویشگاهی مشابهی با منطقه موردبررسی هستند مورد استفاده قرار گیرند. لازم به ذکر است که پژوهش حاضر تنها به پیش‌بینی ارتفاع درختان بر اساس قطر برابر سینه (متغیر مستقل) و همچنین مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی پرداخته است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده از مدل‌های تعمیم‌یافته ارتفاع و قطر که در آن تغییرپذیری رویشگاه و توده به لحاظ متغیرهای توده غیر از قطر درخت (سطح مقطع توده، سن توده، ارتفاع غالب، قطر غالب، شاخص رویشگاه و غیره) در نظر گرفته می‌شود و همچنین از الگوریتم‌هایی مانند ماشین‌بردار پشتیبان، شبکه عصبی مصنوعی و غیره استفاده شود.

برآورد شده با مقادیر واقعی) بهتر توانستند ارتفاع درختان را تخمین بزنند که با بررسی‌های انجام‌شده پیشین (Ahmadi et al., 2013; Alijani et al., 2020; Mohamadi and Shattai, 2016; Zhang, 1997) همسو است. به‌طور کلی به جز دو مدل Exponential و Hyperbolic نتایج به‌دست‌آمده از معیارهای ارزیابی ذکر شده تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند و از نظر آماری نیز در سطح اطمینان ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل‌های مختلف با مقادیر مشاهده‌شده وجود نداشت و سه مدل بیان‌شده دارای کمترین مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطا بودند. مجذور میانگین مربعات خطای به‌دست‌آمده در پژوهش پیش رو (حدود ۱/۵ تا ۲ متر) با بررسی‌های Sharma et al. (2016) و Adame et al. (2008) اختلاف چندانی نداشت، در مورد تفاوت نتایج جذر میانگین مربعات خطا و ضریب تبیین حاصل از این پژوهش با برخی پژوهش‌ها می‌توان به عوامل مختلفی مثل ناهمگن بودن منطقه از نظر پراکنش، نوع جنگل (سوزنی برگ، پهن برگ و مخلوط سوزنی‌برگ و پهن‌برگ)، زیاد بودن دامنه تغییر در مقدار ارتفاع و غیره اشاره کرد (Ghaderi et al., 2023). بررسی میانگین مقادیر ارتفاع برآورد شده با مقادیر واقعی ارتفاع نیز نشان داد که مدل‌های Gompertz، MMF و Richard مقادیر ارتفاع را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کردند. برتری مدل‌های غیرخطی نسبت به مدل‌های خطی از طریق تفسیر بیولوژیکی قابل توجیه است، به‌طوری‌که با افزایش قطر برابر سینه، ارتفاع با همان شدت افزایش نمی‌یابد و بیشتر در قطرهای بالاتر رویش ارتفاعی به کندی صورت می‌گیرد (Alijani et al., 2020). با مراجعه به شکل‌های ۳ و ۴ علت انتخاب مدل‌های Gompertz، MMF و Richard در پیش‌بینی

References

- Adame, P.; del Rio, M.; Canellas, I., A mixed nonlinear height-diameter model for pyrenean oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Forest Ecology and Management* **2008**, 256, 88 – 98.
- Ahmadi, K.; Alavi, S.J.; Kouchaksaraei, M.T.; Aertsen, W., Non-linear height-diameter models for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in the Hyrcanian forests, Iran. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment* **2013**, 17, 431–440.
- Ahmadi, K.; Alavi, S.J.; Kouchaksaraei, M.T.; Aertsen, W., Comparison of non-linear height and diameter functions for oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) in a mixed and uneven-aged Caspian forest (Case Study: Tarbiat Modares University forest research station). *Iranian Journal of Forest* **2014**, 6 (1), 11 – 22. (In Persian)
- Aishan, T.; Halik, U.; Betz, F.; Gartner, P.; Cyffka, B., Modeling height-diameter relationship for *Populus euphratica* in the Tarim riparian forest ecosystem, Northwest China. *Journal of Forestry Research* **2016**, 27 (4), 889–900.
- Alemi, A.; Oladi, J.; Fallah, A.; Maghsodi, Y., Evaluating of different height-diameter nonlinear models for hornbeam in uneven-aged stands (Case Study: Golestan Rezaeian Forest). *Ecology of Iranian Forests* **2021**, 8 (16), 29 – 38. (In Persian)
- Alijani, V.; Namiranian, M.; Feghhi, J.; Bozorg – Hadad, O.; Etemad, V., Investigation of height-diameter models in different development stages of unmanaged beech Forest (Case Study: Educational and research forest of Kheirud). *Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, 21 (12), 127 – 134. (In Persian)
- Amiri, P.; Soosani, J.; Naghavi, H.; Seyedna, V.; Nourmohamadi, K., Investigating the quantitative characteristics of the less degraded forest areas of the middle Zagros region (case study: the forests of Khoramabad Nozhian region). National congress of new findings in agricultural and natural resources, environment and tourism **2022**, 1 – 7. (In Persian)
- Bayat, M.; Hasani, M.; Heidari Masteali, S., Ten-year estimation of *Fagus orientalis* lipsky increment using artificial neural networks model and multiple linear regression Ramsar forests. *Forest Research and Development* **2020**, 6 (3), 381 – 394. (In Persian)
- Bolat, F.; Urker, O.; Günlü, A., Nonlinear height-diameter models for Hungarian oak (*Quercus frainetto* Ten.) in Dumanlı Forest Planning Unit, anakkale/Turkey. *Austrian Journal of Forest Science* **2022**, 139, 199–220.
- Bihamta, M.R.; Zare Chahouki, M.R., *Principles of statistics for the natural resources science*. University of Tehran Press, 2008, 322p. (In Persian)
- Cui, K.; Wu, X.; Zhang, C.; Zhao, X.; Gadow, K., Estimating height-diameter relations for structure groups in the natural forests of Northeastern China. *Forest Ecology and Management* **2022**, 519, 120298.
- Delpasand, S.; Maleknia, R.; Kazemi, Y., Evaluating the impact of climatic factors on vegetation changes in the protected area of Sefid Koh Lorestan using the MODIS sensor. Conference: National Geomatics Conference **2017**, 1 – 10. (In Persian)
- Eshagh Nimvari, J.; Zobeyri, M.; Sobhani, H.; Pourshafi Zanganeh, H., A comparison of randomized -systematic sampling with circle shape plot and transect method, based on precision and cost in west oak forest. *Iranian Journal of Natural Resources* **2003**, 56 (4), 383–395. (In Persian)
- Fattahi, M., *Investigation of Zagros oak forests and the most important factors of its destruction*. Research Institute of Forests and Rangelands Tehran press, **1994**. (In Persian)
- Fang, Z.; Bailey, R.L., Height-diameter models for tropical forest on Hainan Island in southern China. *Forest Ecology and Management* **1998**, 110, 315–327.
- Ghaderi, P.; Mohammadi, J.; Shataee, Sh.; Rahmani, R.; Kariminejad, N., Efficiency of nonlinear mixed-effects model in determining height-diameter equations of velvet maple and ironwood trees. *Iranian Journal of Forest* **2023**, 14 (4), 473 – 485. (In Persian)
- Golob, Ch.; Ritter, T.; Vosptnic, S.; Wassermann, C.; Nuthroft, A., A flexible height-diameter model for tree height imputation on forest inventory sample plots using repeated measures from the past. *Journal Forests* **2018**, 9 (368), 1 – 25.
- Hamidi, S.K.; Fallah, A.; Bayat, M.; Hosseini Yekani, S.A., Investigating the diameter and height models of beech trees in uneven age forest of northern Iran (Case study: Forest

- Farim). *Ecology of Iranian Forests* **2021**, 9 (17), 30-40. (In Persian)
- Hyams, D., Curve expert 1.40: A curve fitting system for Windows. 2010, <http://curveexpert.webhop.biz/>
- Mohammadi, J.; Shataee. Sh., Study of different height-diameter models for hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in uneven-aged stands of Shastkalateh forest of Gorgan. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, 24 (4), 700 – 712. (In Persian)
- Jafari, J.; Tabari, M.; Hosseini, V.; Sadati, S. E., Effect of artificial tree stands on physical, chemical properties and soil microbial biomass (case study: Zaghamarz of Neka). *Forest Research and Development* **2021**, 7 (1), 123-135. (In Persian)
- Petras, R.; Bosela, M.; Mecko, J., Height-diameter models for mixed-species forests consisting of spruce, fir, and beech. *Folia Forest Polonica* **2014**, 56, 93–104.
- Rahimi, GH.; Mohammadi Samani, K.; Shabanian, N.; Sharif Rahmani. M., Investigating some chemical soil properties in the pollarded and less-disturbed forest stands in the Northern Zagros (case study: Baneh forest, Kurdistan). *Journal of Environmental Science and Technology* **2020**, 22 (3), 68-55. (In Persian)
- Salmani, A.; Poursaeed, A.R.; Bayramzadeh, V.; Eshraghi Samani. R., Explaining the criteria and indicators of sustainable management of forests in Zagros basin from the point of view of forest specialists and experts. *Iranian Journal of Forest* **2021**, 13 (1), 43-58. (In Persian)
- Scaranello, M. A. S.; Alves, L. F.; Vieira, S. A.; Camargo, P. B. C.; Joly, C. A.; Martinelli, L. A., Height-diameter relationships of tropical Atlantic moist forest trees in southeastern Brazil. *Scientia Agricola* **2012**, 69 (1), 26-37.
- Sharma, R.P.; Vacek, Z.; Vacek, S., Nonlinear mixed effect height-diameter model for mixed species forests in the central part of the Czech Republic. *Journal of Forest Science* **2016**, 62 (10), 470–484.
- Wang, T. Y.; Lam, T. Y., Modelling height-diameter relationship of fifteen tree species planted on reclaimed agricultural lands with random species effects. *Tropical Forestry* **2021**, 1053, 1-5.
- Xu, Q.; Lei, X.; Zang, H.; Zeng, W., Climate change effects on height–diameter allometric relationship vary with tree species and size for larch plantations in northern and northeastern China. *Forests* **2022**, 13 (468), 1-16.
- Zeynali Yadegari, L.; Seyedi, N., Effect of altitude on seed germination and biomass of *Quercus brantii*. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (3), 405-417. (In Persian)
- Zhang, L., Cross-validation of nonlinear growth functions for modeling tree heightdiameter distributions. *Annals of Botany* **1997**, 79, 251-257.

Investigating diameter-height models of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl) in height forests of Middle Zagros

Peyman Amiri¹, Javad Soosani^{*1} and Hamed Naghavi³

1- PhD student of Forest Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (peyman.amiri67@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (soosani.j@lu.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (naghavi.ha@lu.ac.ir)

Received: 18 July 2023

Accepted: 19 October 2023

Abstract

Background and objectives: Efficient and high-quality information about the current and future state of the forest is needed for sustainable management and basic planning of forest resources. Zagros forests, as one of the most important vegetation areas of Iran, have a very important effect on water supply, soil conservation, climate adjustment and economic and social balance in the whole country, hence, the sustainable protection and management of these forest ecosystems. The main concern of researchers and managers in this area has become vegetation. The dominant species of these forests is Iranian oak (*Quercus brantii* Lindl). According to geographical and environmental conditions, this species has various habitats in the vegetation zone of the middle Zagros. Considering the noble position of the Iranian oak species in the forests of Zagros, the importance of developing more researches regarding this species is essential. The characteristics of tree diameter and height are the most important components needed in forest statistics. These variables are one of the main variables for measuring the appearance characteristics of forest trees and are used in cases such as determining the volume and drawing the height curve. Considering that measuring the height of all forest trees is a long and expensive operation, hence the use of diameter and height models to estimate the height of trees has been developed. The purpose of this research is to investigate the linear and non-linear diameter-height models of Iranian oak species (*Q. brantii* Lindl) in the high forests of the Middle Zagros in order to find the answer to the question of whether it is possible to estimate the height of Iranian oak high forest trees as There is a function of the diameter of the chest in this vegetative zone or not.

Methodology: This research was conducted in Sefidkoh protected area of Lorestan. The dominant tree cover of this area is made of oak, like other areas of Zagros, but other plants and trees such as *Crataegus persica* pojark, *Amygdalus sp*, *Astragalus sp*, etc. can be mentioned in it. To carry out this research, by conducting numerous forest tours and getting to know the forests of the region, a stand with an area of approximately five hectares, which had a high forest vegetation structure, was selected. In the selected forest stand, the characteristics of DBH and total height of all Iranian oak trees whose DBH was more than 12.5 cm were counted as 100%. In total, 642 Iranian oak trees were measured in DBH and height. Linear and non-linear models were used to fit the data of DBH and height of trees, which include various models of exponential, power, density-product, growth, sigmoid and other functions. In this research, 80% of the data were used in the modeling process and 20% were used for evaluation, as well as for fitting the data and estimating the indicators of each of the models from the Curve Expert Professional software, which is a software Comprehensive software was used to fit the curves. In the modeling process, diameter data were used as independent variables and height data were used as dependent variables. In the upcoming research, to verify the accuracy of the obtained models, the RMSE, MAE and Bias in absolute and relative terms, as well as the R^2 and the AIC was calculated as validation indices.

Results: Based on the descriptive statistics of Iranian oak trees, the average, minimum and maximum DBH was 42.42, 12.5 and 150 cm, respectively, and the height was 6.3, 1.2 and 17 meters, respectively. Based on R^2 values, the used models explained 62 to 86% of the total changes in tree height. The results

* Corresponding author

Tel: +989166598005

of tree height-diameter modeling showed that Gompertz, MMF and Richard models have the highest explanatory coefficient (0.86, 0.86, 0.86), respectively, and the lowest standard error (307.1, 1/307, 1/307) and AIC information criterion were (276/04, 277/13, 277/03). The results of the criteria used to validate the used models showed that the Gompertz, MMF and Richard models have RMSE of 22.22, 22.20 and 22.20%, respectively, as well as MAE respectively. 16.69, 16.74 and 16.79 percent were better able to estimate the characteristics of the height of trees. According to the mentioned results, it was found that Gompertz, MMF, and Richard models have a higher ability to estimate the characteristic height of Iranian oak trees compared to other models.

Conclusion: Overall, the results of this research showed that linear and non-linear models have the ability to estimate the height of Iranian oak high forest trees in the growing region of the middle Zagros, and among these models, three non-linear models are Gompertz, MMF and Richard based on evaluation criteria. The performance was more accurate. Therefore, these models can be used in the forest areas of the middle Zagros vegetation zone, which have the same structure and habitat conditions as the studied area. It is suggested to use the generalized models of height and diameter in future researches.

Keywords: Modeling, *Quercus brantii*, Regression, Statistics, Validation.

سنجش تنوع زیستی و طبقه‌بندی گونه‌های درختی و درختچه‌ای در جنگل‌های ارسباران

راهله استادهاشمی^{۱*}، رضا اخوان^۲ و رویا عابدی^۳

- ۱- استادیار پژوهش، بخش پژوهشات جنگل‌ها و مراتع، مرکز پژوهشات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تبریز، ایران. (ra.oh.fo@gmail.com)
- ۲- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (akhavan@rifr-ac.ir)
- ۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران. (abedi.roya@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۹

چکیده

مقدمه و هدف: کاهش تنوع زیستی، افزایش گونه‌های مهاجم و تغییرات اقلیمی از مسائل چالش‌برانگیز این قرن است که سبب کاهش تنوع گیاهی و تأثیرات منفی بر پایداری و ثبات بوم‌سازگان‌ها مانند جنگل‌ها شده است. وضعیت فعلی جنگل‌های ارسباران با توجه به تخریب‌ها و دخالت‌های انسانی سال‌های اخیر دستخوش تغییرات زیادی بوده و ارزیابی تنوع زیستی در سطح کل منطقه جنگلی ارسباران ضروری به نظر می‌رسد تا با بررسی آن، از وضعیت ترکیب و تنوع گونه‌ای فعلی جنگل آگاه و به بهبود شرایط توده‌های جنگلی کمک کرد. هدف از این پژوهش ارزیابی و تعیین تنوع گونه‌ای درختی و درختچه‌ای جنگل‌های ارسباران با استفاده از شاخص‌های تنوع زیستی و طبقه‌بندی توده‌های جنگلی بر اساس اندازه شباهت گونه‌ای آنها است.

مواد و روش‌ها: جنگل‌های کوهستانی پهن‌برگ ارسباران واقع در شمال غرب ایران جزء ناحیه اصلی اروپ-سیبری و زیر ناحیه هیرکانی هستند که جزو نه ذخیره‌گاه بیوسفر ایران است. اگرچه این جنگل‌ها حفاظتی هستند اما فعالیت‌های شدید انسانی در چند دهه گذشته، سیمای ظاهری، ترکیب و ساختار جنگل‌های ارسباران را به شدت تغییر داده است. برای انجام این پژوهش با استفاده از روش نمونه‌برداری دو مرحله‌ای، ۱۲ توده جنگلی در سطح کل جنگل‌های ارسباران با پراکنش و توزیع مناسب توده‌ها در رویشگاه‌ها، تیپ‌های جنگلی و گرادیان‌های ارتفاعی مختلف به صورت تصادفی انتخاب و در داخل آنها به روش منظم-تصادفی، ۳۴۷ قطعه نمونه ثابت دایره‌ای شکل سه و ۱۰ آری آماربرداری و مشخصه‌های درختان اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس داده‌های برداشت‌شده، ترکیب گونه‌ای، پراکنش قطری، متوسط سطح مقطع و تراکم در هکتار، ارتفاع درختان و درصد پایه‌های شاخه‌زاد و دانه‌زاد برآورد شدند. برای ارزیابی تنوع زیستی از

شاخص‌های غنای مارگالف و منهنیک، شاخص‌های یکنواختی پایلو و هیپ و شاخص‌های تنوع شانون-وینر و سیمپسون استفاده شد. سپس برای طبقه‌بندی بر اساس شباهت یا عدم شباهت گونه‌ای بین توده‌های جنگلی از شاخص جاکارد استفاده شد و دندروگرام حاصل از طبقه‌بندی توده‌ها بر اساس فاصله جاکارد ترسیم شد و با استفاده از آزمون تجزیه واریانس به بررسی تفاوت‌های آماری بین گروه‌ها از نظر شاخص‌های تنوع زیستی پرداخته شد.

یافته‌ها: براساس نتایج، ۲۵ گونه درختی و درختچه‌ای شناسایی شدند که چهار گونه غالب در توده‌ها شامل *Carpinus spp* با فراوانی ۴۰ درصد، *Quercus spp* با فراوانی ۲۹ درصد، *Juniperus spp* با فراوانی ۱۲ درصد و *Acer spp* با فراوانی ۱۱ درصد بودند. نتایج مشخصه‌های کمی توده‌های مورد بررسی نشان داد که جنگل‌های ارسباران، جنگل‌های جوان، کم‌قطر (میانگین قطر ۱۰ سانتی‌متر) با تراکم درختی زیاد است که غالب توده‌ها به‌صورت شاخه و دانه‌زاد هستند که دلیل آن می‌تواند قطع یکسره درختان در گذشته برای زغال‌گیری در این جنگل‌ها، قدرت جست‌دهی زیاد گونه‌های مرز و بلوط و دخالت‌های انسانی باشد. بررسی شش شاخص تنوع زیستی نشان داد که جنگل‌های ارسباران از نظر غنای گونه‌ای تقریباً خوب اما یکنواختی بسیار کمی دارند و از نظر تنوع زیستی نیز به‌نسبت خوب هستند. بر اساس شاخص جاکارد، توده‌های جنگلی ارسباران به پنج گروه تقسیم شدند که نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین شاخص‌های تنوع در پنج گروه از نظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود داشت. بیشترین مقادیر شاخص‌های تنوع زیستی مربوط به توده‌های پهن‌برگ آمیخته با مقادیر عددی ۱/۱۵، ۰/۶۶ و ۱/۲ به‌ترتیب برای شاخص غنا، یکنواختی و تنوع و کمترین آنها مربوط به توده خالص اوری با مقادیر عددی ۰/۲۸، ۰/۰۶ و ۰/۱۲ به‌ترتیب برای شاخص غنا، یکنواختی و تنوع به‌دست آمد. همچنین، بر اساس ضریب تغییرات، شاخص غنای مارگالف، یکنواختی پایلو و تنوع شانون-وینر، بهترین شاخص‌ها برای منطقه شناخته شدند.

نتیجه‌گیری کلی: براساس نتایج، در منطقه ارسباران تنوع زیستی گونه‌های درختی و درختچه‌ای بیشتر متأثر از غنای گونه‌ای است که نقش مهمی در تغییرات تنوع زیستی منطقه دارد و غالبیت این جنگل‌ها با دو تا سه گونه سبب کاهش یکنواختی شده است. این پژوهش نشان داد که طبقه‌بندی گونه‌های درختی و درختچه‌ای بر اساس تنوع زیستی و با استفاده از شاخص جاکارد که به خوبی سبب تمایز گروه‌ها شد، امکان‌پذیر بوده و می‌تواند در تصمیمات مدیریتی و حفاظتی کاربرد داشته باشد. بنابراین برای رسیدن به پایداری، لازم است تا به بررسی شاخص‌های تنوع پرداخته و شاخص‌هایی که سبب کاهش تنوع زیستی در منطقه شده را مشخص و در راستای بهبود آن برنامه‌ریزی کرد. اجرای درست برنامه‌ها به مدیریت حفاظتی صحیح از توده‌های جنگلی و جلوگیری از حضور دام، جلوگیری از شاخه‌زنی و قطع پایه‌های جوان، شناسایی پایه‌های قطور و ایجاد فضا برای تولید بذر، کاهش جست‌گروه‌ها برای فرصت دادن به پایه‌های بذری و بررسی زادآوری و علل عدم استقرار زادآوری در منطقه بستگی دارد.

واژه‌های کلیدی: منطقه ارسباران، تنوع گونه‌ای، جاکارد، شاخص تنوع زیستی.

مقدمه

تنوع زیستی به گوناگونی فرم‌های حیات بر روی زمین می‌گویند که پشتیبان تداوم زندگی بر روی زمین و ضامن سلامت بوم‌سازگان‌های مختلف و کارکردها و خدمات آنهاست. بیشترین تنوع زیستی بر روی زمین مربوط به بوم‌سازگان جنگل است و تغییرات تنوع زیستی جنگل‌ها بستگی به تیپ جنگل، جغرافیای منطقه، اقلیم، خاک و همچنین نحوه استفاده از آن دارد (FAO, 2020). در بیشتر بوم‌سازگان‌های جنگلی، المان‌های چوبی جوامع گیاهی بر روی تنوع ساختاری تاثیر گذاشته که به تبع آن تاثیر قابل‌توجهی بر تنوع گونه‌های جانوری و گیاهی دارد (Storch et al., 2023). کاهش تنوع زیستی یکی از مسائل چالش‌برانگیز این قرن است که بر روی بوم‌سازگان‌های جنگلی تاثیر زیادی گذاشته است. از مهم‌ترین عوامل کاهش تنوع زیستی جنگل‌ها، گسترش کشاورزی، جنگل‌زدایی و قطعه‌قطعه شدن جنگل است (FAO, 2020) و همچنین افزایش گونه‌های مهاجم و تغییرات اقلیمی سبب کاهش تنوع گیاهی و تاثیرات منفی بر پایداری و ثبات بوم-سازگان‌ها مانند جنگل‌ها شده است (Naeem et al., 1994). از آنجا که تنوع زیستی شالوده بسیاری از خدمات بوم‌سازگان‌ها است و ویژگی‌های گونه‌های مختلف موجود در آنها اعم از گیاهی و جانوری نیز نقش مهمی در تعیین عملکرد بوم‌سازگان‌ها دارند (Pan et al., 2018)، در نتیجه شناخت و بررسی پراکنش گونه‌ای و ساختار درختی و درختچه‌ای جنگل‌ها نیز از عوامل مهم در پژوهش‌های بوم‌شناسی جنگل‌ها به حساب می‌آید. همچنین شناخت تنوع و ساختار گونه‌ها پیش‌نیازی برای کنترل تغییرات اقلیمی هستند و پایش آنها برای ارزیابی پایداری تنوع زیستی الزامی است (Kumar et al., 2022). طبق پژوهش‌ها، در شرایط مطلوب یک جنگل، باید حداکثر ۱۰ درصد افراد جامعه

از یک گونه، ۲۰ درصد افراد جامعه از یک جنس و ۳۰ درصد افراد جامعه از یک خانواده باشند (Sæbø et al., 2005).

از رایج‌ترین روش‌های محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی، استفاده از اطلاعات آماربرداری جنگل‌هاست که علاوه بر مشخصه‌های ساختاری توده‌ها می‌توان تنوع زیستی آن منطقه را نیز بررسی کرد. شاخص‌های مختلفی نیز برای بررسی تنوع زیستی (غنا و یکنواختی) استفاده می‌شود که از رایج‌ترین آنها می‌توان به شانون-وینر، سیمپسون، مارگالف، برگر-پارکر و غیره اشاره کرد. (Pan et al., 2018) با استفاده از اطلاعات آماربرداری شده درختان در پلات‌ها و نتایج تجزیه و تحلیل آنها به ارزیابی تنوع زیستی منطقه‌ای جنگل‌های New England واقع در شش ایالت کشور آمریکا پرداختند. آنها نشان دادند که تنوع درختی از شمال به جنوب با نرخ افزایش دو تا سه گونه در هر درجه عرض جغرافیایی افزایش می‌یابد و تخمین تنوع زیستی بر اساس مشخصه ارتفاع درختان بهتر از سن و بیوماس درختان بوده است. (Kumar et al., 2022) نیز با استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های شانون-وینر، سیمپسون، مارگالف و پایلو را برای جنگل‌های تروپیکال هند به‌دست آوردند و نشان دادند که شاخص سیمپسون تحت تاثیر اندازه جمعیت هر گونه است و جایگاه اصلی یک گونه را نشان می‌دهد و شانون-وینر تحت تاثیر غنای گونه‌ای است. همچنین Storch et al. (2023) با پیدا کردن رابطه بین شاخص‌های ساختاری توده‌های جنگلی و غنای گونه‌ای گروه‌های تاکسونومی گیاهی در سه منطقه وسیع در جنگل‌های آلمان نشان دادند که برای پایش تنوع زیستی می‌توان از شاخص‌های کمی ساختاری به‌دست‌آمده از آماربرداری‌های وسیع در جنگل استفاده کرد که این

به طور مثال می توان به پژوهش Pourbabaei et al. (2010) اشاره کرد که به بررسی تنوع زیستی گونه های چوبی رویشگاه های سفیدمازو (*Quercus petraea* subsp. *Iberica*) در حوزه ایلگنه چای ارسباران پرداختند و نشان دادند که بیشترین اهمیت گونه (بر اساس فراوانی نسبی، تراکم نسبی و چیرگی نسبی) مربوط به بلوط سفید و کمترین آن مربوط به گونه بارانک بوده است. (Mohammadzadeh et al., 2014). نیز به بررسی تنوع زیستی گونه های گیاهی در شیب های مختلف در دو حوزه جنگل های ارسباران پرداختند و نشان دادند که با افزایش شیب، غنای گونه ای و تنوع افزایش یافته است. همچنین تغییرات تنوع زیستی درختان بر اساس ارتفاع از سطح دریا در جنگل های ارسباران نشان داده است که با افزایش ارتفاع، غنای گونه ای کم و یکنواختی افزایش می یابد و افزایش ارتفاع به طور کل سبب کاهش تنوع می شود (Safari et al., 2020). (Ghanbari and Esmaili, 2022) نیز با بررسی تنوع گونه ای توده های شاخه زاد در جنگل های ارسباران نشان دادند که تنوع گونه ای (۱/۳۹)، غنا (۱/۲۹) و یکنواختی (۱/۴۲) این توده های شاخه زاد با توجه به مقادیر عددی به دست آمده مناسب هستند.

از آنجایی که وضعیت فعلی توده های جنگلی ارسباران با توجه به تخریب ها و دخالت های انسانی سال های اخیر در منطقه (چرای دام و تغییر کاربری)، دستخوش تغییرات زیادی بوده، در نتیجه ارزیابی تنوع زیستی در سطح کل منطقه جنگلی ارسباران ضروری به نظر می رسد تا با بررسی آن، از وضعیت ترکیب و تنوع گونه ای فعلی جنگل آگاه و با مقایسه آن با گذشته (در صورت وجود داده) و آینده (پایش) به بهبود شرایط توده های جنگلی کمک کرد. در نتیجه هدف از این پژوهش، ارزیابی و تعیین تنوع گونه ای درختی و درختچه ای جنگل های ارسباران با استفاده از

آماربرداری ها می توانند ابزار مناسبی برای تعیین تنوع زیستی جنگل ها و مدیریت آنها باشند.

منطقه جنگلی ارسباران که از نظر بوم شناسی جزو نه ذخیره گاه بیوسفر ایران تحت برنامه Man and Biosphere یونسکو قرار گرفته است، با وجود مساحت کم، گونه های با ارزش و اندمیک زیادی دارد. این جنگل ها گذری از مناطق و بوم سازگان های جنگلی هیرکانی به مناطق و بوم سازگان های جنگلی ارمنستان و مناطق و بوم سازگان های جنگلی زاگرس هستند و متاثر از جریان های آب و هوایی مختلف است که موجب ایجاد تنوع زیستی بالا، گونه های گیاهی و جانوری کمیاب و حضور عناصر گیاهی مربوط به اقلیم های مختلف شده است، به طوری که این منطقه کوچک جنگلی دارای ۱۳۳۴ گونه گیاهی و ۹۷ گونه درختی و درختچه ای است (Birang et al., 2001). اگرچه این جنگل ها حفاظتی بوده و هیچگونه بهره برداری چوبی در آنها انجام نمی شود اما فعالیت های شدید انسانی در چند دهه گذشته، سیمای ظاهری، ترکیب و ساختار جنگل های ارسباران را به شدت تغییر داده؛ به طوری که منطقه دچار از هم گسیختگی زیست محیطی شده است. بیشتر منطقه، پوشش گیاهی خود را در اثر تبدیل به زمین های زراعی، زغال گیری و یا چرای شدید ازدست داده و آماده فرسایش شده است و پوشش جنگلی آن به صورت لکه های بسیار کوچک و پراکنده باقی مانده است که در منطقه حفاظت شده، فرآیند تکه تکه شدن جنگل های ارسباران بیشتر بوده که دلیل آن دسترسی راحت تر و وجود جاده های بیشتر در منطقه حفاظت شده نسبت به منطقه غیرحفاظتی است (Ghanbari Sharafteh et al., 2010; Sasanifar et al., 2023). پژوهش های مفیدی در زمینه تنوع زیستی در منطقه ارسباران انجام شده که تعداد آنها اندک و بیشتر به صورت موردی هستند.

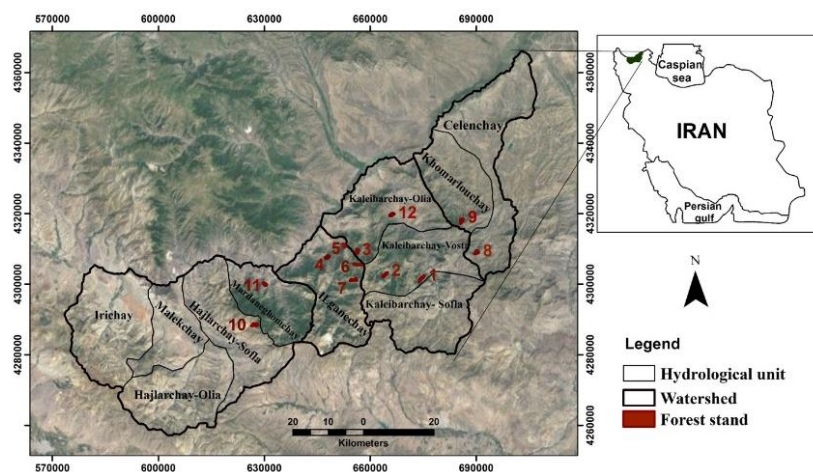
(Sagheb Talebi et al., 2014). طبق آخرین پژوهش انجام‌شده سطح تقریبی جنگل‌های واقع در منطقه ارسباران با تاج پوشش بالای پنج درصد، ۱۳۱۰۱۰ هکتار است (Ostadhashemi et al., 2023) که در عرض جغرافیایی $38^{\circ} 25' 59''$ تا $39^{\circ} 20' 17''$ شمالی و طول جغرافیایی $46^{\circ} 9' 18''$ تا $47^{\circ} 16' 5''$ شرقی قرار گرفته است. این ناحیه از چهار حوضه آبخیز اصلی با نام‌های سَلَن‌چای، کلیرچای، ایلگنه‌چای و حاجلرچای و ۱۱ واحد هیدرولوژیک تشکیل شده است (شکل ۱). طبق اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی (۲۰۰۶-۲۰۱۱)، میانگین دمای سالانه ارسباران ۱۰/۹ سانتی‌گراد، بارندگی سالانه ۳۳۳/۴ میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی ۷۰/۵ درصد، اقلیم به روش دومارتن نیمه خشک سرد و اقلیم به روش آمبرژه نیمه مرطوب سرد است (Asri and Partonia, 2016).

شاخص‌های تنوع زیستی و طبقه‌بندی توده‌های جنگلی بر اساس اندازه شباهت گونه‌ای آنها با استفاده از شاخص جاکارد است. این پژوهش می‌تواند اطلاعاتی از شرایط فعلی منطقه از نظر پایداری و ترکیب ساختاری آن ارائه دهد. با داشتن این اطلاعات و ارزیابی مجدد در دوره‌های بعدی می‌توان به پایش تنوع زیستی در منطقه ادامه داد و روند تغییر و حرکت آن را بررسی کرد و از این اطلاعات جامع در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و حفاظتی استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

جنگل‌های کوهستانی پهن‌برگ ارسباران در شمال غرب ایران و در ارتفاعات قره‌داغ از کناره رود مرزی ارس تا بیش از ۲۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا ادامه دارند و جزء ناحیه اصلی اروپ-سیبری (Euro-Siberian) و زیر ناحیه هیرکانی (Euxino-Hyrcanian) هستند.



شکل ۱- موقعیت حوضه‌های آبخیز، واحدهای هیدرولوژیک و توده‌های جنگلی آماربرداری‌شده در منطقه ارسباران

Fig 1. Location of the watersheds, hydrological units and studied forest stands in Arasbaran area

روش پژوهش
در این پژوهش از اطلاعات آماربرداری با قطعات نمونه ثابت استفاده شد. آماربرداری در ۱۲ توده جنگلی که بر اساس روش نمونه‌برداری د مرحله‌ای (Two- Stage

Sampling) انتخاب شدند (Zobeiri, 1994)، انجام شد. پراکنش و توزیع مناسب قطعه‌نمونه‌ها در رویشگاه‌ها، تیپ‌های جنگلی و گرادیان‌های ارتفاعی مختلف منطقه با رعایت اصول نمونه‌برداری تصادفی به‌گونه‌ای انجام

شد تا نتایج حاصل از آماربرداری، معرف کل منطقه جنگلی ارسباران باشد. به همین دلیل، ابتدا نقشه محدوده ۱۱ واحد هیدرولوژیک موجود در چهار حوضه آبخیز اصلی در ناحیه ارسباران با استفاده از نقشه‌های موضوعی موجود تهیه شد. سپس سه واحد هیدرولوژیک که فاقد پوشش جنگلی بودند (ملک چای، حاجی‌لر چای علیا و ایری چای) حذف شدند. در مرحله بعد در هر یک از هشت واحد هیدرولوژیک باقی‌مانده پارسل‌هایی به صورت تصادفی برای آماربرداری انتخاب شدند. به طوری که در حوضه‌های کلیرچای و ایلگنه‌چای که از حوضه‌های مهم و با پوشش جنگل وسیع در ناحیه ارسباران هستند؛ هر کدام چهار پارسل (در مجموع هشت پارسل) و در حوضه‌های سلن‌چای و حاجی‌لرچای که دارای پوشش جنگلی کمتری نسبت به دو حوضه دیگر هستند؛ هر کدام دو پارسل (در مجموع چهار پارسل) و در مجموع ۱۲ پارسل در توده‌های مختلف برای آماربرداری در نظر گرفته شد (شکل ۱).

سپس در داخل هر پارسل منتخب ۳۰ قطعه‌نمونه (حداقل تعداد نمونه قابل قبول از نظر آماری) به روش منظم- تصادفی پیاده شد. به طوری که در توده‌های پهن‌برگ به دلیل تراکم زیادتر درختان و وسیع بودن سطح توده‌ها از شبکه آماربرداری با ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ متر (شبکه معمول آماربرداری در جنگل‌های شمال کشور) و سطح قطعات نمونه دایره‌ای شکل سه آری (۳۰۰ مترمربع) (Alijanpour et al., 2018) استفاده شد. اما در توده‌های سوزنی‌برگ به دلیل تراکم کم درختان، ابعاد شبکه آماربرداری ۱۰۰×۱۰۰ متر و مساحت قطعات- نمونه دایره‌ای شکل ۱۰ آر (۱۰۰۰ مترمربع) در نظر گرفته شد. با توجه به ثابت و دائمی بودن قطعات نمونه، مرکز هر قطعه‌نمونه با دستگاه GPS ثبت و با رنگ‌آمیزی نزدیک‌ترین درخت به مرکز در ارتفاع

برابرسینه مشخص شد تا در دوره‌های بعدی به آسانی قابل بازیابی باشد. در داخل هر قطعه‌نمونه متغیرهای نوع گونه درختی، تعداد درختان، قطر در ارتفاع برابرسینه کل درختان با قطر بیشتر از پنج سانتی‌متر ($dbh \geq 5$)، ارتفاع قطورترین درخت در هر قطعه‌نمونه و نیز نزدیک‌ترین درخت به مرکز هر قطعه‌نمونه، فرم رویشی (درخت، درختچه)، درصد تاج پوشش و مبدا (دانه‌زاد، شاخه‌زاد) در هر قطعه‌نمونه تعیین و اندازه‌گیری شد. پس از جمع‌آوری داده‌های آماربرداری، ترکیب گونه‌ای، پراکنش قطری، متوسط سطح مقطع و تراکم در هکتار، ارتفاع برآوردی درختان بر اساس منحنی ارتفاع و درصد پایه‌های شاخه‌زاد و دانه‌زاد محاسبه شد.

پس از اتمام آماربرداری، در مجموع ۳۴۷ قطعه-نمونه در توده‌های موردنظر پیاده شد (۱۳ قطعه‌نمونه در نقاط غیرقابل اندازه‌گیری قرار گرفت) و مشخصات پارسل‌ها بر اساس ترکیب گونه‌ای به دست آمد (جدول ۱). در جنگل‌های ارسباران بیشتر درختان از گونه ممرز (*Carpinus betulus* L.) و دو گونه جنس بلوط (*Quercus petraea* L., *Quercus macranthera* Fisch. And C.A. Mey.) گونه‌های غالب منطقه را تشکیل می‌دهند.

تنوع زیستی شامل دو بخش مهم غنا و یکنواختی است که به تعداد گونه‌های موجود در منطقه و چگونگی همگنی و فراوانی آنها می‌پردازند که برای محاسبه این شاخص‌ها نیاز به سه نوع داده شامل تعداد کل گونه‌ها، تعداد کل درختان و تعداد درختان هر گونه است (Lakićević and Srđević, 2018). برای بررسی تنوع زیستی توده‌های جنگلی ارسباران از شاخص‌های غنای مارگالف (R1) (Margalef, 1958) و منهنیک (R2) (Menhinick, 1964) که به تعیین گوناگونی و تنوع گونه‌ها می‌پردازند و بر حسب تعداد گونه‌ها و تعداد کل

افراد یک جامعه به دست می‌آیند و همچنین شاخص‌های تنوع شانون-وینر (H) (Shannon, 1948) و سیمپسون (λ) (Simpson, 1949) که علاوه بر غنا به فراوانی نسبی هر گونه در جامعه نیز می‌پردازند و نیز شاخص‌های یکنواختی پایلو (J) (Pielou, 1966) و هپ (E) (Heip, 1974) که علاوه بر غنا به تنوع

گونه‌ای (تنوع شانون) نیز می‌پردازند، استفاده شد. این شاخص‌ها از رایج‌ترین شاخص‌های تنوع زیستی هستند که جداول خوبی و محاسبه آسان از ویژگی‌های آنهاست و از پرکاربردترین شاخص‌ها در پژوهش‌های بوم‌شناسی هستند (Fedor and Zvaríková, 2019).

جدول ۱- مشخصات و ترکیب گونه‌ای ۱۲ توده جنگلی مورد بررسی

Table 1. Characteristics and species composition of different 12 studied forest stands

توده ۶	توده ۵	توده ۴	توده ۳	توده ۲	توده ۱	مشخصه
Stand6	Stand5	Stand4	Stand3	Stand2	Stand1	Feature
90	93.5	92.5	96	86	89	مساحت (هکتار) Area (ha)
30	30	31	29	29	29	تعداد قطعه نمونه No. of Circular plot
HL	ML	ML	ML	HL	HL	دامنه ارتفاعی Elevation zone
A (68.2), B (17.6), C (7.7), Others (6.5)	A (53.7), B (15.5), C (13.3), Others (17.5)	A (56.2), B (21.2), C (10), Others (12.6)	A (44), B (44), C (8.4), Others (3.6)	A (78), B (16.4), C (1.4), Others (4.2)	A (73), B (22), C (3.3), Others (1.7)	ترکیب گونه‌ای (درصد) Composition of species (%)
49	64	63	38	33	39	دانه‌زاد (درصد) Standard (%)
51	36	37	62	67	61	شاخه‌زاد (درصد) Coppice (%)
توده ۱۲	توده ۱۱	توده ۱۰	توده ۹	توده ۸	توده ۷	
Stand12	Stand11	Stand10	Stand9	Stand8	Stand7	
39	27	89	92	90	91	مساحت (هکتار) Area (ha)
33	28	29	25	28	26	تعداد قطعه نمونه No. of Circular plot
LL	ML	HL	HL	HL	HL	دامنه ارتفاعی Elevation zone
D (98.5), Others (1.5)	B (23), C (21), D (44), Others (12)	B (93.1), C (3.7), Others (3.2)	A (40.7), B (24.8), C (18.1), Others (16.4)	A (33), B (32.6), C (22.3), Others (12.1)	A (34.8), B (39.9), C (18), Others (7.3)	ترکیب گونه‌ای (درصد) Composition of species (%)
77	40	54.4	22	23	49.8	دانه‌زاد (درصد) Standard (%)
23	60	45.6	78	77	50.2	شاخه‌زاد (درصد) Coppice (%)

A: *Carpinus betulus* L. & *C. orientalis* Mill. ; B: *Quercus petraea* L. & *Q. macranthera* Fisch. & C.A. Mey.; C: *Acer campestre* L. & *Acer monspessulanum* L. subsp. *Ibericum* (M.B) Yaltirik; D: *Juniperus foetidissima* Willd. & *J. excelsa* M. Bieb.; Others: *Cerasus avium* (L.) Moench., *Sorbus torminalis* (L.) Crantz, *Sorbus graeca* (Spach) Loddiges ex Schaver, *Sorbus aucuparia* L., *Fraxinus excelsior* L., *Ulmus glabra* Hudson, *Ulmus minor* Miller, *Cornus australis* C.A. Mey., *Cornus mas* L., *Crataegus* sp L., *Pyrus* sp L., *Taxus baccata* L., *Pistacia atlantica* Desf. Subsp. *Mutica* (Fisch & C.A. Mey.) Rech. F., *Mespilus germanica* L., *Prunus* sp L., *Corylus avellana* L., *Amygdalus fenzliana* (Fritsch) Lipsky = *A. communis*

* دامنه ارتفاعی: پایین‌بند (LL) < ۸۰۰ متر، میان‌بند (ML) ۸۰۰-۱۶۰۰ متر و بالا‌بند (HL) > ۱۶۰۰ متر

* LL: Lowland <800 m, ML: Midland 800- 1600 m, HL: Highland >1600 m

پس از محاسبه شاخص‌ها در تمام قطعات نمونه ۱۲ توده جنگلی، برای مقایسه بوم‌شناسی و طبقه‌بندی توده‌های مورد بررسی بر اساس شباهت یا عدم شباهت گونه‌ای بین توده‌های جنگلی، از شاخص جاکارد (Jaccard, 1901) استفاده شد که در پژوهش‌های محیط زیستی کاربرد زیادی دارد (Lakićević and Srđević, 2018). این شاخص به مقایسه دو گروه بر اساس حضور یا عدم حضور گونه‌ها (داده‌های کیفی) می‌پردازد. از نسبت گونه‌های مشترک بین دو گروه بر جمع گونه‌های مشترک و گونه‌های مختص هر گروه عددی به نام شاخص جاکارد به دست می‌آید، سپس فاصله جاکارد ($J \text{ distance} = 1 - J$) محاسبه می‌شود که مقدار آن بین صفر و یک است. هرچه عدد به یک نزدیک‌تر، یعنی دو گروه با هم شباهت بیشتری دارند (Lakićević and Srđević, 2018). دندروگرام حاصل از طبقه‌بندی توده‌ها نیز بر اساس فاصله جاکارد ترسیم شد. سپس با استفاده از آزمون تجزیه واریانس به بررسی تفاوت‌های آماری بین گروه‌ها از نظر شاخص‌های تنوع زیستی پرداخته شد. در این پژوهش، برای محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی از نرم‌افزار SDR، برای طبقه‌بندی توده‌ها از نرم‌افزار R 3.4.2 (پکیج

نتایج مشخصات کلی توده‌های مورد بررسی و ترکیب گونه‌ای درختی و درختچه‌ای آنها نشان داد که بیشتر توده‌ها در ارتفاع بالاتر از ۱۶۰۰ متر قرار گرفته‌اند و چهار گونه غالب در توده‌ها شامل *Carpinus spp L.* با فراوانی ۴۰ درصد، *Quercus spp L.* با فراوانی ۲۹ درصد، *Juniperus spp L.* با فراوانی ۱۲ درصد و *Acer spp L.* با فراوانی ۱۱ درصد هستند و همچنین فراوانی پایه‌های شاخه‌زاد نیز بیشتر از دانه‌زاد است.

پس از محاسبه شاخص‌های تنوع زیستی کل قطعات نمونه و تعیین شاخص‌ها برای هر توده جنگلی، شاخص جاکارد با مقایسه دو به دو توده‌ها به دست آمد. طبق جدول ۲، بیشترین شباهت مربوط به توده‌های نه و هشت و پس از آن توده‌های هفت و هشت و توده‌های یک و شش است. همچنین کمترین شباهت مربوط به توده‌های ۱۰ و ۱۲ و توده دو و ۱۲ است (جدول ۲).

جدول ۲- مقدار عددی شاخص جاکارد برای مقایسه دو به دو توده‌های مورد بررسی

Table 2. Similarity between studied forest stands with Jaccard index

توده ۱ Stand1	توده ۲ Stand2	توده ۳ Stand3	توده ۴ Stand4	توده ۵ Stand5	توده ۶ Stand6	توده ۷ Stand7	توده ۸ Stand8	توده ۹ Stand9	توده ۱۰ Stand10	توده ۱۱ Stand11
توده ۲ Stand 2	0.736									
توده ۳ Stand 3	0.487	0.371								
توده ۴ Stand 4	0.468	0.389	0.632							
توده ۵ Stand 5	0.540	0.439	0.500	0.653						

مقادیر عددی پررنگ نشان‌دهنده بیشترین شباهت‌ها و مقادیر عددی مورب، کمترین شباهت‌ها را نشان می‌دهند.

Values in bold represent the highest similarities and values in italic represent the lowest similarities between analyzed forest stands.

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

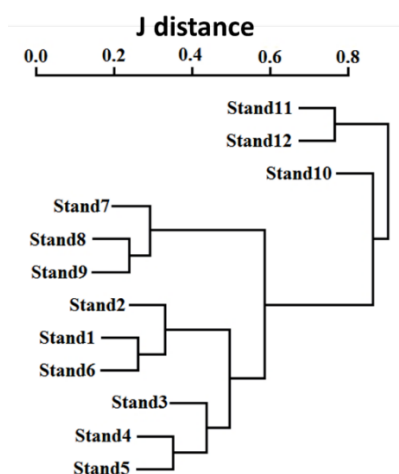
توده ۱۱	توده ۱۰	توده ۹	توده ۸	توده ۷	توده ۶	توده ۵	توده ۴	توده ۳	توده ۲	توده ۱	
Stand11	Stand10	Stand9	Stand8	Stand7	Stand6	Stand5	Stand4	Stand3	Stand2	Stand1	
						0.698	0.634	0.516	0.604	0.741	توده ۶ Stand 6
					0.438	0.433	0.539	0.623	0.291	0.370	توده ۷ Stand7
				0.747	0.412	0.439	0.523	0.510	0.235	0.302	توده ۸ Stand 8
			0.771	0.683	0.408	0.420	0.555	0.504	0.232	0.301	توده ۹ Stand 9
		0.113	0.141	0.190	0.119	0.107	0.122	0.231	0.113	0.141	توده ۱۰ Stand 10
	0.101	0.317	0.309	0.286	0.176	0.193	0.230	0.215	0.083	0.119	توده ۱۱ Stand 11
0.235	<i>0.007</i>	0.012	0.012	0.013	0.008	0.008	0.010	0.010	<i>0.007</i>	0.008	توده ۱۲ Stand 12

مقادیر عددی پررنگ نشان‌دهنده بیشترین شباهت‌ها و مقادیر عددی مورب، کمترین شباهت‌ها را نشان می‌دهند.

Values in bold represent the highest similarities and values in italic represent the lowest similarities between analyzed forest stands.

نه (گروه سوم)، توده‌های پهن‌برگ-سوزنی‌برگ ۱۱ و ۱۲ (گروه چهارم) وجود دارد و توده خالص پهن‌برگ ۱۰ (گروه پنجم) به‌صورت جداگانه قابل تقسیم است. در نتیجه طبق شکل دو توده‌های جنگلی موردبررسی را می‌توان به پنج گروه تقسیم کرد.

در ادامه با استفاده از مقادیر به‌دست‌آمده از شاخص جاکارد و فاصله جاکارد، دندروگرام توده‌های موردبررسی رسم شد. نتایج نشان داد که بیشترین شباهت‌ها بین توده‌های پهن‌برگ آمیخته یک، دو و شش (گروه اول)، توده‌های پهن‌برگ آمیخته سه، چهار و پنج (گروه دوم)، توده‌های پهن‌برگ آمیخته هفت، هشت و



شکل ۲- دندروگرام طبقه‌بندی توده‌های جنگلی بر اساس شاخص جاکارد

Fig 2. Dendrogram of forest stands based on Jaccard index values

پس از طبقه‌بندی توده‌های جنگلی، مشخصه‌های بوم‌شناسی شامل میانگین قطر برابر سینه، تراکم و سطح مقطع در هکتار، ارتفاع کل، درصد تاج پوشش و درصد پایه‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد برای هر گروه محاسبه شد و همچنین مقدار عددی شاخص‌های تنوع زیستی پنج گروه به دست آمد. طبق نتایج، گروه سه بیشترین شاخص‌های غنا ($R1=1/15$, $R2=0/92$)، تنوع ($H=1/2$, $\lambda=0/69$) و یکنواختی ($J=0/37$, $E=0/66$) و کمترین شاخص‌های غنا ($R1=0/29$)، تنوع ($H=0/21$, $\lambda=0/12$) و یکنواختی ($J=0/06$, $E=0/13$) را دارا هستند (جدول ۳).

جدول ۳- مقادیر عددی مشخصه‌های کمی و شاخص‌های تنوع زیستی پنج گروه طبقه‌بندی شده

Table 3. Values of quantified characteristics and biodiversity indices of five clustered groups					
گروه ۵	گروه ۴	گروه ۳	گروه ۲	گروه ۱	
Group 5	Group 4	Group 3	Group 2	Group 1	
8.3	10	13.5	12	8.8	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)
2170	247	961	1326	1998	تراکم (تعداد/هکتار) Density (N/ha)
13	2.4	16	18	13.6	سطح مقطع (مترمربع/هکتار) BA(m ² /ha)
6.3	4	7.2	12.7	10.8	ارتفاع درخت (متر) Height (m)
54.4	58.5	32	55	40	دانه‌زاد (درصد) Standard (%)
45.6	41.5	68	45	60	شاخه‌زاد (درصد) Coppice (%)
58	43	58	77	71	تاج پوشش (درصد) Canopy cover (%)
0.21	0.41	1.20	0.83	0.59	شانون-وینر H
0.12	0.39	0.69	0.56	0.39	سیمپسون λ
0.29	0.40	1.15	0.72	0.64	مارگالف R1
0.28	0.48	0.92	0.60	0.49	منهنیک R2
0.06	0.13	0.37	0.26	0.18	پایلو J
0.13	0.31	0.66	0.54	0.36	هیپ E

مشخصه‌های کمی
Quantified characteristics

تنوع
Diversity

شاخص‌های تنوع زیستی
Biodiversity indices

غنا
Richness

یکنواختی
Evenness

اعداد پر رنگ نشان‌دهنده بیشترین و اعداد مورب نشان‌دهنده کمترین مقادیر در بین پنج گروه هستند.

Numbers in bold represent the highest values and numbers in italic represent the lowest values between five groups.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین شاخص‌های تنوع در پنج گروه از نظر آماری در سطح ۰/۰۱ اختلاف معنی‌داری وجود دارد. همچنین برای شاخص‌ها، ضریب تغییرات محاسبه شد تا بتوان شاخص‌ها را با

یکدیگر مقایسه کرد. طبق نتایج بیشترین ضریب تغییرات مربوط به شاخص مارگالف و کمترین آن مربوط به شاخص سیمپسون است (جدول ۴).

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های تنوع زیستی بین پنج گروه طبقه‌بندی شده

Table 4. Results of ANOVA analysis for biodiversity indices between five classified groups

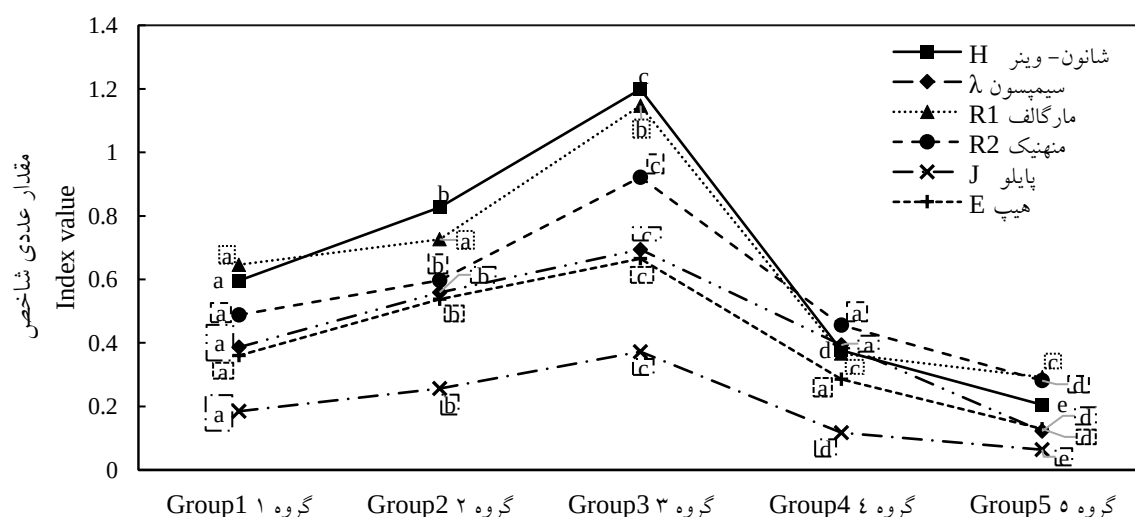
هپ	پایلو	منهنیک	مارگالف	سیمپسون	شانون-وینر	
E	J	R2	R1	λ	H	
0.44	0.22	0.59	0.7	2.12	0.72	میانگین Mean
0.29	0.15	0.33	0.5	1.14	0.49	انحراف معیار Std.D
67	69	56	72	54	69	ضریب تغییرات (درصد) CV (%)
40	60	47	39.5	53	60	مقدار آماره F F
0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	0.00**	معنی داری Sig.

** The mean differences are significant at the 0.01 level

** اختلاف معنی داری در سطح ۰/۰۱.

گروه‌ها به جز گروه یک و چهار اختلاف معنی دار نشان داده است و شاخص مارگالف در گروه‌های یک و دو و همچنین چهار و پنج اختلاف معنی داری نشان نداده است (شکل ۳).

در ادامه با استفاده از نتایج آزمون دانکن به بررسی تفاوت‌های بین گروه‌ها برای هر شاخص پرداخته شد. بر اساس نتایج، شاخص تنوع شانون-وینر و پایلو در بین پنج گروه کاملاً متمایز و دارای اختلاف معنی داری هستند. شاخص‌های سیمپسون، منهنیک و هپ در همه



شکل ۳- مقایسه شاخص‌های تنوع زیستی پنج گروه طبقه‌بندی شده با استفاده از آزمون دانکن (حروف کوچک نشان‌دهنده اختلاف معنی داری بین گروه‌ها در سطح اطمینان ۹۹ درصد است)

Fig 3. Comparison of different groups in terms of diversity indices based on Duncan test (Low letters are referring to statistical differentiation at the 0.01 level)

بحث

تنها راهبرد عملی برای حفظ، پایداری و استفاده درست از پتانسیل زیاد تنوع زیستی، داشتن اطلاعات کمی و کیفی متغیرها در طبیعت است که به وسیله شاخص‌های تنوع زیستی قابل بیان هستند (Fedor and Zvariková, 2019). با توجه به نتایج به دست آمده از مشخصه‌های کمی توده‌های مورد بررسی، مشخص شد که جنگل‌های ارسباران، جنگل‌های جوان، کم‌قطر (میانگین قطر ۱۰ سانتی‌متر) با تراکم درختی زیاد است که غالب توده‌ها به صورت شاخه و دانه‌زاد هستند که دلیل آن می‌تواند قطع یکسره درختان در گذشته برای زغال‌گیری در این جنگل‌ها، قدرت جست‌دهی زیاد گونه‌های ممرز و بلوط و دخالت‌های انسانی باشد (Alijanpour et al., 2011; Ostadhashemi et al., 2021). با بررسی گونه‌های درختی و درختچه‌ای منطقه مورد بررسی، ۲۵ گونه شناسایی شد که در کل منطقه مورد بررسی، جنس‌های *Carpinus* (دو گونه) و *Quercus* (دو گونه) حدود ۷۰ درصد ترکیب توده‌ها را تشکیل می‌دهند که پژوهش‌های گذشته نیز حاکی از تراکم زیاد ممرز و بلوط در منطقه است (Moradi Dirmandrik et al., 2015). (2014) Mohammadzadeh et al. با بررسی تنوع زیستی در دو حوضه ارسباران، ۲۶ گونه چوبی شناسایی کردند که بلوط سفید، ممرز و زغال اخته بیشترین حضور را داشتند.

نتایج بررسی شش شاخص تنوع زیستی در کل منطقه ارسباران و مقایسه آن با پژوهش‌های موردی و محدود در ارسباران (Mohammadzadeh et al., 2014; Ghanbari and Esmaili, 2022) و همچنین پژوهش‌های انجام گرفته در منطقه هیرکانی که شباهت‌های زیادی با منطقه ارسباران دارد نشان داد که به طور کلی مقدار عددی شاخص‌های به دست آمده نسبت به مناطق دیگر، مقدار عددی متوسطی هستند.

به عبارت دیگر از نظر غنای گونه‌ای تقریباً خوب اما از نظر یکنواختی اعداد بسیار کمی هستند و در نتیجه از نظر تنوع زیستی به نسبت خوب هستند.

بررسی شاخص‌های غنا نشان داد که شاخص مارگالف اغلب در تمامی موارد مقدار عددی بیشتری را نسبت به شاخص منهینک نشان داده است و با درصد ضریب تغییرات ۷۲ درصد، عملکرد بهتری نسبت به شاخص منهینک دارد. (Mohammadzadeh et al., 2014) شاخص مارگالف برای قسمتی از منطقه ارسباران را ۲/۲ و (Ghanbari and Esmaili, 2022) این شاخص را برای بخشی از جنگل‌های شاخه‌زاد ارسباران، ۱/۲۹ محاسبه کردند. همچنین کمترین مقادیر به دست آمده مربوط به شاخص‌های یکنواختی است. شاخص پایلو در بین تمام گروه‌ها تفاوت معنی‌داری نشان داده و همچنین ضریب تغییرات بیشتری دارد، در نتیجه عملکرد شاخص پایلو نسبت به هیپ بهتر بوده است، چنانکه (Ghanbari and Esmaili, 2023) بیشترین میانگین شاخص پایلو را برای بخشی از جنگل‌های شاخه-دانه‌زاد ارسباران ۱/۰۱ محاسبه کردند. (Esmailzadeh et al., 2012) نیز نشان دادند که شاخص پایلو با مقدار عددی ۰/۶ تمایز بین طبقات مختلف فیزیوگرافی را در ذخیرگاه افراتخته بهتر نشان داده است. شاخص‌های تنوع نیز نشان دادند که شانون-وینر که متاثر از غنای گونه‌ای است با مقدار عددی بیشتر، ضریب تغییرات بیشتر و تمایز معنی‌دار بین گروه‌ها عملکرد بهتری نسبت به سیمپسون که متاثر از یکنواختی است، داشته است. همچنین بسیاری از پژوهش‌های جنگل نشان داده‌اند که شاخص شانون-وینر مناسب‌تر از دیگر شاخص‌های تنوع است (Mohammadzadeh et al., 2014; Bahmany et al., 2014).

نتایج گروه‌بندی توده‌های جنگلی با استفاده از شاخص جاکارد نیز نشان داد که بیشترین شاخص‌های

تنوع زیستی به ترتیب مربوط به جنگل‌های پهن‌برگ آمیخته، توده‌های آمیخته پهن‌برگ-سوزنی‌برگ و پس از آنها توده خالص پهن‌برگ است. در بین گروه‌های پهن‌برگ آمیخته (یک، دو و سه)، گروه سه بیشترین غنای گونه‌ای را در بین گروه‌ها داشت که این می‌تواند به دلیل کاهش غالبیت گونه‌های اصلی و ایجاد فضای بیشتر برای حضور گونه‌های دیگر باشد. این گروه در بین توده‌های جنگلی پهن‌برگ آمیخته، کمترین سطح تاج پوشش و تراکم درختی و بیشترین میانگین قطر را داراست که نشان می‌دهد با کمی باز شدن تاج و فاصله بیشتر بین درختان، شرایط برای استقرار دیگر گونه‌ها ایجاد شده است. علاوه بر غنا، یکنواختی نیز در گروه سه نسبت به دو گروه دیگر افزایش یافته است که با توجه به نتایج قبلی در این مناطق (Ostadhashemi et al., 2021)، گروه‌های یک و دو، توده‌های بسته با سطح تاج پوشش زیاد، غالبیت بیشتر و اغلب یک آشکوبه هستند که سبب کاهش غنا و یکنواختی شد. طبق نتایج پژوهشی، آشکوب‌بندی‌های مختلف در جنگل سبب تغییر و بهبود غنا و تنوع در توده‌های جنگلی می‌شود (Bakhshandeh et al., 2018).

توده‌های آمیخته پهن‌برگ-سوزنی‌برگ (گروه چهار) نسبت به توده‌های پهن‌برگ آمیخته مقادیر تنوع زیستی کمتری داشته که این امر می‌تواند به دلیل کوهستانی بودن منطقه ارسباران و کم بودن رطوبت در پایین‌بند و میان‌بند و نیز تنک بودن این توده‌ها (کمترین سطح تاج پوشش) و تاثیر پوشش گیاهی سوزنی‌برگان بر خاک و وضعیت اسیدیته آن و همچنین شرایط سخت اقلیمی و توپوگرافی باشد. این گروه دارای کمترین شاخصه‌های بوم‌شناسی مانند تراکم، ارتفاع و سطح مقطع و همچنین قطر هستند و غنا و تنوع زیستی کمی دارند. نتایج پژوهشی نشان داده است که به ترتیب تنوع زیستی در جنگل‌های پهن‌برگ نسبت به جنگل‌های

سوزنی‌برگ آمیخته و سوزنی‌برگ خالص بیشتر است که مهم‌ترین علل آن را خصوصیات بوم‌شناسی متفاوت گونه‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ، تاثیر سوزنی‌برگان بر خاک و افزایش اسیدیته و در نتیجه کاهش عملکرد مواد مغذی خاک، کم بودن پوشش علفی کف در جنگل‌های سوزنی‌برگ که خود عاملی در افزایش تنوع در جنگل هستند و همچنین ایجاد محیط تاریک در جنگل‌های سوزنی‌برگ که برای گونه‌های سایه‌پسند قابل تحمل است، برشمرده است (Smith et al., 2005).

کمترین شاخص‌های تنوع زیستی مربوط به گروه پنج یعنی توده پهن‌برگ خالص *Quercus macranthera* با غالبیت زیاد، بیشترین تراکم درختی و کمترین میانگین قطر است. این امر می‌تواند به دلیل تخریب و برداشت پایه‌های قطور در گذشته و ایجاد فضاهای باز و فرصت بیشتر برای استقرار گونه نورپسند و مقاوم اوری در ارتفاعات بالای ارسباران باشد. همچنین تخریب ناشی از برداشت بی‌رویه درختان سبب تغییر وضعیت طبیعی توده‌های جنگلی و کاهش تعداد و تنوع گونه‌ای می‌شود (Kwiatkowska, 1994; Alijanpour et al., 2009). معمولا جوامع اوری در منطقه دارای ساختاری همگن با آمیختگی کم و یک آشکوبه هستند (Sefidi and Sadeghi, 2019).

نتیجه‌گیری

طبق نتایج این پژوهش مشخص شد که تقسیم‌بندی توده‌های جنگلی بر اساس تنوع زیستی و با استفاده از شاخص جاکارد که به خوبی سبب تمایز گروه‌ها شد، امکان‌پذیر بوده و می‌تواند در برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی بسیار کاربردی باشد. طبق نتایج PitkaEnen (1998) بهبود شاخص‌های تنوع بر اساس مشخصه‌ها و ساختار توده‌ها مانند ترکیب گونه‌ای، تعداد آشکوب و میانگین قطر درختان از طریق مدیریت درست جنگل‌ها امکان‌پذیر است. بنابراین برای رسیدن به

بیشتری برای حضور گونه‌های دیگر و فرصت دادن به پایه‌های قطور برای زادآوری بذری ایجاد کرد و در مناطق با غنای کمتر با ایجاد فضا و غنی‌سازی با گونه‌های پیش‌آهنگ بومی، منطقه را برای حضور گونه‌های اصلی آماده کرد. اجرای موفق این موارد به مدیریت صحیح حفاظتی از توده‌های جنگلی و جلوگیری از حضور دام، جلوگیری از شاخه‌زنی و قطع پایه‌های جوان، شناسایی پایه‌های قطور و ایجاد فضا برای تولید بذر، کاهش جست‌گروه‌ها برای فرصت دادن به پایه‌های بذری و بررسی زادآوری منطقه و بررسی علل عدم استقرار زادآوری در منطقه بستگی دارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات همکاران بزرگوار آقایان مهندس عظیم عباسلو، مهندس قاسم صفاپور، مهندس محمد پورخاکی، مهندس جواد افرادی و مهندس جواد شیخ‌زاده که طی پنج سال ما را در آماربرداری و اندازه‌گیری‌های عرصه‌ای یاری کردند، سپاسگزاریم.

References

- Alijanpour, A.; Eshaghi Rad, J.; Banj Shafiei, A., Investigation and comparison of two protected and non-protected forest stands regeneration diversity in Arasbaran. *Iranian Journal of Forest* **2009**, 1 (3), 209-217. (In Persian)
- Alijanpour, A.; Eshaghi Rad, J.; Banej Shafiei, A., Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Cornus mas* L. in Arasbaran forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2011**, 19 (3), 396-407. (In Persian)
- Alijanpour, A.; Fatollahi, A.; Eshaghi Rad, J.; Mohamed, A. R., Effect of aspect and soil on quantitative and qualitative characteristic of hornbeam (*Carpinus betulus* L.) in Arasbaran forest (case study: Ilginehchay and Kaleibarchay Watersheds). *Journal of Plant Research* **2018**, 30 (4), 887-898. (In Persian)
- Asri, Y.; Partonia, L., Site and silvicultural characteristics of *Juniperus foetidissima* Willd. endangered species in Arasbaran Biosphere Reserve. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, 24 (4), 687-699. (In Persian).
- Bahmany, H.; Ataei, I.; Moradmand Jalali, A., Compression of tree species indices in the darabkola forest, mazandaran. *Journal of Environmental Science and Technology* **2014**, 15 (4), 55-64. (In Persian)
- Bakhshandeh Navoroud, B.; Abrari Vajari, K.; Pilehvar, B.; Kooch, Y., Evaluating plant diversity and some features of Oriental beech in different tree-layers: A case study of Beech forests in Asalem, Guilan. *Plant Ecosystem Conservation* **2018**, 6 (12), 109-122. (In Persian).
- Birang, N.; Javanshir, A.; Mojtahedi, Y. *Flora of Azerbaijan*.; University of Tabriz: Tabriz., 2001; p 488. (In Persian)
- Esmailzadeh, O.; Hosseini, S.M.; Asadi, H.; Ghadiripour, P.; Ahmadi, A., Plant biodiversity in relation to physiographical factors in Afratakhteh Yew (*Taxus baccata* L.) Habitat, NE Iran. *Iranian Journal of Plant Biology* **2012**, 4 (12), 1-12. (In Persian)

- FAO, 2020. Sustainable forest management: lessons of history and recent developments. <https://www.fao.org/3/v6585e/v6585e07.htm>.
- Fedor, P.; Zvaríková, M. *Conservation Ecology; Biodiversity Indices: Encyclopedia of Ecology*, 2th ed.; Elsevier: 2019; pp 337-346.
- Ghanbari, S.; Esmaili, A., Quantitative characteristics and species diversity of coppice stands in the Arasbaran forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2022**, 30 (3), 288-298. (In Persian)
- Ghanbari, S.; Esmaili, A., Investigating the structure and biodiversity of the coppice with standard of Arasbaran forests. *Forest Research and Development* **2023**, 9 (3), 335-347. (In Persian)
- Ghanbari Sharafteh, A.; Marvie Mohajer, MR.; Zobeiri, M., Natural regeneration of Yew in Arasbaran forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, 18 (3), 380-389. (In Persian)
- Heip, C., A new index measuring evenness. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **1974**, 54, 555-557.
- Jaccard, P., Étude de la distribution florale dans une portion des Alpes et des Jura. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* **1901**, 37 (142), 547-579.
- Kindt, R.; Coe, R. *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. World Agroforestry Centre (ICRAF): Nairobi, Kenya, 2005; p 179.
- Kumar, P.; Dobriyal, M.; Kale, A.; Pandey, A. K.; Tomar, R. S.; Thounaojam, E., Calculating forest species diversity with information-theory based indices using sentinel-2A sensor's of Mahavir Swami Wildlife Sanctuary. *PLOS ONE* **2022**, 17 (5), 1-17.
- Kwiatkowska, A.J., Changes in the species richness, spatial pattern and species frequency associated with the decline of oak forest. *Vegetatio* **1994**, 112, 171-180.
- Lakićević, M.; Srđević, B., Measuring biodiversity in forest communities – a role of biodiversity indices. *Contemporary Agriculture* **2018**, 67 (1), 65 - 70.
- Margalef, R., Information Theory in Ecology. *General Systems* **1958**, 3, 36-71.
- Menhinick, E.F., A Comparison of Some Species-Individuals Diversity Indices Applied to Samples of Field Insects. *Ecology* **1964**, 45, 859-861.
- Mohammadzadeh, A.; Basiry, R.; Torahi, A.A.; Dadashian, R.; Elahian, M., Evaluation of biodiversity of plant species in Arasbaran area using non parametric measures with respect to topographic factor of slope: a case study of aquiferous land of Ilgina and Kaleibar Rivers. *Journal of Plant Research* **2014**, 27 (4), 728-741. (In Persian)
- Moradi Dirmandrik, SH.; Ramezani Kakroudi, E.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A., Quantitative and qualitative characteristics of Arasbaran Forest Protected Area in slope gradient classes. *Forest Research and Development* **2015**, 1 (1), 1-15. (In Persian).
- Naeem, S.; Thompson, L.J.; Lawler, S.P.; Lawton J.H.; Woodfin, R.M., Declining biodiversity can alter the performance of ecosystem. *Nature* **1994**, 368, 734-737.
- Ostadhashemi, R.; Akhavan, R; Abbaslou, A.; Safapour, GH.; Pourkhaki, M., Classification of forest degradation based on Quantitative characteristics in Arasbaran forests (Kaleibarchay and Ilginechay watersheds). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* **2021**, 18 (2), 287-299. (In Persian).
- Ostadhashemi, R.; Mirakhorlou, Kh.; Yarahmadi, J.; Najibzadeh, MR., Mapping forest distribution and density as well as other land uses in Arasbaran area using Sentinel 2 data. *Geographical information (Sepehr)* **2023**, 32 (125), 67-80. (In Persian).
- Pan, Y.; McCullough, K. Y.; Hollinger, D., Forest biodiversity, relationships to structural and functional attributes, and stability in New England forests. *Forest Ecosystems* **2018**, 5, (14):1-12.
- Pielou, EC., Species-diversity and pattern-diversity in the study of ecological succession. *Journal of Theoretical Biology* **1966**, 10, 370-383.
- Pitkänen, S., The use of diversity indices to assess the diversity of vegetation in managed boreal forests. *Forest Ecology and Management* **1998**, 112, 121-137.
- Pourbabaei, H.; Manafi, H.; Abedi, T., Investigation of woody species biodiversity in white Georgian oak tree (*Quercus petraea* subsp. *iberica*) sites (case study: Choobe daragh and Darana, Arasbaran). *Iranian Journal of Forest* **2010**, 2 (3), 197- 207. (In Persian).
- Sæbø, A.; Borzan, Ž.; Ducatillon, C.; Hatzistathis, A.; Lagerström, T.; Supuka, J.; García-Valdecantos, J.; Rego, F.; Van

- Slycken, J., *The Selection of Plant Materials for Street Trees, Park Trees and Urban Woodland*. In: *Urban Forests and Trees: A Reference Book*; Konijnendijk, C., Nilsson, K., Randrup, T., Schipperijn, J., Ed.; Springer Berlin Heidelberg: Berlin, 2005; pp 257-280.
- Safari, M.; Omid, N.; Sefidi, K.; Abhasht, S.; Elahian, MR., Influence of Elevation on Tree Species Biodiversity Indicators in Arasbaran Forest. *Environmental Sciences Studies* **2020**, 5 (3), 2801- 2806. (In Persian)
- Sagheb Talebi, Kh.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future.*; Springer Dordrecht., 2014; P 152.
- Sasanifar, S.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A.; Eshaghi Rad, J.; Molaei, M., Changes of landscape metrics in Arasbaran forests during 45 years of protection. *Forest Research and Development* **2023**, 9 (1), 81- 93. (In Persian)
- Sefidi, K.; Sadeghi, M., Structural characteristics of *Quercus macranthera* forests in Arasbaran region, North West of Iran (Hatam Mashe Si, Meshgin-Shahr). *Iranian Journal of Forest* **2019**, 11 (3), 347-361. (In Persian)
- Shannon, C.E., A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* **1948**, 27, 379-423.
- Simpson, E.H., Measurement of diversity. *Nature* **1949**, 30, 163- 688.
- Smith, G.; Gittings, T.; Wilson, M.; French, L.; Oxbrough, A.; O'Donoghue, S.; Pithon, J.; O'Donnell, V.; McKee, A.M.; Iremonger, S.; O'Halloran, J.; Kelly, D.; Mitchell, F.; Giller, P.; Kelly, T. *Assessment of Biodiversity at Different Stages of the Forest Cycle*, Bioforest project., 2005; p 247.
- Storch, F.; Boch, S.; Gossner, M. M.; Feldhaar, H.; Ammer, C.; Schall, P.; Polle, A.; Kroiher, F.; Müller J.; Bauhus, J., Linking structure and species richness to support forest biodiversity monitoring at large scales. *Annals of Forest Science* **2023**, 80 (3), 1-17.
- Zobeiri, M. *Forest Inventory.*; Tehran University Press, Tehran., 1994; p 401. (In Persian)

Assessing and classification of tree species diversity in the Arasbaran forests of Iran

Raheleh Ostadhashemi^{*1}, Reza Akhavan² and Roya Abedi³

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, East Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Tabriz, I. R. Iran. (ra.oh.fo@gmail.com)

2- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (akhavan@rifr-ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, I. R. Iran. (abedi.roya@yahoo.com)

Received: 11 October 2023

Accepted: 07 December 2023

Abstract

Background and objectives: Biodiversity loss, increase in invasive species, and climate change are challenging issues of this century leading to decreased plant diversity and negative impacts on the sustainability and stability of ecosystems such as forests. Arasbaran forests have significantly changed in recent years due to degradation and human interventions. Therefore, it is essential to assess the biodiversity of Arasbaran forests in terms of species composition and species diversity to improve the forest stands stability. The aim of this research was to evaluate and determine the tree and shrub species diversity in the Arasbaran forests using biodiversity indices and classifying forest stands based on their species similarity.

Methodology: Mountainous broad-leaved forests of Arasbaran located in the northwest of Iran belonging to the main Euro-Siberian region and the Hyrcanian sub-region is known as a biosphere reserve of Iran. However these forests are protected, but intense human activities in recent decades have severely changed the appearance, composition, and structure of Arasbaran forests. To conduct this research, 12 forest stands were randomly selected all over the area based on suitable distribution of stands in different forest types and elevation gradients using a two-stage sampling method. Then, 347 circle permanent sample plots of 300 and 1000 m² were established using a systematic-random sampling approach and all tree parameters were measured. Afterward, species composition, basal area distribution, mean cross-sectional area, density per hectare, tree height, and proportion of sprout and seedling bases were estimated based on the collected data. To assess the species diversity of the stands, Margalef and Menhinick richness indices, Pielou and Heip evenness indices, and Shannon-Wiener and Simpson diversity indices were used. Furthermore, the Jaccard index was applied for classifying forest stands based on species similarity or dissimilarity, and a dendrogram was prepared based on Jaccard distances. Statistical differences among groups regarding biodiversity indices were examined using analysis of variance.

Results: Based on the results, 25 tree species were identified in the study area, including four dominant species of *Carpinus spp* L. with 40%, *Quercus spp* L. with 29%, *Juniperus spp* L. with 12%, and *Acer spp* L. with 11%. The quantitative characteristics of the studied stands indicated that the forests of Arasbaran are young forests with small tree diameters (average diameter of 10 cm) and high tree density, with the dominance of coppice and seedling bases, that it is likely due to historical clear-cutting of forests for charcoal production, strong resprouting ability of species such as hornbeam and oak, and human interventions. The obtained six biodiversity indices showed that the species richness, evenness and biodiversity were moderate, very low, and relatively moderate respectively in the Arasbaran forests. Based on the Jaccard index, forest stands were divided into five groups, which analysis of variance results indicating significant statistical differences between groups in terms of biodiversity indices. The highest biodiversity indices related to mixed broad-leaved stands with values of 1.15, 0.66, and 0.21 for richness, evenness, and diversity indices respectively, while the lowest indices associated with pure stands of *Quercus macranthera* with values of 0.28, 0.06, and 0.12 for richness, evenness, and diversity

* Corresponding author

Tel: +989125701432

indices respectively. Furthermore, the Margalef, Pielou and Shannon-Wiener indices were recognized as the best indices for the region based on the coefficient of variation.

Conclusion: According to the results, biodiversity of tree species is more influenced by species richness, and species richness plays a significant role in the variation of biodiversity in the Arasbaran region. These forests are dominated by two or three tree species, that leading to a reduction in evenness. This research revealed that classifying tree species based on biodiversity using the Jaccard index, which effectively differentiated groups, is feasible and can be useful in conservation and management decisions. Therefore, it is necessary to assess the biodiversity indices and identifying factors caused to reduction in biodiversity in the region in order to improve them to achieve sustainability. Successful management plans depend on proper conservation practices for the forests, preventing livestock grazing in the forest stands, avoiding tree cutting, identifying seed-trees and creating space for seed production by removal of the coppice sprouts and investigation of the reasons for lack of establishment of regeneration in the region.

Keywords: Arasbaran area, Biodiversity indices, Jaccard, Species diversity.

تأثیر قارچ میکوریزا بر ویژگی‌های آنتی اکسیدانی و جذب عناصر غذایی نهال‌های پالونیا فورتونی
(*Paulownia fortunei*) تحت تنش خشکیالهام حسنی^۱، سعید جلالی هنرمند^۲، مرتضی پوررضا^{۳*} و علی بهشتی آل‌آقا^۴

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی جنگل، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (elhamhasani.2868@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (sjhonarmand@yahoo.com)

۳- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (pourreza@razi.ac.ir)

۴- دانشیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. (beheshtiali97@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۲

چکیده

مقدمه و هدف: تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در جهان و از شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی است. به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، استقرار و رشد نهال‌های جوان، کاملاً تحت تأثیر کمبود آب و تنش خشکی است. در این شرایط استفاده از همزیستی میکروارگانیسم‌ها به ویژه قارچ‌های میکوریزایی، می‌تواند با کمک به افزایش جذب آب و عناصر غذایی، اثر تنش خشکی را کاهش دهد. بنابراین، هدف از انجام این پژوهش، شناسایی اثر تلقیح قارچ میکوریزا آربسکولار بر جذب برخی عناصر غذایی ماکرو و میکرو و همچنین فعالیت آنزیم‌های آنتی اکسیدانی گونه پالونیا فورتونی (*Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl) به عنوان یک گونه تندرشد بود.

مواد و روش‌ها: این آزمایش گلدانی، به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو عامل انجام گرفت. عامل اول شامل چهار سطح تنش خشکی (بدون تنش با آبیاری کامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، تنش ضعیف با آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، تنش متوسط با آبیاری در ۶۰ درصد ظرفیت زراعی و تنش شدید با آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل دو سطح بدون و با قارچ‌های میکوریزا آربسکولار بود. اعمال تیمارهای تنش خشکی بر اساس روش وزنی انجام شد. ویژگی‌های مورد بررسی شامل اندازه‌گیری پروتئین محلول، آنزیم‌های کاتالاز، پراکسیداز، سوپراکسید دیسموتاز و همچنین جذب عناصر غذایی همچون فسفر، نیتروژن، پتاسیم، روی، آهن و منگنز بود. پس از دسته‌بندی داده‌ها، پراکنش نرمال و همگنی واریانس داده‌ها به ترتیب با آزمون شاپیرو ویلک و آزمون لوون بررسی شد. از

تحلیل واریانس دو طرفه برای بررسی معنی‌داری اثر ساده و متقابل عامل‌ها استفاده شد و برای مقایسه میانگین داده‌ها، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر متقابل تنش خشکی و مایکوریزا بر هیچ یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود. اثر ساده مایکوریزا بر تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بوده ولی بر دیگر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد. نتایج نشان داد که تنش خشکی به‌طور معنی‌داری سبب افزایش مقدار پروتئین محلول، فعالیت آنزیم پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت پروتئین محلول مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $38/95$ و کمترین آن مربوط به تیمار بدون تنش (شاهد) با میانگین $31/45$ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ است ولی مابین تیمارهای تنش ضعیف، متوسط و تنش شدید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مورد غلظت آنزیم کاتالاز مابین تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید، همچنین تیمار تنش ضعیف و تنش متوسط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین غلظت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $3/77$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین و کمترین آن مربوط به تیمار بدون تنش (شاهد) با میانگین $3/21$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین بوده ولی، مابین تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید و همچنین مابین تیمارهای تنش ضعیف و تنش متوسط اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بیشترین غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $0/176$ و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد یا بدون تنش با میانگین $0/108$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین بود. غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار با مایکوریزا با میانگین $0/159$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین و به‌طور معنی‌داری بیشتر از غلظت این آنزیم در تیمار بدون مایکوریزا با میانگین $0/140$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین مشاهده شد. تنش خشکی همچنین باعث کاهش کلیه عناصر غذایی اندازه‌گیری شده شد؛ درحالی‌که تلقیح با قارچ مایکوریزا سبب افزایش عناصر غذایی به جز نیتروژن در کلیه سطوح تنش خشکی شد.

نتیجه‌گیری کلی: گرچه با افزایش سطوح تنش خشکی، جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو توسط نهال‌های پالونیا فورتونی کاهش می‌یابد ولی کاربرد قارچ مایکوریزا می‌تواند در شرایط تنش خشکی، جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو را به‌دلیل جذب بهتر آب توسط هیف‌های گسترش‌یافته در اطراف ریشه‌ها بهبود بخشد. بنابراین به نظر می‌رسد که قارچ مایکوریزا در جذب و متابولیسم عناصر مورد نیاز نهال‌های پالونیا فورتونی به‌ویژه در شرایط تنش اهمیت زیادی دارد. همچنین، تلقیح قارچ مایکوریزا باعث افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD) شد که می‌تواند مقاومت نهال را در برابر تنش خشکی افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: پراکسیداز، پروتئین محلول، سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز.

مقدمه

پالونیا فورتونی (*Paulownia forotoni* L.)، یکی از تندرشدترین گونه‌های جنس پالونیا است که در مناطقی از چین، لائوس و ویتنام با متوسط بارندگی ۷۷۰ میلی‌متر به شکل طبیعی رشد می‌کند. گونه‌های جنس پالونیا برای رشد و عملکرد مناسب در مناطقی با بارندگی کمتر از رویشگاه طبیعی، به آبیاری منظم کافی و با شوری کم نیاز دارند (Nodeh et al., 2021; Sheikh et al., 2017). کاهش منابع چوبی و افزایش نیاز به چوب سبب ایجاد جنگلکاری با گونه‌های تندرشد شده است (Swamy et al., 2006). پالونیا فورتونی از گونه‌های تندرشد غیربومی است که علاوه بر تولید چوب در زیباسازی فضای سبز شهری نیز استفاده می‌شود. چوب این گونه به دلیل سبکی و مقاومت بسیار زیاد، کاربردهای فراوانی در صنایع تولیدی دارد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای چوب نراد، تیک، ساچ و سرخ‌چوب باشد (Bahrinejad and Khazaiean, 2013).

تنش خشکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان در جهان و از شایع‌ترین تنش‌های غیرزیستی است. تنش خشکی، تنشی چندبعدی است که طیف وسیعی از پاسخ‌های فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و مولکولی را در گیاهان تحریک می‌کند (Moayedinezhad et al., 2020). از مهم‌ترین اثرهای تنش خشکی، اختلال در جذب عناصر غذایی است (Hu and Schemidhalter, 2005) که هر کدام از این عناصر وظایف مهمی را در گیاهان برعهده دارند. با توجه به اینکه کلیه عناصر غذایی در گیاهان به شکل محلول در آب جذب می‌شوند، جذب عناصر در شرایط تنش خشکی کاهش می‌یابد (Hussain et al., 2018; Askari et al., 2019). تنش خشکی به‌طورکلی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی را در گیاهان

تحت تأثیر قرار داده و به شکل قابل توجهی رشد آن‌ها را کاهش می‌دهد (Ghanbari et al., 2020; Saeidi Abueshaghi et al., 2023). سبب افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همچون کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز در گیاه می‌شود (Zafari et al., 2020).

تلقیح گیاهان با انواع مختلف قارچ‌های مفید خاکزی، از استراتژی‌های مقابله با تنش خشکی به‌شمار می‌رود (Ghadirnezhad Shiade et al., 2023). قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار پراکنش وسیعی داشته و با بیشتر گونه‌های گیاهی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک همزیستی دارند (Zamani kebrabadi et al., 2020). این قارچ‌ها سبب افزایش مقاومت بیشتر درختان در مقابل تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی می‌شوند، چرا که همزیستی مایکوریزایی منجر به افزایش هدایت آب در ریشه می‌شود (Ostadi et al., 2021; Zamani kebrabadi et al., 2023). به‌طورکلی افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی دارای اثر مستقیم با همزیستی مایکوریزا آربسکولار در پاسخ به تنش خشکی در گیاه میزبان است، به‌صورتی‌که با تلقیح مایکوریزا فعالیت آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش خشکی، افزایش پیدا می‌کند (Qiu-shuang et al., 2022; Spinoso-Castillo et al., 2023; wu et al., 2015; Jia et al., 2013). پروتئین‌های محلول در شرایط تنش خشکی سبب کمک به رشد گیاه و پایداری غشا در شرایط تنش می‌شوند (Bartels and Salamini, 2001). تلقیح مایکوریزایی سبب افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز می‌شود (Alguacil et al., 2003). عملکرد قارچ‌های مایکوریزا شامل افزایش سطح مؤثر ریشه و به تبع آن توانایی افزایش جذب فسفر، افزایش فعالیت آنزیم فسفاتاز و ترکیبات آلی حل‌کننده فسفات نامحلول خاک، سبب شده است که این قارچ‌ها به‌عنوان کودهای زیستی

استفاده شود (Mohammadi et al., 2019; Begum et al., 2019). گزارش شده است که همزیستی با قارچ میکوریزا علاوه بر اینکه جذب عناصر غذایی همچون نیتروژن، فسفر، آهن و پتاسیم در گیاه را افزایش می‌دهد، سبب کاهش اثرهای ناشی از سوء فقر عناصر غذایی و تنش‌های خشکی و شوری می‌شود (Abbaspour et al., 2012; Begum et al., 2019; Dutt et al., 2013; Geneva et al., 2010; Polcyn et al., 2019).

در پژوهشی که توسط Naheeda et al. (2022) بر روی گیاه تنباکو انجام شد، مشاهده شد که همزیستی میکوریزایی در شرایط تنش خشکی سبب بهبود فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و وضعیت تغذیه‌ای گیاه تنباکو شده‌است. در پژوهش Ashraf et al. (2010) نیز مشخص شد که گیاهان همزیست با میکوریزا دارای غلظت بیشتری از عنصر پتاسیم نسبت به گیاهان غیرهمزیست هستند. در پژوهش دیگری توسط Aghababaei et al. (2011) درباره اثر همزیستی قارچ میکوریزا بر ژنوتیپ‌های مختلف بادام نشان داده شد که این همزیستی منجر به کاهش غلظت نیتروژن در اندام‌های هوایی و زیرزمینی بادام شد. به‌صورت کلی جذب عناصر غذایی متحرک همچون نیتروژن، به نسبت تبخیر و تعرق و حرکت توده‌ای بستگی دارد. به‌طوری‌که هر چه این نسبت بزرگتر شود، مقدار جذب این عناصر نیز بیشتر می‌شود اما برای جذب عناصر غیرمتحرک مثل فسفر و روی، ویژگی‌های ریشه گیاه همچون سرعت رشد طولی و طول کل ریشه، سرعت جذب عناصر توسط ریشه و سطح جذب ریشه موثرند و به همین دلیل همزیستی با قارچ میکوریزا سبب افزایش غلظت فسفر در ریشه و اندام‌های هوایی بادام می‌شود. Zhang et al. (2019) اثر قارچ میکوریزا آربسکولار را در بهبود رشد و تحمل به خشکی نهال *Zenia insignis* بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاهان همزیست

با قارچ میکوریزا در شرایط خشکسالی تاثیر مثبتی بر زیست‌توده این گیاه، اسمولیت‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی داشته و محتوای فسفر شاخه‌ها در گیاهان میکوریزایی نیز افزایش می‌یابد. در پژوهشی دیگر، Ghanbary et al. (2020) تاثیر قارچ میکوریزا و ریزوباکتری محرک رشد بر فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را در نهال‌های استبرق در شرایط تنش خشکی موردبررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که تلقیح میکوریزا و ریزوباکتریایی سودوموناس در شرایط تنش خشکی به‌صورت معنی‌داری غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی را افزایش می‌دهد. با توجه به نبود اطلاعات کافی در خصوص چگونگی پاسخ نهال‌های تلقیح‌شده گونه پالونیا با قارچ‌های همزیست، به تنش خشکی، هدف از انجام این پژوهش، شناسایی تاثیر کاربرد قارچ میکوریزا آربسکولار در شرایط تنش خشکی بر غلظت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و جذب غلظت برخی عناصر پرمصرف و کم‌مصرف بر گونه پالونیا فورتونی است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش برای تعیین تاثیر همزیستی قارچ میکوریزا بر جذب عناصر غذایی پرمصرف (نیتروژن، پتاسیم و فسفر)، عناصر کم‌مصرف (آهن، روی و منگنز) و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی تحت تنش خشکی بر روی نهال پالونیا فورتونی در سال ۱۴۰۱-۱۳۹۹ در گلخانه پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی استان کرمانشاه اجرا شد. این آزمایش گلدانی، به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و دو عامل انجام گرفت. عامل اول شامل چهار سطح تنش خشکی (بدون تنش با آبیاری کامل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی، تنش ضعیف با آبیاری در ۸۰ درصد ظرفیت زراعی، تنش متوسط با آبیاری در ۶۰ درصد

ظرفیت زراعی و تنش شدید با آبیاری در ۴۰ درصد ظرفیت زراعی) و عامل دوم شامل دو سطح بدون و با قارچ‌های مایکوریزا آربسکولار بود. قارچ مایکوریزای تجاری به نام مایکوروت، حاوی سویه‌های *Glomus etuncatum* با تعداد (CFU/g) 10^7 تا 10^8 بود که توسط شرکت دانش‌بنیان زیست فناوری پیش‌تاز واریان با تایید موسسه آب و خاک کشور تولید شده بود. بذره‌های پالونیا به مدت یک هفته در دمای چهار درجه سانتی‌گراد سرمادهی شده و ۲۴ ساعت قبل از کشت در آب خیس‌انده شدند، سپس در دو سینی کشت، به صورت جداگانه برای تولید نهال کاشته شد. یک سینی با بذرهایی که قبل از کاشت، مرطوب و سپس با قارچ مایکوریزا بذرمال شده بودند و سینی دیگر که با بذره‌های تلقیح نشده (شاهد)، پر شدند. بسترهای کشت در محیط گلخانه و در دمای بین ۲۲ تا ۲۶ درجه سانتی‌گراد با آبیاری منظم تا زمان جوانه‌زنی نگهداری شد. پس از تولید، نهال‌ها در مرحله چهاربرگی به گلدان منتقل شدند. بستر کشت گلدان‌ها ترکیبی از خاک مزرعه، ماسه و کمپوست برگ با نسبت‌های دو: یک: یک، آماده و به‌طور مساوی در گلدان‌ها تقسیم شد. پس از انتقال نهال‌ها به گلدان به مدت یک ماه هر هفته از کود ترکیبی نیتروژن، فسفر و پتاسیم (NPK) هر یک به مقدار ۲۰ درصد استفاده شد (Khaleghi et al., 2019). اعمال تنش‌های خشکی به مدت چهل روز انجام شد.

تعیین ظرفیت زراعی

اعمال تیمارهای تنش‌خشکی بر اساس روش وزنی انجام شد. ابتدا یکی از گلدان‌ها از خاک مورد استفاده پر و با استفاده از ترازو وزن شد. سپس با افزودن آب، خاک گلدان را تا درجه اشباع رسانده و به مدت چندین ساعت اجازه داده شد تا گلدان پس از زهکشی آب اضافی، به ظرفیت زراعی مزرعه برسد. در این مرحله

گلدان را به سرعت توزین شده و خاک آن در آون با دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۴۸ ساعت کاملاً خشک شد. سپس با مشخص شدن درصد وزنی رطوبت خاک در ظرفیت زراعی، مقدار رطوبت موجود در خاک برای اعمال تیمارهای خشکی مختلف مشخص شد (Sanjari Mijani et al, 2015). همچنین با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (مدل-LUTRON PMS 714) به موازات روش وزنی استفاده شد.

کلونیزاسیون ریشه

پس از اتمام دوره تنش از قسمت‌های جوان ریشه در کلیه تیمارها حدود یک گرم جدا کرده و برای تعیین کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا از روش Phillips and Hayman (1970) با اندکی تغییر استفاده شد.

تعیین جذب عناصر غذایی

مقدار یک گرم از نمونه‌های برگ آسیاب شده و مخلوط شده تکرارهای هر تیمار (قبل و بعد از تنش) را به صورت مجزا در بوت‌چینی قرار داده و در دمای ۵۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد درون کوره به مدت ۱۰ ساعت حرارت داده شد تا به صورت خاکستر درآید. بعد از سرد شدن خاکستر نمونه‌ها، به هر نمونه مقدار ۱۰ میلی لیتر HCL دو نرمال اضافه شد و توسط دستگاه جذب اتمی، غلظت برخی عناصر غذایی شامل پتاسیم، آهن، روی و منگنز اندازه‌گیری شد (Emami, 1996). برای اندازه‌گیری غلظت نیتروژن از روش Bozkurt and Yarılgil (2003) به کمک دستگاه کج‌لدال استفاده شد. برای اندازه‌گیری فسفر نیز پس از تهیه محلول‌های استاندارد، مقدار ۱۰ سی‌سی از عصاره‌های برگ و شاهد (اسید سولفوسالسیلیک)، در بالن ژوژه ۵۰ میلی‌لیتری ریخته و مقدار ۱۰ سی‌سی از محلول آمونیوم مولیبدات وانات به آن اضافه شد و به حجم رسانده شد. در این مرحله، مقدار جذب نمونه‌ها در طول موج ۴۷۰ نانومتر

به وسیله دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Carry به روش رنگ سنجی تعیین شد (Chapman and Pratt, 1961).

سنجش غلظت پروتئین کل

برای استخراج پروتئین کل ۲۵۰ میلی گرم از نمونه های پودر شده را توزین و در میکروتیوپ ها ریخته و یک میلی لیتر از بافر استخراج به آن اضافه شد و به مدت ۱۵ دقیقه با دمای چهار درجه سانتی گراد و با سرعت ۱۳۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. برای سنجش غلظت پروتئین محلول، مقدار ۰.۱٪ گرم ماده کوماسی برلیانت بلو G-250 در پنج میلی لیتر اتانول ۹۶ درصد در تاریکی کامل حل شد، در ادامه ۱۰ میلی لیتر اسید فسفریک ۸۵ درصد آرام آرام به محلول اضافه و کاملاً همگن شد و در انتها حجم آن به کمک آب مقطر به ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد. سپس در چاهک های پلیت، ۲۰ میکرولیتر از عصاره گیاهی و ۱۸۰ میکرولیتر از معرف ریخته و پس از گذشت ۱۵ دقیقه، مقدار جذب نوری آن در طول موج ۵۹۵ نانومتر با دستگاه الیزا خوانده شد (B Bradford, 1976).

سنجش فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدانی

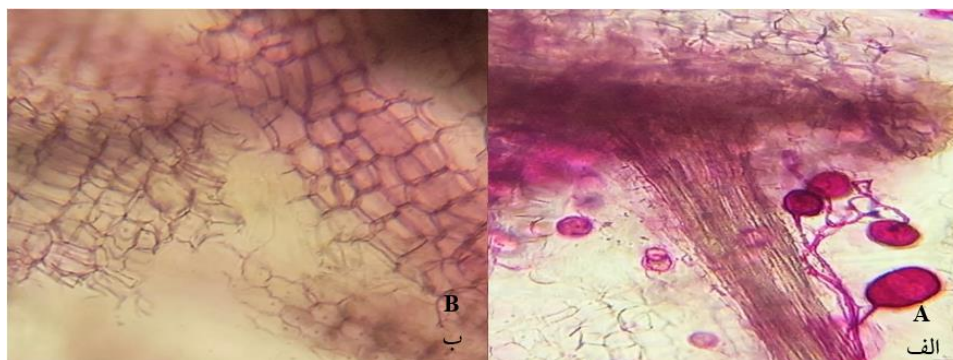
پس از آماده سازی عصاره پروتئینی به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با اندکی تغییر از روش Sinha (1972) استفاده و در طول موج ۵۷۰ نانومتر مقدار جذب نوری قرائت شد. برای اندازه گیری آنزیم پراکسیداز با

کمی تغییر از روش Chance and Maehly (1995) با جذب نوری ۴۷۰ نانومتر استفاده شد و برای اندازه گیری فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز از روش Beauchamp and Fridovich (1970) به کمک دستگاه الیزا مقدار جذب نور آن در طول موج ۵۶۰ نانومتر قرائت شد.

پس از دسته بندی داده ها، پراکنش نرمال و همگنی واریانس داده ها به ترتیب با آزمون شاپیرو ویلک و آزمون لوون بررسی شد. برای تجزیه و تحلیل داده ها از برنامه آماری SPSS استفاده شد و از آنالیز واریانس دو طرفه برای بررسی معنی داری اثر ساده و متقابل عامل ها استفاده شد و برای مقایسه میانگین داده ها، در صورت معنی دار شدن نتیجه آنالیز واریانس، از آزمون چند دامنه - ای دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج مربوط به بررسی کلونیزاسیون ریشه نهال های پالونیا با قارچ های مایکوریزا نشان داد که کلونیزاسیون قارچ مایکوریزا به خوبی با ریشه نهال ها ایجاد شد. (شکل ۱). همانطور که در شکل ۱ (ب) مشاهده می شود، میسلیم قارچ در اپیدرم و یاخته های قشر ریشه نفوذ یافته و تشکیل وزیکول گلابی شکل به صورت بین سلولی در بافت کورتکس ریشه داد.



شکل ۱- ریشه نهال مایکوریزایی (الف) و غیر مایکوریزایی (ب) گونه پالونیا فورتونی

Figure 1. Mycorrhizal root (A) and non-mycorrhizal root (B) of *Paulownia fortunei*

غلظت آنزیم‌ها آنتی‌اکسیدانی و پروتئین محلول

نتایج مربوط به تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد اثر متقابل تنش خشکی و مایکوریزا بر هیچ یک از صفات مورد بررسی معنی‌دار نبود (جدول ۱). از سویی دیگر، اثر ساده سطوح تنش خشکی بر تغییرات آنزیم پراکسیداز، آنزیم سوپراکسید دیسموتاز، کاتالاز و پروتئین محلول در سطح یک درصد معنی‌دار بود. همچنین اثر ساده مایکوریزا بر تغییرات آنزیم سوپراکسید دیسموتاز معنی‌دار بوده ولی بر دیگر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت پروتئین محلول مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $38/95$ و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد یا بدون تنش با میانگین $31/45$ میلی گرم بر گرم وزن تر برگ است و مابین تیمارهای تنش ضعیف، متوسط و تنش شدید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). در خصوص فعالیت آنزیم کاتالاز، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت آنزیم کاتالاز مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $0/45$ و کمترین مقدار آن متعلق به تیمار بدون تنش با میانگین $0/32$ میلی گرم برمول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین است ولی، مابین تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید، همچنین تیمار تنش ضعیف و تنش متوسط و در نهایت تیمار شاهد و تنش ضعیف اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲). درباره فعالیت آنزیم پراکسیداز، نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین غلظت آنزیم پراکسیداز مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $3/77$ میلی گرم برمول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین و کمترین آن مربوط به تیمار بدون تنش

(شاهد) با میانگین $3/21$ میلی گرم برمول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین بوده ولی مابین تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید و همچنین مابین تیمارهای تنش ضعیف و تنش متوسط اختلاف معنی‌داری از نظر میانگین غلظت آنزیم پراکسیداز مشاهده نشد (جدول ۲). با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز در تیمار با مایکوریزا با میانگین $0/159$ میلی گرم برمول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین و کمترین غلظت این آنزیم مربوط به تیمار بدون مایکوریزا با میانگین $0/140$ میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین مشاهده شد. همچنین مقایسه میانگین داده‌های آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مشخص کرد که، بیشترین غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز مربوط به تیمار تنش شدید با میانگین $0/176$ و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد یا بدون تنش با میانگین $0/108$ میلی گرم برمول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین است و مابین تیمارهای تنش متوسط و تنش شدید تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۲).

غلظت عناصر پرمصرف و کم‌مصرف

نتایج نشان داد جذب عناصر ماکرو و میکرو در برگ با مقدار آب در دسترس گیاه رابطه مستقیم دارد، به طوری که با افزایش سطح تنش خشکی مقدار جذب این عناصر نیز کاهش می‌یابد (شکل ۲، الف، ب، پ، ت، ث و ج). جذب عناصر فسفر، پتاسیم، آهن، روی و منگنز در تیمارهای همزیست با مایکوریزا در کلیه سطوح تنش افزایش یافت (شکل ۲، الف، ب، پ، ت و ج). در حالی که در گیاهان همزیست با مایکوریزا در شرایط بدون تنش مقدار جذب عنصر نیتروژن افزایش

یافت اما در سطوح تنش ضعیف، متوسط و تنش شدید مقدار جذب این عنصر در گیاهان همزیست نسبت به شاهد کاهش یافت (شکل ۲، ث). بیشترین غلظت عناصر یاد شده در تیمار بدون تنش یا شاهد مشاهده شد و کمترین غلظت آن‌ها مربوط به تیمار تنش شدید است (شکل ۲، الف، ب، پ، ت، ث و ج).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر میکوریزا و تنش خشکی بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی بر نهال‌های پالونیا
Table 1. ANOVA (mean square) of mycorrhiza and drought stress effect on antioxidant enzymes on Paulownia seedlings

منابع تغییرات Sources of Variation	درجه آزادی df	آنزیم پراکسیداز Peroxidase	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز Superoxide dismutase	آنزیم کاتالاز Catalase	پروتئین محلول Soluble protein
مایکوریزا Mycorrhiza	1	0.408 ^{ns}	0.002 ^{**}	5.04 ^{ns}	16.20 ^{ns}
سطوح تنش Stress levels	3	2.42 ^{**}	0.006 ^{**}	0.010 ^{**}	60.50 ^{**}
اثر متقابل Interaction	3	0.118 ^{ns}	0.001 ^{ns}	2.63 ^{ns}	0.327 ^{ns}
خطا Error	16	0.219	0.00018	3.95	6.88
ضریب تغییرات Coefficient of variation	3	0.229	2.190	0.190	0.102

ns، * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی دار، اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد.

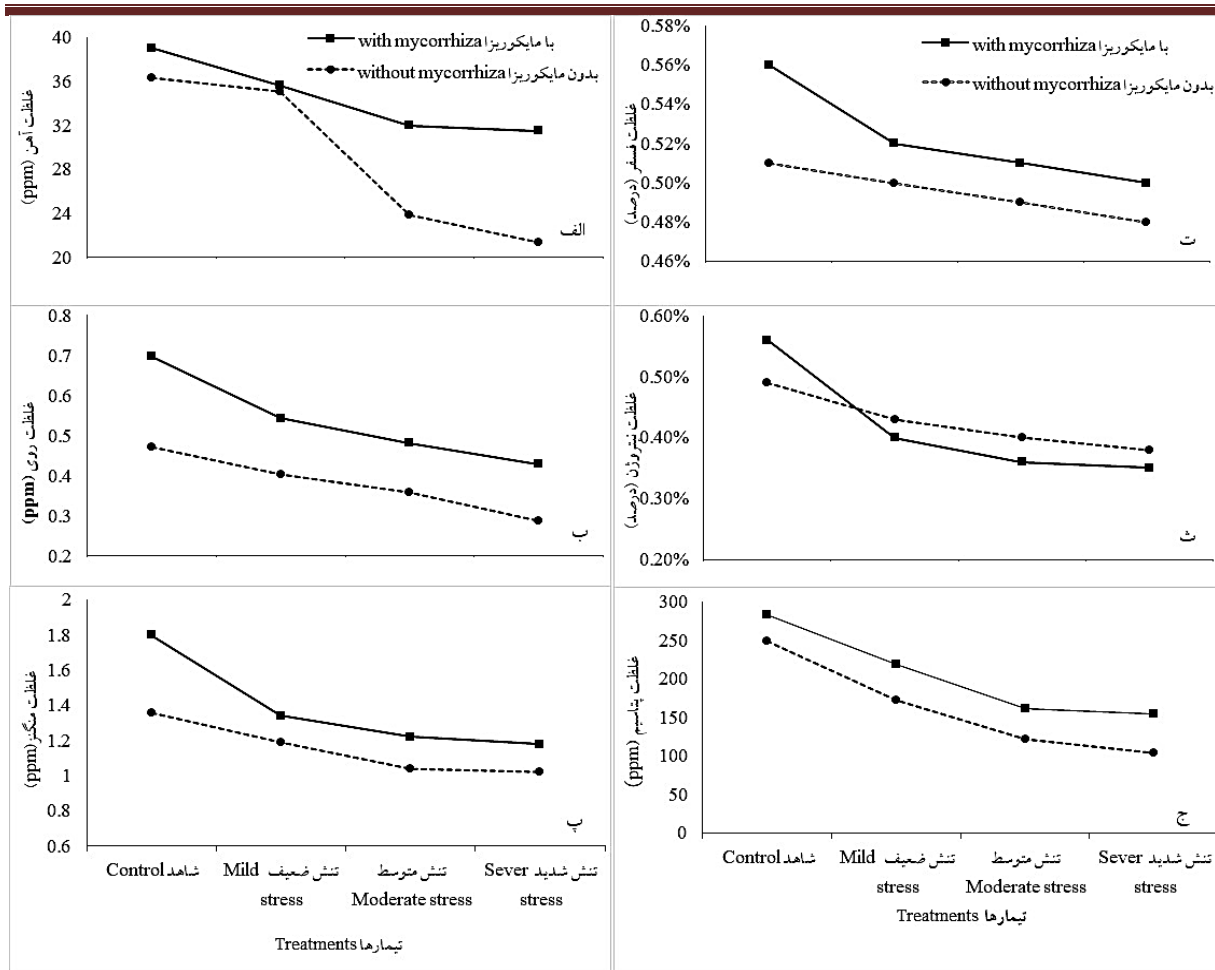
ns, * and **: non-significant, significant at 95 and 99 percent confidential level, respectively

جدول ۲- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) اثرهای ساده تنش خشکی و میکوریزا بر آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نهال‌های پالونیا
Table 2. Mean comparison (± standard error) of simple effects of drought stress and mycorrhiza on antioxidant enzymes of Paulownia Seedlings

عامل‌ها Factors	تیمار Treatment	آنزیم پراکسیداز (میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین) Peroxidase (milli gr/mol/minute/milli gr protein)	آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین) Superoxide dismutase (milli gr/mol/minute/milli gr protein)	آنزیم کاتالاز (میلی گرم بر مول بر دقیقه بر میلی گرم پروتئین) Catalase (milli gr/mol/minute/milli gr protein)	پروتئین محلول (میلی گرم بر گرم وزن تر برگ) Soluble protein (mgr/gr Fresh weight of leaves)
تنش خشکی Drought stress	شاهد Control	2.29 ^c ± 0.147	0.108 ^c ± 0.003	0.032 ^c ± 0.000	31.45 ^b ± 1.15
	ضعیف Mild	2.89 ^b ± 0.103	0.141 ^b ± 0.007	0.036 ^{bc} ± 0.001	36.03 ^a ± 0.947
	متوسط Moderate	3.36 ^{ab} ± 0.273	0.171 ^a ± 0.009	0.041 ^{ab} ± 0.003	36.95 ^a ± 0.803
	شدید Sever	3.77 ^a ± 0.178	0.176 ^a ± 0.008	0.045 ^a ± 0.002	38.95 ^a ± 1.16
مایکوریزا Mycorrhiza	با مایکوریزا With mycorrhiza	2.95 ± 0.200	0.159 ^a ± 0.011	0.038 ± 0.002	35.02 ± 1.07
	بدون مایکوریزا No mycorrhiza	3.21 ± 0.210	0.140 ^b ± 0.006	0.039 ± 0.002	36.66 ± 1.03

حروف مشابه در هر ستون نشانه تفاوت غیرمعنی‌دار بین آنها است.

Similar letters in each column indicate non-significant differences between them.



شکل ۲- تغییرات غلظت عناصر پر مصرف و کم مصرف در برگ نهال‌های تلقیح شده و تلقیح نشده پالونیا با میکوریزا در شرایط تنش خشکی

Figure 2. Changes in the concentration of macro and micro-elements in the leaves of Paulownia seedlings inoculated and not inoculated with mycorrhiza under drought stress conditions

بحث

خشکی افزایش یافت. همچنین تلقیح میکوریزایی سبب افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های سوپراکسید دیسموتاز شد که با نتایج Alguacil et al. (2003) مبنی بر افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی در نهال‌های *Juniperus oxycedrus* مطابقت داشت. فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی

همزیستی میکوریزایی علاوه بر بهبود تغذیه گیاه می‌تواند از روش‌های گوناگون مانند افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی (Wu et al., 2013) و حفظ رنگیزه‌های کلروفیلی اثرهای منفی تنش‌های محیطی را در گیاه میزبان کاهش دهد. در این پژوهش نیز، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نهال‌های پالونیا در شرایط تنش

اثرهای منفی تنش خشکی را کاهش دهند. قارچ‌های میکوریزا با افزایش سطح جذب ریشه‌ها و اسیدی کردن محیط ریزوسفر، سبب حل کردن عناصر کم تحرک شده و آن‌ها را برای گیاهان، قابل استفاده می‌نمایند (Begum et al., 2019; Mohammadi et al., 2019). همانطور که گفته شد، مهم‌ترین عنصری که به وسیله قارچ میکوریزا به طور فعال و در سطح وسیع جذب می‌شود، عنصر فسفر است که بهبود جذب آن در گیاهان میکوریزایی در شرایط تنش خشکی گزارش شد (Mohammadi et al., 2019). در این راستا، نتایج Aghababaei and Raiesi (2011) نیز نشان داد که همزیستی نهال‌های بادام با میکوریزا در شرایط تنش خشکی، سبب افزایش ۴۰ درصدی غلظت فسفر نسبت به شاهد شد که می‌تواند تاییدکننده نتایج بدست آمده از پژوهش جاری باشد. در مورد عنصر پتاسیم نیز با توجه به اینکه فقط شکل‌های محلول و تبادل‌پذیر آن قابل استفاده گیاه است، جذب آن در گیاهان همزیست با میکوریزا بیشتر از گیاهان غیرهمزیست است (Ashraf, 2010). افزایش جذب عناصر آهن، فسفر، نیتروژن و پتاسیم در اثر کاربرد میکوریزا در گیاه ذرت (*Zea mays*) گزارش شده است (Polcyn et al., 2019). در پژوهش حاضر همزیستی با قارچ میکوریزا در شرایط تنش خشکی بر مقدار جذب نیتروژن گیاهان تاثیر کمی داشته و این یافته‌ها با نتایج Aghababaei and Raiesi (2011) مبنی بر کاهش نیتروژن در گیاهان تلقیح شده با قارچ میکوریزا در نهال بادام تطابق داشت. کاهش غلظت آهن در شرایط تنش خشکی به علت اختلال در نفوذپذیری غشا و کاهش سرعت انتشار مواد غذایی از خاک به سطح ریشه است که تلقیح با قارچ میکوریزا سبب افزایش مقدار جذب عناصر غذایی به ویژه آهن می‌شود (Geneva et al., 2010; Abbaspour et al., 2012). تخمین زده می‌شود که در گیاهان تلقیح شده با

همچون کاتالاز، سوپراکسید دیسموتاز و مقدار پرولین در شرایط تنش خشکی افزایش پیدا می‌کند (Zafari et al., 2020). طبق پژوهش‌های پیشین، مابین مقدار پروتئین محلول و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی همچون آنزیم سوپراکسید دیسموتاز رابطه‌ای مستقیم داشته و در واقع گیاه در تنش خشکی، با تجمع پروتئین‌ها مقدار سازگاری فیزیولوژیکی و تحمل به خشکی را افزایش می‌دهد (Bartels and Salamini, 2001; Hayat and Ahmad, 2007). همچنین با افزایش مقدار رادیکال‌های سوپراکسید در یاخته‌های تحت تنش خشکی، غلظت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز نیز افزایش پیدا می‌کند (Zafari et al., 2020).

کاهش جذب عناصر با افزایش سطوح تنش خشکی می‌تواند به دلیل کاهش رطوبت و به پیرو آن کاهش عناصر محلول در آب باشد. در این راستا، نتایج پژوهش Hu and Schmidhalter (2005) نشان داد که کاهش جذب عناصر در شرایط تنش خشکی به سبب ایجاد اختلال در مکانیسم‌های جذب و انتقال عناصر غذایی و در پی آن کاهش مقدار رطوبت خاک و ریشه است که با نتایج به دست آمده از پژوهش جاری تطابق دارد. در واقع با کاهش رطوبت خاک، تحرک عناصر غذایی به ویژه فسفر و پتاسیم در اطراف سطح ریشه کمتر شده و سبب کاهش دسترسی گیاهان به این منابع غذایی می‌شود. زیرا عناصر غیرمتحرک تحت شرایط خشکی به ذرات رس موجود در خاک چسبیده و کمتر در اختیار گیاه قرار می‌گیرند (Hussain et al., 2018). از سویی دیگر، تنش خشکی تعداد تارهای کشنده گیاهان را کاهش داده و سبب آسیب به مورفولوژی و انشعابات ریشه می‌شود که این امر در نهایت جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر را توسط سیستم ریشه‌ای کاهش می‌دهد (Askari et al., 2019). قارچ‌های میکوریزا قادرند با افزایش جذب فسفر توسط نهال،

غذایی ماکرو و میکرو به دلیل جذب بهتر آب توسط هیف‌های گسترش‌یافته مایکوریزا در اطراف ریشه‌ها در نهال پالونیا فورتونی مشاهده شد. با توجه به نتایج پژوهش‌های دیگر، به نظر می‌رسد که قارچ مایکوریزا در جذب و متابولیسم عناصر مورد نیاز گیاه تأثیر مهمی داشته و مقدار این عناصر در گیاهان تلقیح‌شده افزایش یافت. این مهم به‌ویژه در شرایط تنش برای گیاهان اهمیت زیادی دارد. همچنین، تلقیح قارچ مایکوریزا منجر به افزایش فعالیت آنزیم آنتی‌اکسیدانی سوپراکسید دیسموتاز (SOD) شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده می‌توان کاربرد قارچ مایکوریزا را به عنوان یک استراتژی، برای پایداری گیاه و کاهش اثرهای منفی خشکی و بهبود شرایط تغذیه‌ای تحت تنش خشکی معرفی کرد.

مایکوریزا، حدود ۸۰ درصد جذب فسفر، توسط مایکوریزا انجام شده و علاوه بر جذب فسفر، مایکوریزا جذب نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، مس، آهن و روی را نیز بهبود می‌دهد (Polcyn et al., 2019). در پژوهش Dutt et al. (2013) نیز افزایش جذب عناصر میکرو مانند روی، مس، منگنز و آهن در نهال‌های زردآلو که با قارچ مایکوریزا تلقیح شده‌بودند، به افزایش مقدار کلونیزاسیون ریشه بوده و به پیرو آن افزایش سطح جذب عناصر غذایی از ریزوسفر خاک نسبت داده شد که می‌تواند تاییدکننده نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش باشد.

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی، جذب عناصر غذایی ماکرو و میکرو توسط گیاه کاهش یافت. با کاربرد قارچ مایکوریزا تحت شرایط تنش خشکی، جذب عناصر

References

- Aghababaei, F.; Raiesi, F.; Nadian, H., Influence of mycorrhizal symbiosis on the uptake of nutrients in some commercial genotypes of Almond in a sandy loam soil. *Iranian Journal of Soil Research* **2011**, 25 (2), 137- 147. (In Persian)
- Abbaspour, H.; Saeidi-Sar, S.; Afshari, H.; Abdel-Wahhab, M.A., Tolerance of Mycorrhiza infected pistachio (*Pistacia vera* L.) seedling to drought stress under glasshouse conditions. *Journal of Plant Physiology* **2012**, 169 (7), 704- 709.
- Alguacil, M. M.; Hernandez, J.A.; Caravaca, F.; Portillo, B.; Roldan, A., Antioxidant enzyme activities in shoots from three mycorrhizal shrub species afforested in a degraded semi-arid soil. *Physiologia Plantarum* **2003**, 118 (4), 562- 570.
- Ashraf, M., Inducing drought tolerance in plants: recent advances. *Biotechnology Advances* **2010**, 28, 169-183.
- Askari, A.; Ardakani, M.R.; Paknejad, F.; Hosseini, Y., Effects of mycorrhizal symbiosis and seed priming on yield and water use efficiency of sesame under drought stress condition. *Scientia Horticulturae* **2019**, 257, 108749.
- Bartels, D.; Salami, F., Desiccation tolerance in resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. A contribution to the study of drought tolerance at the molecular level. *Plant Physiology* **2001**, 127, 1346 -1353.
- Bahrinejad, R.; Khazaeian, A., Industrial applications of *spruce poplar* and *palonium* fast growing species, Proceedings of the 2th National Conference on Sustainable Agriculture and Environment, *Hamadan, Iran* **2013**, 9 p. (In persain)
- Beauchamp, C.; Fridovich, I., Superoxide dismutase: improved assays and an assay applicable to acrylamide gels. *Analytical Biochemistry* **1970**, 44 (1), 276- 287.

- Begum, N.; Qin, C.; Ahanger, M.A.; Raza, S.; Khan, M.I.; Ashraf, M.; Ahmed, N.; Zhang, L., Role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth regulation: Implications in abiotic stress tolerance. *Frontiers in Plant Science* **2019**, *10*, 1068- 1085.
- Bozkurt, M.A.; Yarılgı, T., The effects of sewage sludge applications on the yield, growth, nutrition and heavy metal accumulation in apple trees growing in dry conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* **2003**, *27*, 285- 292.
- Bradford, M. A., rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Annual Biochemistry* **1976**, *72*, 248- 254.
- Chapman, H.D.; Pratt P.F., *Methods of analysis for soils, plants and waters*. University of California, Riverside **1961**, p 309.
- Chance, B.; Maehly, A.C., Assay of catalase and peroxidase. In *Methods in enzymology*; Culowic, and Kaplan, N.O., Eds. *Academic Press*. Inc. New York **1995**, pp 764- 765.
- Dutt, S.; Sharma, S.D.; Kumar, P., Inoculation of apricot seedlings with indigenous arbuscular mycorrhizal fungi in optimum phosphorus fertilization for quality growth attributes. *Journal of Plant Nutrition* **2013**, *36*, 15– 31.
- Emami, A., Soil and Water Research Institute. *Methods of plant analysis* **1996**, p 982. (In Persian)
- Geneva, M. P.; Stancheva, I. V.; Boychinova, M. M.; Mincheva, N. H.; Yonova, P. A., Effects of foliar fertilization and arbuscular mycorrhizal colonization on *Salvia officinalis* L. growth, antioxidant capacity, and essential oil composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture* **2010**, *90*, 696 -702.
- Ghadirnezhad, Sh.; Fathi, R., A.; Taghavi Ghasemkheili, F.; Amiri, E., Plants responses under drought stress conditions: Effects of strategic management approaches- A review. *Journal of plant Nutrition* **2023**, *46* (9), 2198- 2230.
- Ghanbari, E.; Fathizadeh, O.; Tabari, M., The effect of mycorrhizal fungi and growth-promoting rhizobacteria on the activity of antioxidant enzymes of *Calotrope* Seedlings under drought Stress, *Journal of Forest Research and Development* **2020**, *6* (3), 477- 489. (In Persian)
- Hayat, S.; Ahmad, A., Salicylic Acid: A Plant Hormone. *Springer* **2007**, Pp, 97-,99.
- Hu, Y.; Schemidhalter, U., Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* **2005**, *168*, 541- 549.
- Hussain, H. A.; Hussain, S.; Khaliq, A.; Ashraf, U.; Anjum, S.A.; Men, S.; Wang, L., Chilling and drought stresses in crop plants: Implications, cross talk, and potential management opportunities. *Frontiers in Plant Science* **2018**, *9*, 1- 21.
- Jia, J.; Li, S.; Cao, X.; Li, H.; Shi, W.; Polle, A.; Liu, T.; Peng, C.; Luo, Z., Physiological and transcriptional regulation in poplar roots and leaves during acclimation to high temperature and drought, *Physiologia Plantarum* **2015**, *157* (1), 38- 53.
- Khaleghi, A.; Naderi, R.; Brunetti, C.; Maserti, B.E.; Salami, S.A.; Babalar M., Morphological, physiochemical and antioxidant responses of *Maclura pomifera* to drought stress. *Scientific Reports* **2019**, *9*, 1- 12.
- Moayedinezhad, A.; Mohammadparast, B.; Hosseini Salekdeh, Gh.; Mohseni fard, E.; Ali Nejatian, M., Effects of drought stress on total phenolic, phenolic acids, polyamines and some organic acids in two important Iranian grapevine cultivars. *Journal of Plant Process and Function* **2020**, *8* (34), 19- 6.
- Mohammadi, H.; Amirikia, F.; Ghorbanpour, M.; Fatehi, F.; Hashempour, H., Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyianus* and *Thymus vulgaris* under well- watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products* **2019**, *129*, 561- 574.
- Naheeda, B.; Ling, W.; Husain, A.; Rana Roy, A.; Ishfa Khan Tuaniie, M., Co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and the plant growth-promoting rhizobacteria improve growth and photosynthesis in tobacco under drouht stress by upregulating. *Microbial Ecology* **2022**, 1- 18.
- Nodeh, M.; Aliarab, A. and Sadati, S. E., The effect of foliar application of growth regulators on survival and growth of *Paulownia fortunei* seedlings under drought stress. *Wood and Forest Science and Technology Research Journal* **2021**, *28* (3), 37- 51. (In Persian)
- Ostadi, A.; Javanmard, A.; Amani Machini, M.; Kakaei, K., Optimizing Antioxidant Activity and Phytochemical Properties of Peppermint (*Mentha piperita* L.) by Integrative

- Application of Biofertilizer and Stress-Modulating Nanoparticles. *Plants* **2023**, *12* (1), 151.
- Phillips, J.M.; Hayman, D.S., Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesiculararbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* **1970**, *55* (1), 158- IN118.
- Polcyn, W.; Paluch -Lubawa, E.; Lehman, T.; Mikula, R., Arbuscular mycorrhiza in highly fertilized maize cultures alleviates short-term drought effects but does not improve fodder yield and quality. *Frontiers in Plant Science* **2019**, *17*, 10, 496.
- Qiu-shuang, L.; Ya-Chao Xie, M.; Abeer, H.; Elsaved Fathi, A., Arbuscular mycorrhizal fungi and endopytic fungi activate leaf antioxidant defense system of lane late navel orange. *Journal of Fungi* **2022**, *8* (3), 282.
- Saeidi Abueshaghi, Z.; Pilehvar, B.; Sayegena, S.V., Vegetative and physiological responses of purple in the face of water deficit stress. *Forest Research and Development* **2023**, *9* (3), 349-363. (In Persian)
- Sanjari Mijani, M.; Sirousmehr, A.R.; Fakheri, B.A., The effects of drought stress and humic acid on some physiological characteristics of roselle (*Hibiscus sabdariffa*). *Journal of Crops Improvement* **2015**, *17* (2), 403- 414. (In Persian)
- Sheikh, H.; Ali-Arab, A. R.; Sadati, S. E., Effect of salinity on seed germination, growth and survival of *paulownia fortunei* seedlings under laboratory and greenhouse conditions. *Forest and Wood Products* **2017**, *70* (4), 649- 658. (In Persian)
- Sinha, A.K., Colorimetric assay of catalase. *Analytical Biochemistry* **1972**, *47* (2), 389- 394.
- Spinoso- Castillo, J.; Rosario Moreno-Hernandez, M.; Mancilla- Alvarez. Lino, E., Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis Improves Ex Vitro Acclimatization of Sugarcane Plantlets (*Saccharum spp.*) under Drought Conditions. *Plants* **2023**, *12* (3), 687.
- Swamy, S. L.; Mishra, A.; Pur, S., Comparison of growth, biomass and nutrient distribution in five promising clones of *populus deltoids* under an agrisilviculture system. *Bioresource Technology* **2006**, *97* (1), 57- 68.
- Wu, M.; Zhang, W. H.; Ma, C.; Zhou, J. Y., Changes in morphological, physiological, and biochemical responses to different levels of drought stress in chinese cork oak (*Quercus variabilis* Bl.) seedlings, *Russian Journal of Plant Physiology* **2013**, *60* (5), 681- 692.
- Zafari, M.; Ebadi, A.; Jahanbakhsh, S.; Sedghi, M., Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24 -epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **2020**, *68*, 6040 - 6047.
- Zamani Kebraabadi, B.; Hojati, S.M.; Rejali, F.; Esmaeili sharif, M.; Rahmani. H.R., Effects and identification of inoculated Arbuscular Mycorrhizal fungi of resilience to lead and zinc on some morphological treats of *Cerasus mahaleb* L. Mill. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, *6* (2), 295- 311. (In Persian)
- Zamani Kebraabadi, B.; Hojati, S.M.; Rejali, F.; Esmaeili sharif, M.; Saboohi, R., Investigating the effect of mycorrhizal fungi on elderberry seedlings (*Elaeagnus angustifolia* L.) under water stress. *Forest Research and Development* **2021**, *7* (4), 623- 638. (In Persian)
- Zhang, ZH.; Zhang, J.; Xu, G.; Zhou, L.; Li, Y., Arbuscular Mycorrhizal fungi improve the growth and drought to lerance of zenia insignis seedlings under drowth stress. *New Forests* **2019**, *50* (4), 593- 604.

The effect of mycorrhizal fungi inoculation on the antioxidant response and nutrient absorption of *Paulownia fortunei* seedlings under drought stress

Elham Hasani¹, Saeid Jalali Honarmand², Morteza Pourreza^{*3} and Ali Beheshti Ale-Agha⁴

1- MSc of Forest Science and Engineering, Department of Natural Resources, Razi University, Kermanshah, I. R. Iran. (elhamhasani.2868@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Plant Production and Genetic, Razi University, Kermanshah, I. R. Iran. (sjhonarmand@yahoo.com)

3- Assistant professor, Department of Natural Resources, Razi University, Kermanshah, I. R. Iran. (pourreza@razi.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of Soil Science and engineering, Razi University, Kermanshah, I. R. Iran. (beheshtiali97@gmail.com)

Received: 23 June 2023

Accepted: 17 October 2023

Abstract

Background and objectives: Drought stress is one of the most important factors limiting plant growth in the world and one of the most common abiotic stresses. Drought stress is a multidimensional stress that stimulates a wide range of physiological, biochemical and molecular responses in plants. In arid and semi-arid areas, the establishment and growth of young seedlings is completely affected by water deficit and drought stress. In this situation, the use of symbiosis of microorganisms, especially mycorrhizal fungi, can reduce the effect of drought stress via increasing the absorption of water and nutrients. Therefore, the aim of this study was to determine the effect of mycorrhizal fungi symbiosis on the absorption of the on the absorption of some macro and micro nutrients as well as the activity of antioxidant enzymes of *Paulownia fortunei* (Seem.) Hemsl., known as a fast-growing species.

Methodology: This pot experiment was conducted in factorial form in a completely randomized design with three replications and two factors. The first factor included four levels of drought stress (no stress or control with full irrigation at 100% of crop capacity, mild stress with irrigation at 80% of crop capacity, moderate stress with irrigation at 60% of crop capacity and severe stress with irrigation at 40% of crop capacity) and the second factor which included two surfaces of using mycorrhiza (without and with arbuscular mycorrhizal fungi). Application of drought stress treatments was done based on the weight method. The investigated features included the measurement of soluble protein, catalase, peroxidase, superoxide dismutase enzymes, as well as the absorption of nutrients such as phosphorus, nitrogen, potassium, zinc, iron and manganese. The normal distribution and the homogeneity of the variance of the obtained data were checked using the Shapiro-Wilk test and Levene's test, respectively. Two-way analysis of variance was used to test the significance of the simple and interaction effect of the factors. Duncan's multiple range post-hoc test was used to compare the means.

Results: The results of analysis of variance showed that the interaction effect of drought stress and mycorrhiza was not statistically significant on any of the traits. The simple effect of mycorrhiza on the changes of superoxide dismutase enzyme was significant, but it was not significant on other measured traits. The results showed that drought stress significantly increased the amount of soluble protein, peroxidase and superoxide dismutase activity. The highest concentration of soluble protein was related to severe stress treatment with a mean value of 38.95 mg/g leaf wet weight, and the lowest is related to the control or no stress treatment with a mean value of 31.45 mg/g leaf wet weight. However, no significant difference was observed between mild, moderate and severe stress treatments. About catalase enzyme no significant difference was observed between moderate and severe stress treatments, as well as between mild and moderate stress treatments. The highest concentration of peroxidase enzyme was related to severe stress treatment with a mean value of 3.77 mg/min per mg of protein and the lowest mean value (3.21 mg/min per mg of protein) was related to non-stress treatment (control). No significant difference was observed between the treatments of moderate stress and severe stress, as well as between

* Corresponding author

Tel: +989187294584

the treatments of mild and moderate stress in terms of the concentration of peroxidase enzyme. The highest concentration of superoxide dismutase enzyme was related to severe stress treatment with a mean value of 0.176 mg/mol/min per mg of protein and the lowest value (0.108 mg/min/mg of protein) was related to the control. The concentration of superoxide dismutase enzyme in the treatment with mycorrhiza with a mean value of 0.159 mg/mol/min per mg of protein was significantly higher than of it in the treatment without mycorrhiza with a mean value of 0.140 mg/mol/min per mg of protein. Drought stress also led to the reduction of all measured nutrients. While, inoculation with mycorrhizal fungi increased nutrients except nitrogen at all levels of drought stress.

Conclusion: It was concluded that although the absorption of macro and micro nutrients by the seedlings decreased with the increase of drought stress levels, the use of mycorrhizal fungi could increase the absorption of macro and micro nutrients in drought stress conditions due to the better absorption of water by the hyphae around the roots of *Paulownia* seedlings. Therefore, it seems that the mycorrhizal fungi are very important in the absorption and metabolism of elements required by *Paulownia* seedlings, especially in stress conditions. Also, the inoculation of mycorrhizal fungi led to an increase in the activity of the antioxidant enzyme superoxide dismutase (SOD), which can increase the resistance of seedlings against drought stress.

Keywords: Catalase, Peroxidase, Soluble protein, Superoxide dismutase.

نقش زنان روستایی در مدیریت، حفاظت و بهره‌برداری منابع طبیعی (بررسی موردی: منطقه چهارزبر، کرمانشاه)

آرزو اکیا^۱، احمد ولی‌پور^{۲*} و سهراب مرادی^۳

۱- کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. (arezoakia@gmail.com)

۲- استادیار، گروه جنگلداری و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دکتر هدایت غضنفری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. (ahmadvalipour@uok.ac.ir)

۳- استادیار، گروه توسعه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (moradi_4@pnu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: در سال‌های اخیر پیرو شکست سیاست‌های مدیریت دولتی در جنگل‌های زاگرس، رویکرد مدیریت مشارکتی مورد تأکید سازمان منابع طبیعی کشور قرار گرفته است. اگرچه سازوکار اجرای این سیاست و چارچوب آن به روشنی بیان نشده است اما استفاده از ظرفیت‌های همه دست‌اندرکاران به‌ویژه زنان از مهمترین نموده‌های تحقق مدیریت مشارکتی است. زنان روستایی نیمی از جمعیت بهره‌بردار منابع طبیعی را تشکیل می‌دهند و باوجود محدودیت‌ها، به‌طور گسترده‌ای در فعالیت‌های مدیریتی، اجتماعی و اقتصادی روستایی ایفای نقش می‌کنند. با این حال بیشتر تمرکز و تلاش مدیران در مورد مشارکت، متوجه مردان بوده است. زنان روستایی به واسطه ارتباط گسترده با منابع طبیعی و همچنین انتقال دانش، اطلاعات و اعتقادات خود به نسل آینده بر کیفیت مدیریت و حفاظت این منابع تأثیر می‌گذارند. از این‌رو، در این پژوهش شناسایی نقش زنان روستایی در فعالیت‌های مرتبط با مدیریت منابع طبیعی در روستاهای منطقه چهارزبر کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش چهار روستای چهارزبر علیا، ده سفید، گوهرآباد و کاشنبه‌لک در بخش ماهیدشت استان کرمانشاه به‌دلیل وجود پوشش جنگلی و اشتغال بیشتر روستاییان به مشاغل روستایی و دامداری برای گذران معیشت انتخاب شد. به تعداد ۱۵۳ زن ساکن روستاهای مورد بررسی مصاحبه انجام شد و داده‌ها با روش پیمایشی با استفاده از پرسشنامه محقق‌ساخته نیمه‌ساختاریافته، مصاحبه رو در رو با زنان و مشاهده مستقیم فعالیت‌های آنان جمع‌آوری شد. ویژگی‌های فردی پاسخگویان، مشخصات عمومی خانوار، نقش زنان و زمان مشارکت آنان در فعالیت‌های گوناگون مدیریت و بهره‌برداری منابع طبیعی، ارتباط زنان با اداره منابع طبیعی، شناخت زنان از منابع طبیعی روستا، تکرارپذیری فعالیت‌ها و مشارکت و همراهی

دیگر افراد از متغیرهایی بودند که برای بررسی نقش زنان در مدیریت (حفاظت و بهره‌برداری) منابع طبیعی ثبت و اندازه‌گیری شد. به‌منظور ارزیابی نقش زنان در مدیریت و تصمیم‌گیری در سطح خانوار، نقش آنها در مدیریت و کنترل هزینه و درآمد مورد سوال قرار گرفت. تحلیل همبستگی اسپیرمن به‌منظور تعیین ارتباط بین ویژگی‌های مختلف فردی و اجتماعی زنان با جنبه‌های مختلف فعالیت‌های انجام‌شده آنان انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس یافته‌ها، مقدار شناخت زنان از منابع طبیعی در سطح کم تا متوسط قرار داشت. با وجود پیش‌بینی ۳۰ نوع فعالیت مرتبط با منابع طبیعی در پرسشنامه، زنان فقط در ۲۷ درصد فعالیت‌های منابع طبیعی نقش داشتند درحالی‌که درصد قابل توجهی (۹۶/۷ درصد) از فعالیت‌ها با مشارکت دیگران (به ترتیب دیگر زنان، شوهر و فرزندان) انجام می‌شد. حضور زنان در فعالیت‌هایی مانند جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی، بذر و میوه، گیاهان دارویی و هیزم ملموس‌تر بود، اما استفاده از چوب جنگل، خاموش کردن آتش و پرچین حیاط با سرشاخه‌ها جزو کارهایی هستند که زنان نقش کمتری در آن داشتند. این پژوهش نشان داد که مقدار شناخت زنان از منابع طبیعی روستا متوسط تا کم بود. تحلیل همبستگی بیانگر این بود که فاکتورهایی مانند سن، فعالیت مذهبی و تمایل به مهاجرت دارای رابطه منفی و زمان فعالیت دارای رابطه مثبت و معنی‌داری با نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری منابع طبیعی هستند. متغیرهای سن، مدت اقامت در روستا و تمایل به مهاجرت نیز رابطه منفی و معنی‌داری با زمان فعالیت در بخش منابع طبیعی داشتند.

نتیجه‌گیری کلی: این تحقیق نشان داد که زنان روستاهای مورد بررسی مشارکت محدودی در مدیریت منابع طبیعی دارند. آنها صرفاً در بهره‌برداری برخی محصولات جنگلی و مرتعی نقش دارند و در حفاظت و توسعه جنگل فعالیت قابل توجهی انجام نمی‌دهند. بنابراین شایسته است نقش زنان در مدیریت منابع طبیعی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. پیشنهاد می‌شود با آگاهی‌سازی و مشاوره به روستائیان و همچنین تقویت مشارکت زنان در این زمینه به حفظ و احیاء منابع طبیعی کمک کرد. واقعیت این است که برخلاف ادعای سازمان منابع طبیعی، جوامع محلی و روستائیان اعم از زنان و مردان نقش قابل توجهی در مدیریت منابع طبیعی ندارند. ارتباط خیلی کم با اداره منابع طبیعی، بیانگر نبود برنامه‌های ترویجی و آموزشی مناسب برای زنان و عدم حضور کارشناسان منابع طبیعی در میان جامعه است. بنابراین پیشنهاد می‌شود اداره‌های منابع طبیعی و کشاورزی در برنامه‌های خود، آموزش جوامع محلی را به‌صورت جدی در نظر بگیرند. توجه به آموزش و توانمندسازی زنان جوان از اهمیت زیادی در مدیریت منابع طبیعی دارد چرا که فعالیت‌های بیشتری را در منابع طبیعی انجام می‌دهند، شناخت به‌نسبت بیشتری از منابع طبیعی دارند و نقش آنها در مدیریت و تصمیم‌گیری هم بیشتر است. این پژوهش نشان داد که عامل تعیین‌کننده هم در مدیریت و هم در شناخت منابع طبیعی از سوی زنان، مدت زمان فعالیت آنان در این بخش است. ارزش‌دهی به مشارکت زنان و به‌کارگیری مؤثر پتانسیل آنها در حفاظت و احیای منابع طبیعی به‌منظور برپایی نظام مدیریت مشارکتی ضروری است.

واژه‌های کلیدی: مشارکت زنان، منابع طبیعی، منطقه چهارزبر، جوامع محلی.

مقدمه

منابع طبیعی در دنیا به عنوان بستر توسعه پایدار شناخته می‌شود. از همین رو در برنامه‌های توسعه، تلاش می‌شود سه مولفه پایداری اجتماعی، پایداری اقتصادی و پایداری محیط زیست به صورت همزمان در نظر گرفته شود (Yousefi and Behbahani, 2016). عدم توجه به هر کدام از این مولفه‌ها آسیب‌هایی را به وجود می‌آورد که در طولانی مدت می‌تواند به چالشی برای توسعه منتهی شود (Ramezani-Gask et al., 2016). منابع تجدیدپذیر همانند جنگل و مرتع در ایران بستر فعالیت‌ها و تأمین معیشت روستاییان هستند. بهره‌برداری از این منابع در ایران به طور رسمی توسط دولت و از طریق سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری انجام می‌شود. کارشناسان منابع طبیعی و دستگاه‌های متولی به این نتیجه رسیده‌اند که مدیریت بهینه این منابع بدون در نظر گرفتن نقش‌ها، خواسته‌ها و نیازهای جوامع محلی امکان‌پذیر نیست. به علاوه ایفای نقش جوامع محلی، می‌تواند هزینه‌های مدیریت را کاهش دهد (Ghadiri Masoum et al., 2006; Yousefi and Behbahani, 2016).

با توجه به نبود چشم‌اندازی مطلوب در مورد حفاظت جنگل‌های زاگرس (Beygi Heidarlou et al., 2022)، ضرورت استفاده از مشارکت مردمی در حفظ و احیای منابع طبیعی به عنوان نزدیک‌ترین و آسان‌ترین راهکار حفظ این منابع، شناخته شده است (Darijani et al., 2018; Faham et al., 2008; Moayeri et al., 2020). جلب مشارکت مردم روستایی به عنوان یکی از شعارهای اصلی مدیریت منابع طبیعی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. به نظر می‌رسد همگام با دیگر سازمان‌ها، ضروری است مدیریت منابع طبیعی کشور نیز به سمت تقویت سرمایه اجتماعی و بهره‌برداری از آن به منظور اداره منابع خود با هزینه کمتر

حرکت کند. این مهم با وجود تلاش‌های صورت گرفته، هنوز به صورت ملموس و عملیاتی به چشم نیامده است. با این حال نگاهی به اقدام‌های صورت گرفته تاکنون نیز نشان می‌دهد که بیشتر تمرکز و منظور مدیران در مورد مشارکت، متوجه مردان بوده است. این در حالی است که زنان نیمی از جمعیت بهره‌بردار منابع طبیعی را تشکیل می‌دهند که به رغم محدودیت‌های متعدد اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی نقش قابل توجهی در جامعه بر عهده دارند (Mirlotfi et al., 2013). نگاهی به وضعیت زنان روستایی نشان می‌دهد که با وجود ایفای نقش‌های فراوان اقتصادی و اجتماعی، عمدتاً در کشورهای جهان سوم و در حال توسعه در جایگاه پایین‌تری نسبت به مردان قرار دارند (Amini and Taheri, 2017). تحلیل وضعیت زنان در جوامع مختلف نشان می‌دهد که به طور کلی عامل‌های زیادی در شکل‌گیری نگرش‌ها، موانع فعالیت، محدودیت‌ها، تبعیض و نادیده گرفتن آنان نقش دارد. مانند این موارد می‌توان به جنبه‌های فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی جامعه اشاره کرد (Khosravipour and Foroushani, 2011). در اغلب موارد نیز، جنسیت نقشی کلیدی در شکل‌گیری جایگاه زنان دارد (Efati, 2014).

اهمیت بررسی رابطه زنان و منابع طبیعی نه تنها برای شناخت نقش واقعی آنها در اقتصاد خانوارها بلکه برای مدیریت منابع نیز قابل توجه است. زنان روستایی به واسطه ارتباط گسترده با منابع طبیعی و همچنین انتقال دانش، اطلاعات و اعتقاد خود به نسل آینده بر کیفیت مدیریت آن تاثیر می‌گذارند. بنابراین با وجود دانش بومی ارزشمندی که اغلب آنها دارند، ارتقای بیش از پیش آگاهی و اطلاعات آنها از منابع طبیعی به حفاظت بهتر آن کمک می‌کند (Asgari Moghadam, 2008; Singh, 2015).

مشارکت زنان در طرح‌ها و برنامه‌های مختلف حفاظت از منابع طبیعی تأکید کرد. همچنین Darmiani and Naderi Varandi (2016) در پژوهشی مشابه به این نتیجه رسیدند که زنان به خاطر توانمندی‌هایشان خصوصا در فرهنگ‌سازی در حفاظت و احیای منابع طبیعی نقش مهمی داشته و حتی در رسیدن منابع طبیعی به پایداری برای دستگاه‌های دولتی در این بخش می‌توانند بسیار سودمند باشند. با این حال در برنامه‌های مربوطه کمتر مورد توجه مسئولین قرار گرفته بودند. Tiwari (2015) بیان کرد که مشارکت زنان در جنگلداری اجتماعی می‌تواند راهی برای برطرف کردن مشکلات در منابع طبیعی باشد. پژوهش‌های انجام‌شده، اثر زنان بر محیط زیست و منابع طبیعی را تایید و بر اهمیت فعالیت‌های آنان در رابطه با تخریب یا توسعه منابع طبیعی تأکید کرده‌اند (Karamidehkordi and Babaei, 2018).

استان کرمانشاه ویژگی‌های فرهنگی و اجتماعی خاصی دارد که می‌تواند بر شرایط زندگی زنان به ویژه در روستاها تاثیرگذار باشد (Efati, 2014). در واقع این پژوهش نگرش دو سویه‌ای به جایگاه زنان روستایی در فعالیت‌های منابع طبیعی دارد؛ به‌طوری‌که از یک طرف پژوهش در مورد نوع و حجم کار و فعالیت زنان در روستا با تأکید بر منابع طبیعی صورت گرفت و از طرف دیگر مقدار آگاهی و دانش آنان در مورد منابع طبیعی بررسی شد. از این‌رو در این پژوهش شناسایی نقش زنان در فعالیت‌های مختلف مرتبط با مدیریت منابع طبیعی در روستاهای جنگلی منطقه چهارزبر کرمانشاه به عنوان هدف اصلی مدنظر است. در این راستا، سوال‌های تحقیق شامل:

۱) زنان روستایی در کدام یک از فعالیت‌های منابع طبیعی نقش دارند؟

زنان روستایی به‌طور گسترده‌ای در فعالیت‌های معیشتی روستایی مانند کشاورزی و دامداری ایفای نقش می‌کنند (Asgari Moghadam, 2008; Ghanian et al., 2008). این فعالیت‌ها در اغلب روستاها به شکل سنتی انجام می‌شود همان‌طور که Ghazanfari et al., (2004) و Valipour et al., (2014) در جنگل‌های بانه نشان دادند، مردم محلی وابستگی چشمگیری به منابع طبیعی (جنگل و مرتع) دارند. در سال‌های اخیر به دلیل شکست سیاست‌های مدیریت دولتی در جنگل‌های زاگرس، شعار مشارکت جوامع محلی در مدیریت منابع طبیعی به عنوان یک رویه توسط سازمان منابع طبیعی کشور اعلام شده است. مشخص است که با توجه به گستردگی منابع طبیعی در مناطق با ویژگی‌های گوناگون جغرافیایی، زیستی، فرهنگی و اجتماعی، امکانات (نیروی انسانی، سخت‌افزار و نرم‌افزار) دستگاه متولی به تنهایی امکان کنترل کافی و برپایی سیستم مدیریت مناسبی را ندارند. بر این اساس استفاده از ظرفیت‌های همه گروه‌ها به ویژه زنان به عنوان فرهنگ‌سازان توسعه پایدار دارای اهمیت فراوانی است (Aghdasi et al., 2014). زمانی می‌توان از این ظرفیت‌ها به خوبی بهره برد که وضعیت کنونی به درستی شناسایی و به گروه‌های مختلف به ویژه مدیران و تصمیم‌گیران اعلام شود. علاوه بر این با شناسایی ظرفیت جایگاه زنان و فعالیت‌های آنان، می‌توان از طریق آموزش روش‌های بهتر انجام کارها، شناخت گیاهان و درختان، موارد استفاده گیاهان دارویی، اقتصادی کردن فعالیت‌ها و حضور در تشکلات برای توانمندسازی آنان اقدام کرد. Abate (2019) در پژوهشی با هدف مقدار مشارکت زنان روستایی در تصمیم‌گیری و مدیریت منابع طبیعی به این نتیجه رسید که با شناخت نقش‌ها و توانمندی‌های زنان، می‌توان حفاظت و استفاده صحیح از منابع طبیعی را بهبود و سرعت بخشید و بر ضرورت

طبیعی انجام گرفت. تنگه چهارزبر در ۳۵ کیلومتری غرب شهرستان کرمانشاه و بخش ماهیدشت در جاده اصلی کرمانشاه- اسلام‌آباد غرب واقع شده است. بر اساس آمار و اطلاعات ۳۰ ساله (۱۳۹۵-۱۳۶۶) ایستگاه هواشناسی کرمانشاه که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه پژوهش است، میانگین بارندگی سالیانه، ۴۱۶/۴۱ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه ۱۴/۳۹ درجه سانتی-گراد است. بر اساس جمع‌آوری گیاهی انجام‌شده در منطقه، ۱۶۱ گونه و واحدهای تحت گونه‌ای متعلق به ۱۲۴ جنس و ۴۰ تیره شناسایی شده‌است. پوشش غالب جنگل‌های منطقه درختان بلوط از گونه بلوط ایرانی است. روستاهای منطقه از تپ متمرکز و دائمی هستند که در سال‌های اخیر نیمه‌سکنی‌گزینی در بین برخی از مردم روستاهای منطقه رواج یافته است؛ به این معنی که قسمتی از ایام سال را در شهر سکنی می‌گزینند و در فصل‌های کشاورزی و بهره‌برداری از محصولات جنگلی مجدداً به روستا بازمی‌گردند. از نظر جمعیت و تعداد خانوارها جزو روستاهای کوچک و کمتر از ۱۰۰ خانوار هستند. شغل بیشتر مردم روستایی کشاورزی و دامداری سنتی با اتکا به منابع محلی و طبیعت منطقه است (Management and Planning Organization of Kermanshah Province, 2022).

۲) مقدار زمان مصرفی و تکرارپذیری این فعالیت‌ها چگونه است؟

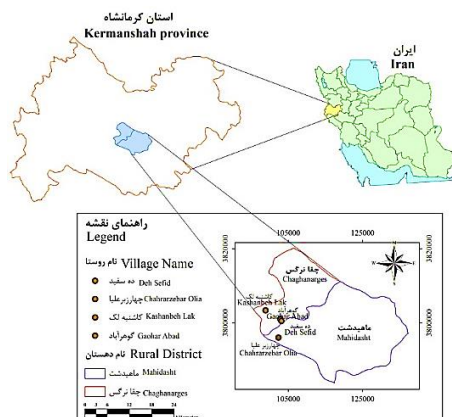
۳) زنان فعالیت‌های منابع طبیعی را با مشارکت چه کسانی انجام می‌دهند؟

۴) آیا بین ویژگی‌های فردی زنان و ایفای نقش در فعالیت‌های معیشتی مرتبط با منابع طبیعی رابطه معنی‌داری وجود دارد؟ تدوین شد.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

برای انجام این پژوهش چهار روستای چهارزبر علیا، ده‌سفید، گوهرآباد و کاشنبه‌لک در بخش ماهیدشت استان کرمانشاه انتخاب شد. انتخاب روستاهای مذکور برای پژوهش حاضر به این دلیل بود که این روستاها از روستاهای مهم منطقه و جزو روستاهایی بودند که سامان عرفی آنها دارای پوشش جنگلی و مرتعی بود. در این روستاها بهره‌برداری از جنگل و مرتع برای تامین معیشت مرسوم بود. علاوه بر این در پایش اولیه و گفتگو با دهیاران، اعضای شورای روستاها و تعدادی از خانوارها، روستاهای فوق برای مشارکت در این تحقیق اظهار تمایل کردند. این پژوهش با تاکید بر فعالیت‌های معیشتی زنان روستایی، شناسایی مسائل، نیازها و توانایی‌ها و استفاده‌های آنها برای حفظ مدیریت منابع



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی چهار روستای موردبررسی در بخش ماهیدشت استان کرمانشاه

Figure 1. Geographical location of four studied villages in Mahidasht district of Kermanshah province

روش کار

زنان چهار روستای چهارزبر علیا، ده سفید، گوهرآباد و کاشنبه لک که تعداد آنها ۱۵۳ نفر است، به عنوان جامعه آماری در منطقه چهارزبر واقع در شهرستان کرمانشاه انتخاب شدند. این پژوهش، با روش پیمایشی انجام و برای گردآوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. با توجه به موضوع پژوهش پرسش‌های چند گزینه‌ای، باز و توضیحی و سؤالاتی هم در قالب مقیاس لیکرت با طیف پنج گزینه‌ای طراحی شدند. سپس پرسشنامه‌ها در بین زنان توزیع و پس از تکمیل جمع‌آوری شدند. روایی پرسشنامه را استادان دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان تأیید کردند. به منظور سنجش پایایی پرسشنامه، از روش تکرار پژوهش یا بازآزمایی استفاده شد. به این ترتیب ۱۰ درصد از پاسخگویان به صورت تصادفی انتخاب و با فاصله زمانی دو ماهه، پرسشنامه‌ها بین آنها توزیع و تکمیل شد. ضرورت فاصله زمانی به این منظور بود که پاسخگویان ذهنیتی از پاسخ‌های اولیه خود نداشته باشند و پاسخ‌های آنها واقعی تر بوده و بدون اریبی باشد. پس از تکمیل و جمع پرسشنامه‌های نوبت دوم، میانگین زمان به دست آمده در هر فعالیت محاسبه و با استفاده از تحلیل همبستگی و آزمون t با میانگین پرسشنامه‌های نوبت اول مقایسه شد. ضریب همبستگی بالا ($0/981$) و معنی‌دار و نبود اختلاف معنی‌دار ($t=0/162$) بین میانگین زمان در دو بررسی به معنی تأیید پایایی ابزار سنجش و اندازه‌گیری در این تحقیق تلقی شد.

با توجه به اینکه بیشتر زنان سواد زیادی نداشتند تکمیل پرسشنامه‌ها با حضور محقق و راهنمایی وی انجام شد. به این ترتیب با تک تک زنان (۱۵۳ نفر) در مورد همه سوال‌ها بحث شد و سوال‌های پرسشنامه برای آنها توضیح داده شد. برای تکمیل اطلاعات مشاهده

مستقیم و مصاحبه با زنان صورت گرفت. داده‌های به دست آمده در نرم‌افزار آماری SPSS وارد و تحلیل‌های اولیه برای آماده‌سازی داده‌ها به منظور تجزیه و تحلیل صورت گرفت.

برای پردازش داده‌ها شاخص‌های توصیفی هر کدام از متغیرهای فردی، اجتماعی و خانوادگی محاسبه شدند. این شاخص‌ها میانگین، مد، کمینه، بیشینه و انحراف معیار بودند. زمان مشارکت زنان در فعالیت‌های مختلف به روش خوداظهاری توسط آنها ثبت شد. ارتباط زنان با اداره منابع طبیعی، شناخت زنان از منابع طبیعی روستا، تکرارپذیری فعالیت‌ها (تعداد بارهایی که یک فعالیت در یک مقیاس زمانی مانند روز، ماه و سال انجام می‌شود) و مشارکت و همراهی دیگر افراد (مانند شوهر، فرزندان و دیگر زنان) متغیرهای دیگری بودند که برای ارزیابی نقش زنان در مدیریت (حفاظت و بهره‌برداری) منابع طبیعی و رسیدن به اهداف تحقیق ثبت و اندازه‌گیری شد.

به منظور ارزیابی نقش زنان در مدیریت و تصمیم‌گیری در سطح خانوار، نقش آنها در مدیریت و تصمیم‌گیری هزینه و درآمد مورد سوال قرار گرفت. شاخص‌های مالی اگرچه تنها عامل‌های موثر مدیریت و تصمیم‌گیری نیستند اما می‌توانند از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده باشند. در این پژوهش در یک بخش جدا، سه سوال از زنان در مورد مقدار نقش آنها در تصمیم‌گیری‌ها در رابطه با فروش و بازاریابی محصولات، مقدار درآمد در اختیار آنان و همچنین نقش آنان در هزینه‌کرد درآمدها پرسیده شد. برای تعیین ارتباط بین ویژگی‌های مختلف فردی و اجتماعی زنان با جنبه‌های مختلف فعالیت‌های انجام شده توسط آنان از تحلیل همبستگی استفاده شد. به دلیل رتبه‌ای بودن داده‌ها از همبستگی اسپیرمن استفاده شد. در ابتدا همبستگی بین ویژگی‌های زنان با مقدار کار انجام شده

توسط آنها (براساس زمان)، همبستگی بین ویژگی‌های زنان با نقش آنها در مدیریت و تصمیم‌گیری و شناخت منابع طبیعی محاسبه شد. در بخش منابع طبیعی به‌طور ویژه، همبستگی ویژگی‌های خانوادگی زنان با زمان فعالیت، نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری، زمان انجام فعالیت و شناخت منابع طبیعی تجزیه و تحلیل شد.

نتایج

وضعیت عمومی پاسخگویان و روستاهای موردبررسی

طبق نتایج در چهار روستای موردبررسی کمترین و بیشترین تعداد شرکت‌کنندگان زن متعلق به روستای ده‌سفید و گوهرآباد بوده‌است. در این پژوهش میانگین سن پاسخگویان ۴۶ سال که جوانترین و مسن‌ترین افراد ۱۸ و ۸۰ سال سن داشتند. ۳۴ درصد جمعیت موردبررسی بی‌سواد، ۴۳ درصد آنها سواد ابتدایی و فقط ۳/۹ درصد پاسخگویان دارای تحصیلات دانشگاهی در حد فوق‌دیپلم و لیسانس بودند. تعداد فرزندان خانواده در چهار روستا ۱۹۸ نفر و حداکثر تعداد فرزندان دختر و پسر در خانواده‌ها پنج نفر بود. از نظر مقدار درآمد، ۱۷/۶ درصد خانوارها درآمد پایین، ۴۹ درصد متوسط و بقیه هم درآمد بالایی داشتند. کشاورزی و دامداری شغل اصلی مردم روستا بود البته در این روستاها شغل‌های متفرقه دیگری هم وجود داشت. مدت سکونت خانوارها در این روستاها به‌طور میانگین ۳۸ سال که کمترین و بیشترین مدت سکونت آنها ۲ و ۷۳ سال بود. ساکنان این روستاها به‌ویژه در روستای چهارزبر علیا خانه‌های خود را بیشتر از مصالح جدید ساخته بودند. البته در این روستاها از مصالح محلی و ترکیبی استفاده

شده‌بود. بیشتر پاسخگویان از زندگی در روستا بسیار راضی بودند. ساکنان روستاهای گوهرآباد و ده‌سفید بیشترین و کمترین مقدار رضایت از زندگی در روستا را داشتند. مقدار تمایل روستاییان به مهاجرت به شهر پایین بود؛ به طوری که ۸۶/۲ درصد تمایل خیلی کمی به زندگی در شهر داشتند. فعالیت‌های مذهبی و اجتماعی زنان این روستاها زیاد بود و از نظر بیشتر آنها (۸۸/۴ درصد) فعالیت‌های اجتماعی دارای اهمیت فراوان بود. همچنین ۹۳/۵ درصد پاسخگویان بیان داشتند که فعالیت‌های اقتصادی زنان اهمیت خیلی زیادی دارد. ارتباط آنها به‌طورکلی با اداره‌های خدماتی و جهاد کشاورزی و همچنین منابع طبیعی ضعیف بود. همانطورکه در جدول ۱ قابل مشاهده است زنان ارتباط خیلی کمی با اداره منابع طبیعی دارند.

مقدار شناخت زنان در ارتباط با منابع طبیعی روستا

مقدار شناخت کلی زنان روستایی از منابع طبیعی پیرامون روستاها با استفاده از هفت گویه سنجش شد. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که زنان روستاهای موردبررسی در آیت‌هایی مانند شناسایی گونه‌های جنگلی و مرتعی و همچنین آشنایی با اهمیت جنگل و مرتع بیشترین شناخت و در آیت‌های دیگر مانند آشنایی با تعاونی‌های منابع طبیعی و روش مالکیت این منابع کمترین شناخت را داشته‌اند. همانطورکه در جدول ۲ نشان داده شده است به‌طورکلی مقدار شناخت زنان از منابع طبیعی با میانگین ۲/۴۵ در طیف لیکرت در سطح کم تا متوسط قرار داشت و ۳۰ درصد زنان شناخت خیلی کمی از منابع طبیعی اطراف خود داشتند.

جدول ۱- ارتباط پاسخگویان با اداره منابع طبیعی

Table 1. Respondents' communication with the natural resources office

سطح ارتباط Level of communication				نام روستا Village Name
خیلی کم Very low	کم Low	متوسط Middle	زیاد High	
29	4	2	2	چهارزبر علیا Chahar-zebar Olia
20	3	6	0	ده سفید Deh-Sefid
42	2	10	1	گوهرآباد Gohar-Abad
11	13	8	0	کاشنبه لک Kashanbe-Lak
102	22	26	3	کل Total

جدول ۲- شناخت زنان منطقه مورد بررسی از منابع طبیعی پیرامون روستا

Table 2. Knowledge of women in the study area about natural resources around the village

خیلی کم Very low	کم Low	متوسط Middle	زیاد High	خیلی زیاد Very High	میانگین Mean	مد Mode	انحراف از معیار Standard deviation	شاخص Parameter
6	3	15	36	93	4.35	5	1.01	شناسایی گونه‌ها Species identification
53	69	26	5	-	1.89	2	0.799	آشنایی با اداره منابع طبیعی Familiarity with the Natural Resources Office
10	40	72	30	1	2.82	3	0.846	آگاهی از انواع تخریب جنگل Knowledge about the types of forest destruction
152	1	-	-	-	1.01	1	0.081	آشنایی با تعاونی منابع طبیعی Familiarity with the natural resources cooperative
152	1	-	-	-	1.01	1	0.081	آشنایی با مالکیت منابع طبیعی Familiarity with the natural resources ownership
3	3	24	106	17	3.86	4	0.711	آشنایی با اهمیت جنگل و مرتع Familiarity with the importance of forest and pasture
35	57	53	8	-	2.22	2	0.86	آشنایی با تأثیر منابع طبیعی در معیشت Familiarity with the impact of natural resources on livelihood
58.7	24.9	38	37	37	2.45	2.6	0.723	میانگین کل Total average
30	12.7	19.4	18.9	18.9				درصد Percent

تکرارپذیری انجام فعالیت و مقدار مشارکت اعضای خانوار در انجام فعالیت از زنان پرسیده شد و کلیه فعالیت‌های مربوط به حفاظت و بهره‌برداری از منابع

زمان صرف شده در انجام فعالیت‌های منابع طبیعی در پژوهش حاضر سه سوال اصلی در مورد منابع طبیعی شامل مقدار زمان صرف‌شده برای هر فعالیت،

طبیعی مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس یافته‌های پژوهش، زنان از ۳۰ فعالیت مربوط به منابع طبیعی فقط در هشت مورد آن (برابر با ۲۶/۷ درصد) نقش داشتند. زنان مشارکت‌کننده در این پژوهش اعلام کردند که در فعالیت‌هایی مانند تولید نهال، کاشت نهال، هرس، بذرپاشی، کوددهی، قطع درخت، پرچین نهال و درخت، جمع‌آوری علوفه دام در بهار، جلوگیری از ورود دام به جنگل، کلاس‌های آموزشی منابع طبیعی، ایجاد آتش‌بر در جنگل و مرتع، مراجعه به اداره منابع طبیعی، تماس با شماره ۱۵۰۴ برای تحلف، تیمار درختان جنگلی آسیب‌دیده، تیمار حیوانات وحشی زخمی، شکار حیوانات وحشی، کندن بوته‌ها، چراندن دام و صنایع مرتبط با منابع طبیعی هیچ نقشی ندارند. از نظر فراوانی حضور زنان، فعالیت‌هایی مانند جمع‌آوری قارچ و

گیاهان خوراکی، جمع‌آوری بذر و میوه، جمع‌آوری گیاهان دارویی و جمع‌آوری هیزم به ترتیب در اولویت بودند و به‌طور میانگین حدود ۷۰ درصد از زنان در این فعالیت‌ها نقش داشتند. استفاده از چوب جنگل، خاموش کردن آتش و پرچین حیاط با سرشاخه‌ها جزو کارهایی هستند که زنان نقش کمتری در آن داشتند. از نظر زمان صرف‌شده، بیشترین میانگین زمان مربوط به جمع‌آوری بذر و میوه بود و پس از آن جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی و جمع‌آوری چوب هیزمی قرار گرفت. کمترین زمان کاری زنان مربوط به خاموش کردن آتش جنگل بود. میانگین زمان صرف‌شده روزانه توسط زنان برای هر فعالیت در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- زمان صرف‌شده (به دقیقه) برای فعالیت‌های منابع طبیعی توسط زنان روستایی

Table 3. Time spent on natural resources activities by rural women

تعداد پاسخگو Number of respondents	میانگین زمان صرف شده Average time spent	مد Mode	انحراف معیار Standard deviation	کمینه Minimum	بیشینه Maximum	فعالیت Activity
105	1574	180	1550.5	180	5160	جمع‌آوری بذر و میوه جنگل Collecting forest seeds and fruits
86	300.5	180	172.2	105	900	جمع‌آوری چوب هیزمی Collecting firewood
99	158.2	120	107.8	60	600	جمع‌آوری گیاهان دارویی Collecting medicinal plants
138	1130.8	900	115.2	180	2700	جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی Collecting mushrooms and edible plants
13	36.9	30	9.2	30	60	خاموش کردن آتش جنگل Extinguishing forest fire
20	184.2	180	51.4	120	360	زغال‌گیری Charcoal making

ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

فعالیت Activity	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	انحراف معیار Standard deviation	مد Mode	میانگین زمان صرف شده Average time spent	تعداد پاسخگو Number of respondents
استفاده از چوب درختان جنگلی Use of wood from forest trees	180	90	33.6	120	139	11
پرچین حیاط با سرشاخه ها و درختچه ها Fencing yard with branches and shrubs	360	120	62.3	240	236.2	13

تکرارپذیری در انجام فعالیت های طبیعی
بررسی تکرارپذیری فعالیت های منابع طبیعی توسط زنان روستایی نشان داد که بیشتر فعالیت ها از نظر زمانی در مقیاس به نسبت بلند و دو سه بار در سال یا سالانه

است. بیشترین تکرارپذیری مربوط به فعالیت های جمع آوری بذر و میوه جنگل، جمع آوری چوب هیزمی و جمع آوری گیاهان دارویی بود. جدول ۴ تکرارپذیری فعالیت های زنان در منابع طبیعی را نشان می دهد.

جدول ۴- تکرارپذیری فعالیت های منابع طبیعی توسط زنان روستایی

Table 4. Repetitiveness of natural resources activities by rural women

فعالیت Activity	چند بار در سال Several times a year	چند سال یکبار Every few years	سالانه yearly	دو سه بار در سال Two or three times a year	ماهانه monthly	دو سه بار در ماه Two or three times a month	هفتگی weekly	چند بار در هفته Several times a week	روزانه Daily	چند بار در روز Several times a day	تعداد پاسخگو Number of respondents
جمع آوری بذر و میوه جنگل Collecting forest seeds and fruits	-	-	9.8	26.8	0.7	-	-	-	-	-	105
جمع آوری چوب هیزمی Collecting firewood	-	-	23.5	22.2	-	-	-	0.7	-	-	86
جمع آوری گیاهان دارویی Collecting medicinal plants	-	-	37.3	20.3	-	-	-	-	-	0.7	99
جمع آوری قارچ و گیاهان خوراکی Collecting mushrooms and edible plants	-	-	-	6.5	-	-	-	-	-	-	138
خاموش کردن آتش جنگل Extinguishing forest fire	-	0.7	5.9	2	-	-	-	-	-	-	13
زغال گیری Charcoal making	-	-	12.4	0.7	-	-	-	-	-	-	20

ادامه جدول ۴.

Continued table 4.

تعداد پاسخگویان Number of respondents	چند بار در روز Several times a day	روزانه Daily	چند بار در هفته Several times a week	هفتگی weekly	دو سه بار در ماه Two or three times a month	ماهانه monthly	دو سه بار در سال Two or three times a year	سالانه yearly	چند سال یکبار Every few years	چند بار در سال Several times a year	فعالیت Activity
11	-	-	-	-	-	-	0.7	6.5	-	-	استفاده از چوب درختان جنگلی Use of wood from forest trees
13	-	-	-	-	-	-	1.3	5.2	1.3	0.7	پرچین حیاط با سرشاخه‌ها و درختچه‌ها Fencing yard with branches and shrubs

طبیعی با زنان داشتند. زنان همسایه در جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی و مردان در جمع‌آوری هیزم بیشترین همکاری را با زنان داشتند. پسران در انجام کارهای منابع طبیعی کمترین مشارکت و دختران نیز به جز در جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی و دارویی نقش دیگری در انجام فعالیت‌های مربوط به منابع طبیعی نداشتند. جدول ۵ مشارکت افراد در انجام فعالیت‌ها را نشان می‌دهد.

مقدار مشارکت افراد در انجام فعالیت‌های منابع طبیعی بررسی وضعیت مشارکت افراد در فعالیت‌های منابع طبیعی بیانگر مشارکت ۳۹/۶ درصد زنان در این فعالیت‌هاست. نتایج نشان داد که زنان در بیشتر کارهای منابع طبیعی تنها نیستند و فعالیت‌ها به صورت مشارکتی انجام می‌شود. افراد و گروه‌های مشارکت کننده شامل زنان همسایه، شوهر و همه اعضای خانواده بودند که به ترتیب بیشترین همکاری را در انجام فعالیت‌های منابع

جدول ۵- مشارکت اعضای خانوار و دیگران در فعالیت‌های منابع طبیعی

Table 5. Participation of family members and others in natural resources activities

تعداد پاسخگویان Number of respondents	زن خانواده Family woman	با همسر With husband	با دختر With girl	با دیگر زنان With other women	با پسر With the boy	همه اعضای خانواده All family members	فعالیت Activity
105	-	19	2	31.4	2	14.4	جمع‌آوری بذر و میوه جنگل Collecting forest seeds and fruits
86	-	24.8	0.7	17	2.6	11.1	جمع‌آوری چوب هیزمی Collecting firewood

ادامه جدول ۵.

Continued table 5.

فعالیت Activity	همه اعضای خانواده All family members	با پسر With the boy	با دیگر زنان With other women	با دختر With girl	با همسر With husband	زن خانواده Family woman	تعداد پاسخگویان Number of respondents
جمع‌آوری گیاهان دارویی Collecting medicinal plants	8.5	1.3	32	7.8	12.4	2.6	99
جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی Collecting mushrooms and edible plants	13.7	-	55.6	11.8	8.5	0.7	138
خاموش کردن آتش جنگل Extinguishing forest fire	0.7	-	5.2	-	2.6	-	13
زغال‌گیری Charcoal making	3.9	1.3	-	-	7.8	-	20
استفاده از چوب درختان جنگلی Use of wood from forest trees	2	-	0.7	-	4.6	-	11
پرچین حیاط با سرشاخه‌ها و درختچه‌ها Fencing yard with branches and shrubs	2	-	0.7	-	5.9	-	13
میانگین Mean	7.03	1.8	20.37	5.57	10.7	1.65	61

همبستگی ویژگی‌های فردی زنان با زمان انجام فعالیت،

نقش در مدیریت و شناخت منابع طبیعی

همبستگی ویژگی‌های فردی زنان مانند سن و تحصیلات با زمان صرف‌شده برای انجام فعالیت‌های مرتبط با منابع طبیعی نشان داد که از بین این عوامل، سن تنها موردی است که همبستگی معنی‌دار و غیرمستقیمی با زمان فعالیت‌های منابع طبیعی دارد. به این ترتیب با افزایش سن، حضور زنان در فعالیت‌های منابع طبیعی کاهش می‌یابد. در جدول ۶ همبستگی ویژگی‌های فردی زنان با زمان صرف‌شده در فعالیت‌های منابع طبیعی نشان داده شده است. بر اساس نتایج، زنان جوان‌تر تا حدی نقش بیشتری در مدیریت منابع طبیعی دارند. نقش‌های مدیریتی و تصمیم‌گیری زنان در منابع طبیعی با سه سوال شامل مشارکت زنان

در تصمیم‌گیری برای مدیریت جنگل و مرتع، سهم از درآمدها و نقش زنان در چگونگی مصرف درآمدهای منابع طبیعی ارزیابی شد. بر پایه یافته‌ها، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین زمان صرف‌شده توسط زنان در فعالیت‌های منابع طبیعی و نقش آنان در مدیریت و تصمیم‌گیری مشاهده شد، به عبارتی دیگر زنانی که زمان بیشتری در فعالیت‌های منابع طبیعی صرف می‌کردند در مدیریت و تصمیم‌گیری آن نقش بیشتری داشتند. بررسی همبستگی بین ویژگی‌های فردی زنان با شناخت منابع طبیعی نیز بیانگر عدم وجود همبستگی معنی‌داری بین شناخت منابع طبیعی با متغیرهای سن و تحصیلات زنان بود اما شناخت منابع طبیعی با نقش زنان در مدیریت و زمان فعالیت آنان در منابع طبیعی همبستگی مثبت و معنی‌داری داشت.

جدول ۶- همبستگی بین ویژگی‌های فردی زنان و متغیرهای مدیریت منابع طبیعی

Table 6. Correlation between women's individual characteristics and natural resources management variables

عوامل Factors	شناخت منابع طبیعی Knowledge of natural resources	نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری Role in management and decision making	زمان فعالیت در منابع طبیعی Activity time in natural resources
سن Age	-0.05	-0.167*	-0.269**
تحصیلات Education	0.023	0.07	0.153
زمان فعالیت در منابع طبیعی Activity time in natural resources	0.45**	0.588**	1
نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری Role in management and decision making	0.414**	1	0.588**

*معنی‌دار در سطح ۹۰ درصد، **معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد.

*significant at the 90% level, **significant at the 95% level.

همبستگی بین ویژگی‌های خانوادگی و اجتماعی زنان با زمان انجام فعالیت، نقش در مدیریت و شناخت منابع طبیعی
تحلیل همبستگی بین برخی ویژگی‌های خانوادگی و اجتماعی زنان با متغیرهای زمان انجام فعالیت، نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری و شناخت منابع طبیعی با استفاده از روش اسپیرمن انجام شد. ضرایب همبستگی در جدول ۷ نشان داده شده است.

جدول ۷- همبستگی بین ویژگی‌های خانوادگی و اجتماعی زنان و متغیرهای مدیریت منابع طبیعی

Table 7. Correlation between family and social characteristics of women and variables of natural resources management

عوامل Factors	شناخت منابع طبیعی Knowledge of natural resources	نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری Role in management and decision making	زمان فعالیت در منابع طبیعی Activity time in natural resources
تعداد فرزند Number of children	- 0.113	0.035	0.062
سطح سواد سرپرست خانواده Literacy level of family head	0.061	0.102	0.126
حمایت اقتصادی Economic support	0.041	- 0.121	0.297
مدت اقامت Staying history	- 0.068	- 0.095	- 0.211**
کیفیت خانه مسکونی Quality of house	0.064	0.119	0.095

ادامه جدول ۷.

Continued table 7.

عوامل Factors	شناخت منابع طبیعی Knowledge of natural resources	نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری Role in management and decision making	زمان فعالیت در منابع طبیعی Activity time in natural resources
رضایت از زندگی در روستا Satisfaction with life in the village	0.146	- 0.021	0.024
فعالیت مذهبی Religious activity	- 0.224**	- 0.215**	- 0.006
تمایل به مهاجرت Willingness to migrate	- 0.329**	- 0.224**	- 0.191*
انگیزه تغییر کیفیت زندگی Motivation to change the quality of life	0.108	- 0.059	- 0.098
اهمیت فعالیت اقتصادی زنان The importance of women's economic activity	0.047	- 0.106	0.052
اهمیت فعالیت اجتماعی زنان The importance of women's social activity	0.088	- 0.087	0.063
روش تامین معیشت Way of providing livelihood	- 0.107	-0.1	0.008

بحث

در این پژوهش چهار روستای دارای پوشش جنگلی و مرتعی در بخش ماهیدشت شهرستان کرمانشاه با هدف بررسی نقش زنان در حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت منابع طبیعی و انجام فعالیت‌های مرتبط با آن موردپژوهش قرار گرفت. زنان شرکت‌کننده در این بررسی با میانگین سنی ۴۶ سال، در رده میانسال قرار داشتند که بیانگر تجربه کافی آنها در فعالیت‌های مختلف روستایی است. میانگین سنی زنان موردتحقیق در پژوهش Mirlofti et al. (2013) که با هدف تقریباً مشابه این پژوهش انجام شده بود نیز در همین حدود (۴۵/۶۷ سال) بود. با وجود اینکه تعداد قابل‌توجهی از زنان روستاهای موردبررسی در دامنه سنی جوان تا میانسال قرار داشتند؛ بسیاری از آنها بی‌سواد یا کم‌سواد (خواندن و نوشتن) بودند. دلیل این مسئله می‌تواند نبود

مدرسه راهنمایی و محدودیت‌های خانوادگی باشد (Ghanian et al., 2008). پایین بودن سطح سواد یکی از مهم‌ترین موانع توانمندسازی زنان روستایی است (Roshan-nia et al., 2016). ۹۶ درصد زنان در این بررسی متأهل بودند و در طیف زیادی از فعالیت‌های روستا مشارکت داشتند که این موضوع در رابطه با هدف پژوهش حاضر نکته مثبتی بود؛ چراکه نمونه‌های کافی برای انجام تحقیق وجود داشت. میانگین بُعد خانوار در روستاهای موردبررسی ۳/۲۵ نفر بود که نشان می‌دهد هر خانوار به‌طور متوسط کمتر از دو فرزند دارد. بُعد خانوار این روستاها نسبت به میانگین کشوری روستاها (۳/۴) و حتی شهرها (۳/۳) - ارائه شده توسط مرکز آمار ایران- کمتر بود (Statistical Centre of Iran, 2016). سطح درآمد خانوارها به صورت نسبی و در مقایسه با دیگر خانوارهای روستا تعریف شد که بر این اساس بیشتر خانوارها در طبقه درآمدی متوسط و پایین

قرار داشتند. با توجه به عدم شفافیت کسب و کار روستایی، تنوع منابع درآمدی و مشخص نبودن درآمدها، سطح ثروتمندی خانوارها به صورت کیفی با توجه به وضعیت مسکن، تعداد دام و مساحت زمین‌های کشاورزی و همچنین خوداظهاری روستاییان به دست آمد. Plieninger et al. (2023) از این روش برای تعیین سطح ثروت روستاییان استفاده کردند.

با وجود پیش‌بینی ۳۰ نوع فعالیت مرتبط با منابع طبیعی در پرسشنامه، زنان فقط در حدود ۲۷ درصد آنها نقش داشتند و بسیاری از فعالیت‌های منابع طبیعی در این منطقه موضوعیت نداشت و یا توسط زنان انجام نمی‌شد. فراوانی حضور زنان در این فعالیت‌ها متفاوت و از ۱۱ نفر (در استفاده از چوب درختان جنگلی) تا ۱۳۸ نفر (در جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی) متغیر بود. به‌طور میانگین تعداد زنانی که در فعالیت‌های منابع طبیعی حضور داشتند ۶۱ نفر بود. Karamidehkordi and Babaei (2018) نیز نشان دادند که همه زنان روستاهای موردبررسی در حوزه آبخیز قزل تپه زنجان در جمع‌آوری گیاهان دارویی نقش دارند. پس از جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی، زنان بیشترین حضور را در جمع‌آوری بذر، میوه و چوب هیزمی داشتند و در فعالیت‌هایی مانند استفاده از چوب جنگل و خاموش کردن آتش کمترین نقش را داشتند. جمع‌آوری بذر و میوه، جمع‌آوری قارچ و گیاهان خوراکی و جمع‌آوری چوب هیزمی به ترتیب بیشترین زمان را به خود اختصاص دادند. بر پایه تحقیق Efati (2014) در روستاهای لرستان و کرمانشاه، جمع‌آوری چوب برای هیزم توسط ۴۳ درصد از زنان انجام می‌شد؛ درحالی‌که در تحقیق حاضر ۵۶ درصد زنان این فعالیت را انجام می‌دادند. از نظر تکرارپذیری، فعالیت‌های منابع طبیعی عمدتاً در بازه زمانی به‌نسبت بلندمدت سالانه یا دو سه بار در سال انجام می‌شد. نگاهی به حضور زنان

در فعالیت‌های منابع طبیعی بیانگر این است که به‌طورکلی زنان مشارکت ضعیفی در مدیریت این منابع (به معنی ایفای نقش در فعالیت‌های مرتبط با منابع طبیعی) دارند. از بین فعالیت‌های حفاظتی، بهره‌برداری و توسعه‌ای منابع طبیعی، بیشترین حضور زنان در فعالیت‌های مرتبط با بهره‌برداری است. Ghanian et al. (2008) نیز به این نتیجه رسیدند که زنان در برخی فعالیت‌های بهره‌برداری منابع طبیعی در استان خوزستان مانند چرای دام نقش زیادی دارند که حتی منجر به تخریب آن می‌شود اما شناخت و دانش آنها در مورد حفاظت و بهره‌برداری اصولی از این منابع بسیار کم بود. بر پایه یافته‌ها مقدار شناخت زنان از منابع طبیعی با میانگین رتبه‌های طیف لیکرت ۲/۴۵، متوسط و متمایل به کم بود و ۳۰ درصد آنان شناخت خیلی کمی نسبت به آیتم‌های مختلف منابع طبیعی داشتند. این در حالی است که Azizi et al. (2023) نشان دادند که ظرفیت یادگیری کلی بهره‌برداران محلی در شهرستان پاوه بالاتر از حد متوسط است. Amini and Taheri (2017) نقش آموزش و در نتیجه شناخت در افزایش فعالیت و نقش‌آفرینی زنان را در زمینه‌های مختلف بسیار مهم ارزیابی کردند. زنان در این پژوهش آشنایی زیادی با گونه‌های جنگلی و مرتعی و اهمیت جنگل و مرتع داشتند و کمترین شناخت آنها از مواردی مانند تعاونی‌های منابع طبیعی و شیوه مالکیت بود. همچنین یافته‌ها تایید می‌کنند که زنان مشارکت‌کننده در این پژوهش نقش قابل‌توجهی در حفاظت از جنگل ندارند و به جز چند مورد در خاموش کردن آتش در بقیه کارهای حفاظت جنگل نقشی نداشتند. نقش ناچیز زنان در حفاظت از منابع طبیعی در حالی در این منطقه مشاهده می‌شود که (Asgari Moghadam 2008) زنان را یکی از مهم‌ترین قشرهای هدف برای ترویج حفاظت و توسعه منابع طبیعی در جامعه می‌داند و بررسی‌های

داشتند، شناخت کمتری از منابع طبیعی داشتند. برعکس هر چه زمان فعالیت زنان در بخش منابع طبیعی بیشتر بود و نقش بیشتری در مدیریت و تصمیم‌گیری برعهده داشتند، شناخت آنها از منابع طبیعی به‌طور معنی‌داری بیشتر بود. بر این پایه می‌توان نتیجه گرفت که دانش منابع طبیعی بیشتر منجر به توانمندی زنان برای ایفای نقش بیشتر در مدیریت و تصمیم‌گیری این منابع می‌شود (Sing, 2015; Lahijanian and Vaskoei, 2016). نتایج پژوهش نشان داد که با افزایش سن، مقدار فعالیت در منابع طبیعی کاهش می‌یابد که ممکن است به دلیل سختی کار و نیاز به توانایی بدنی برای انجام فعالیت‌های مرتبط با جنگل باشد. (Vafaei and Tarkarani, 2015) نیز رابطه معنی‌داری را بین سن و نوع فعالیت زنان نشان دادند. علاوه بر این زنان مسن‌تر نقش کمتری در مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد منابع طبیعی داشتند. اما رابطه‌ای بین سن و شناخت منابع طبیعی مشاهده نشد. به این ترتیب می‌توان گفت که دانش زنان در مورد منابع طبیعی که در سطح کم تا متوسط بود، بیشتر برگرفته از تجربه‌های زیسته بوده و مقدار مشخصی از دانش است که در بین افراد جامعه منتقل می‌شود (Asgari Moghadam, 2008; Singh, 2015). این یافته‌ها تأکیدی بر ضرورت آموزش زنان در حوزه منابع طبیعی است (Ghanian et al., 2008; Vafaei and Tarkarani, 2015). نتایج بیانگر این است که زنانی که زمان بیشتری را در فعالیت‌های منابع طبیعی صرف می‌کنند، نقش‌آفرینی بیشتری نیز در مدیریت و تصمیم‌گیری داشتند و شناخت آنها از منابع طبیعی بیشتر بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عامل تعیین‌کننده هم در مدیریت و هم در شناخت منابع طبیعی مقدار فعالیت در این بخش است و سن، تحصیلات و دیگر ویژگی‌های خانوادگی اثر کمتری بر این متغیرها دارند. همبستگی بین این عوامل نسبت به دیگر متغیرها بیشتر

مختلف بر توانمندسازی و توان‌افزایی جوامع محلی و مشارکت آنان در مراحل تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری، اجرا و پایش به عنوان یکی از راهکارهای حفاظت بهتر از منابع طبیعی و رسیدن به مدیریت پایدار منابع طبیعی تأکید دارند (Akbarzadeh et al., 2018; Karami and Karimi, 2019). در این راستا می‌توان از توانایی‌های بالقوه آنان در این عرصه‌ها نهایت استفاده را بُرد و گامی اساسی برای فرهنگ‌سازی حفاظت و توسعه این منابع ارزشمند برداشت. بررسی نقش‌های مدیریتی زنان در تصمیم‌گیری برای فروش محصول، مقدار درآمد در اختیار آنان و نقش در هزینه‌کرد درآمدها در فعالیت‌های منابع طبیعی نشان داد که زنان در مدیریت و تصمیم‌گیری در مورد هزینه‌ها و درآمدها نقش خیلی کمی دارند. (Efati, 2014) نقش موانع فردی، خانوادگی و اجتماعی را در کاهش مشارکت و نقش‌آفرینی زنان روستایی در تصمیم‌گیری و مدیریت را مهم می‌داند. (Abate, 2019) بیان کرد که زنان در عرصه‌های منابع طبیعی نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند اما برای تصمیم‌گیری بیشتر در بخش‌های اقتصادی مصمم بودند. همچنان که (Assmaa et al., 2012) و (Mirlotfi et al., 2013) نشان دادند به دلیل نادیده گرفته شدن در تصمیم‌گیری‌های اجتماعی، عدم آموزش و عدم مشارکت در زمینه‌های کاری، زنان نتوانسته‌اند گام مفیدی در رسیدن منابع طبیعی به توسعه پایدار بردارند. یافته‌ها بیانگر این است که از بین ویژگی‌های خانوادگی و اجتماعی زنان، فعالیت مذهبی و تمایل به مهاجرت دارای رابطه معکوس و معناداری با نقش در مدیریت و تصمیم‌گیری منابع طبیعی است. همچنین متغیرهای مدت اقامت در روستا و تمایل به مهاجرت نیز رابطه منفی و معنی‌داری با زمان فعالیت در بخش منابع طبیعی داشتند. بر پایه یافته‌های این پژوهش زنانی که فعالیت مذهبی بیشتر و تمایل بیشتری به مهاجرت از روستا

بود و ارتباط آنها معنی‌دار بود. (Ghanian et al. (2008) رابطه معنی‌داری بین ویژگی‌های فردی زنان و مقدار فعالیت‌های حفاظتی، بهره‌برداری و احیایی منابع طبیعی پیدا نکردند و عدم آموزش را دلیل بهره‌برداری‌های غیر اصولی توسط زنان عنوان کردند. نتایج پژوهش Norouzi and Jafta (2020) نشان داد که با کاهش سن، افزایش درآمد و همچنین افزایش سطح تحصیلات زنان مقدار حفاظت و احیاء منابع طبیعی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر کاهش تحصیلات، افزایش سن، فقر، تأهل و تعداد بالای اعضای خانوارها سبب کاهش حفاظت و احیاء منابع طبیعی می‌شود که این نتایج با یافته‌های این پژوهش همسو است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نقش زنان در حفاظت، بهره‌برداری و مدیریت منابع طبیعی و انجام فعالیت‌های مرتبط با آن در چهار روستای جنگلی بخش ماهیدشت شهرستان کرمانشاه مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج پژوهش، می‌توان بیان داشت که زنان به عنوان نیمی از جامعه نقش مهمی در فعالیت‌های روستایی دارند و با شناخت نقش‌ها و توانمندی‌های زنان، می‌توان حفاظت و استفاده صحیح از منابع طبیعی را بهبود و سرعت بخشید. بنابراین شایسته است نقش زنان به ویژه در مدیریت منابع طبیعی بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. از این رو پیشنهاد می‌شود با آگاهی‌سازی و مشاوره به روستائیان و همچنین تقویت مشارکت زنان در این زمینه به حفظ و احیاء منابع طبیعی کمک کرد. همچنین بر پایه یافته‌ها و در ارتباط با سوال‌های پژوهش می‌توان بیان داشت که زنان روستاهای منطقه مورد بررسی صرفاً در بهره‌برداری برخی محصولات و گیاهان جنگلی و مرتعی نقش دارند و در حفاظت و توسعه جنگل فعالیت قابل توجهی انجام نمی‌دهند. واقعیت این است که در مدیریت منابع طبیعی، برخلاف شعارها، جوامع محلی و روستائیان اعم

از زنان و مردان تقریباً نقش قابل ملاحظه‌ای ندارند. درحالی‌که هم در ایران و هم در بسیاری از کشورهای دیگر دنیا امروزه نقش جوامع محلی و در مدیریت مشارکتی منابع طبیعی و جنگلداری اجتماعی مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در نظر گرفتن مشارکت مردمی به صورت عام و نقش زنان به طور خاص در مدیریت منابع طبیعی ضروری است. ارتباط خیلی کم با اداره منابع طبیعی، بیانگر نبود برنامه‌های ترویجی و آموزشی مناسب برای زنان و عدم حضور کارشناسان منابع طبیعی در میان جامعه است. شناخت ضعیف تا متوسط از منابع طبیعی نیز موید این موضوع است. بنابراین پیشنهاد می‌شود بخش آموزش و ترویج اداره‌های منابع طبیعی و کشاورزی ارائه آموزش‌ها را به صورت جدی در دستور کار قرار دهند. یافته‌های تحقیق حاضر نشان‌دهنده انجام کارها به صورت مشارکتی است. دیگر زنان روستا و همسران بیشترین مشارکت را با زنان در انجام فعالیت‌ها داشتند و همکاری بسیار کم فرزندان پسر و همچنین دختران با مادران از نکات جالب بود. توجه به آموزش و توانمندسازی زنان جوان از اهمیت زیادی در مدیریت منابع طبیعی دارد؛ چرا که فعالیت‌های بیشتری را در منابع طبیعی انجام می‌دهند، شناخت به نسبت بیشتری از منابع طبیعی دارند و نقش آنها در مدیریت و تصمیم‌گیری هم بیشتر است. با این حال فراهم کردن شرایط برای زنان مسن‌تر و آموزش آنان نباید نادیده گرفته شود. با توجه به نقش زنان در شکل‌گیری بنیان فکری و فرهنگی خانوار به ویژه نسل آینده، پیشنهاد می‌شود ارزش فعالیت زنان و راهکارهای به کارگیری موثر پتانسیل آنها در حفاظت و توسعه منابع طبیعی و برپایی نظام مدیریت مشارکتی مورد بررسی قرار گیرد.

سپاسگزاری

مقاله شدند و همچنین ساکنان محترم روستاهای چهارزبر علیا، دهسفید، گوهرآباد و کاشنبه لک به ویژه زنانی که با پژوهشگران همکاری کرده و در فراهم کردن داده‌ها و اطلاعات ما را یاری دادند صمیمانه سپاسگزاری می‌کنند.

References

- Abate, N., Rural Women Participation in Decision-Making Power and Natural Resource Management in Ethiopia: A Case of Delanta District, South Wello Zone. *EC Agriculture*, **2019**, 5, 448-460.
- Aghdasi, S., Babaie, F., Mohammadi, A., The Role of Rural Women Facilitators in Training of Sustainable Development and Environment Protection. *Journal of Sustainability, Development and Environment*, **2014**, 1(2). 31-39. (In Persian)
- Akbarzadeh, P., Kabuli, S. H., Rajabi, M., The role of empowering local communities in the sustainable management of natural resources (case study: Rameh area of Aradan). *New Perspectives in Human Geography (Human Geography)*, **2018**, 12(1). 573-594. (In Persian)
- Amini, A., Taheri, A. H., An analysis on the role-playing of rural women's economical activities and its determinants: the case of Simakan rural district in Jahrom County. *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, **2017**, 12(2). 37-51. (In Persian)
- Asgari Moghadam, Z., The role of women in oasisification and sustainable development of natural resources. *Monthly Agriculture and Food*, **2008**, 69. 58-61. (In Persian)
- Assmaa, A., Najib, P. G., Laaribya, S., Benchekroun, F., Involvement of Rural Women in Local Development and Preservation of Natural Resources-Case of The Rural Municipality Sehoul-Morocco. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, **2012**, 12(2). 261-269.
- Azizi, M., Rostami, F., Heidari, R.H., Evaluation of livelihood resilience of agroforestry system users in Paveh city in the face of drought. *Forest Research and Development*, **2023**, 9 (1). 29-45. (In Persian)
- Beygi Heidarlou, H., Banj Shafiei, A., Erfanian, M., Tayyebi, A., Alijanpour, A., Forecasting deforestation and forest recovery using Land

این پژوهش از محل اعتبارات معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان و گرنت شماره ۲۲۶۹-۵۷/۱۲/۰۲/ص انجام شده است. نویسندگان این مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان برای پشتیبانی مالی، داوران محترم که با نظرات و راهنمایی‌های خود سبب اصلاح و بهبود

- Transformation Model (LTM) in Iranian Zagros forests. *Forest Research and Development*, **2022**, 7 (4). 527-544. (in Persian)
- Darijani, M., Mahboobi, M., Barani, H., Abdollahzade, G., Factors affecting the participation of local communities in rehabilitation of degraded Forestlands project in Rigan County, Kerman Province. *Iranian journal of Forest*, **2018**, 9(4). 555-570. (In Persian)
- Darmiani, N., Naderi Varandi, M., *The role of women's participation in the protection of natural resources*. Paper presented at the Fourth National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, **2016**. (In Persian)
- Efati, M., *The role of women in the livelihood of the rural community (with an emphasis on agricultural activities)*. Paper presented at the National Conference of Women and Sustainable Rural Development, Mashhad, Iran, **2014**. (In Persian)
- Faham, E., Hosseini, S. M., Darvish, A. K., Analysis of Factors Influencing Rural People's Participation in National Action Plan for Sustainable Management of Land and Water Resources in Hable-Rud Basin, Iran. *American Journal of Agricultural Biological Sciences*, **2008**, 3(2). 457-461.
- Ghadiri Masoum, M., Mahdavi, M., Barghi, H., Statistical study of the trend and changes of employment in rural regions of Isfahan province. *Geographical Research Quarterly*, **2006**, 37(54). 153-172. (In Persian)
- Ghanian, M., Khani, F., Ghadiri Masoum, M., Role of rural women in exploitation, protection and restoration of natural resources in desert plains (The case of Khoozestan province). *Woman in Development & Politics*, **2008**, 6(1). 119-135. (In Persian)
- Ghazanfari, H., Namiranian, M., Sobhani, H., Mohajer, R. M., 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 forest research*, **2004**, 19(S4). 65-71.
- Karami, G. H., Karimi, H., Empowerment evaluation in participatory management of natural resources. *Popularization of Science*, **2019**, 10(1). 55-82.
- Karamidehkordi, E., Babaei, R., Analyzing rural women's information needs for sustainable natural resources management (A case study in the Ghezel Tapeh watershed in Zanjan province). *Iranian Agricultural Extension and Education Journal*, **2018**, 14(1). 163-184. (In Persian)
- Khosravipour, R., Foroushani, N., Women's participation and sustainable rural development. *Monthly Work Society*, **2011**, 132-133. 56-68. (In Persian)
- Management and Planning Organization of Kermanshah Province. Statistical yearbook of Kermanshah Province, **2022**, Tehran, Iran, p704. (In Persian)
- Lahijanlian, A., Vaskoei, N. Investigation of empowerment of rural women in environmental protection. *Journal of Environmental Science Technology*, **2016**, 18(4). 163-175. (In Persian)
- Mirlotfi, M., Bandani, M., Shahraki, S., The role of the hidden work of women in rural household welfare (Case study: Rural women in Hamoon city). *Spatial Planning*, **2013**, 3(3). 49-68. (In Persian)
- Moayeri, M. H., Abedi-sarvestani, A., Shahraki, M. R., Mirhashemi, Z., Social capital and participation: A study among forest inhabitants in Zagros forests in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province. *Forest Research and Development*, **2020**, 6 (1). 15-27. (in Persian)
- Norouzi, A., Jafta, M., Investigating the role of nomad women in the preservation and restoration of natural resources (A case study of Choram county). *Women Studies*, **2020**, 11(34). 157-177. (In Persian) doi:10.30465/ws.2021.21481.2419
- Plieninger, T., Shamohamadi, Sh., Garcia-Martin, M., Quintas-Soriano, C., Shakeri, Z., Valipour, A., Community, pastoralism, landscape: Eliciting values and human-nature connectedness of forest-related people. *Landscape and Urban Planning*, **2023**, 233. 104706
- Ramezani-Gask, M., Yari, A. R., Hosseinpour, R., Fakhr, F., *Participation of women in the preparation of rural development plans in line with the sustainability of natural resources*. Paper presented at the National conference on women and environmental sustainability in rural areas, Mashhad, Iran, **2016**. (In Persian)
- Roshan-nia, D., Khademi, R., Kordi, L., Solhi, Z., Study the role of rural women in development and their obstacles and limitations. *Monthly social, economic, scientific and cultural journal of work and society*, **2016**, 190. 82-98. (In Persian)
- Singh, K., Women and their role in natural resources: A study in western Himalayas. *International Journal of Research-Granthaalayah*, **2015**, 3(10). 128-138.
- Statistical Centre of Iran **2016**. <https://www.amar.org.ir/> (accessed October 11 2023)
- Tiwari, G., Role of women in conservation and sustainable natural resource Management in Chhattisgarh. *International Journal of Managerial Studies and Research (IJMSR)*, **2015**, 3(7). 153-155.
- Vafaei, A., Tarkarani, M., Investigating the effect of the type and extent of wural Women's activities on the level of their socio-economic rights. *Women's Studies Sociological Psychological*, **2015**, 12(4). 119-148. (In Persian)
- Valipour, A., Plieninger, T., Shakeri, Z., Ghazanfari, H., Namiranian, M., Lexer, M., Traditional silvopastoral management and its effects on forest stand structure in northern Zagros, Iran. *Forest ecology and management*, **2014**, 327. 221-230.

The role of rural women in management, conservation and utilization of natural resources (Case study: Chahar-Zebar region, Kermanshah)

Arezoo Akia¹, Ahmad Valipour^{*2} and Sohrab Moradi³

1- MSc of Forestry, Faculty of Natural Resources, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran. (arezooakia@gmail.com)

2- Assistant professor, Department of Forestry & The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry Dr. Hedayat Ghazanfari, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran. (ahmadvalipour@uok.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Agricultural & Natural Resources Development, Faculty of Engineering, Payame Noor University, Tehran, I. R. Iran. (moradi_4@pnu.ac.ir)

Received: 14 August 2023 Accepted: 12 November 2023

Abstract

Background and Objectives: In recent years, following the failure of government management policies in Zagros forests, the country's natural resources organization (NRO) has emphasized the participatory management approach. Although the implementation mechanism of this policy and its framework has not been cleared, utilizing the capacities of all stakeholders, especially women, is one of the most important manifestations of the realization of participatory management. Rural women make up half of the beneficiary population of natural resources and, despite the limitations, play a considerable role in managerial, social, and economic activities. However, the main focus and attempt of managers' intention on participation, has been dedicated to men. Rural women affect the quality of management and protection of natural resources due to their wide connection with these resources and the transfer of their knowledge, information, and beliefs to the next generation. This study aimed to identify the role of rural women in activities related to natural resources management in villages of Chahar-zeban region – Kermanshah.

Materials and Methods: Four villages of Chahar-zeban Olia, Deh-Sefid, Goharabad, and Kashanbelek in Mahidasht district of Kermanshah province were selected to conduct this research. The considerable forest cover and employment of most of the villagers in rural jobs and animal husbandry to meet their livelihood were among the most important criteria for choosing these villages. A total of 153 women living in the villages were interviewed in a survey using a researcher-made questionnaire and through semi-structured, face-to-face interviews (mainly due to the low literacy level) and direct observation of women's activities. The individual characteristics of the respondents, the general profile of the household, the role of women and the time of their participation in various activities of managing and utilizing natural resources, the relationship of women with the natural resources administration, women's knowledge of the natural resources of their village, the repeatability of activities and the participation and companionship of other people were among the variables that were recorded and measured for investigation the role of women in the management (conservation and utilization) of natural resources. To evaluate the role of women in management and decision-making at the household level, their role in the directing and administration of expenditure and income was questioned. Spearman's correlation analysis was done to determine the relationship between different personal and social characteristics of women with different features of the activities performed by them.

Results: Based on the findings, women in the villages surveyed have a low to medium knowledge about natural resources. Despite predicting 30 types of activities related to natural resources in the questionnaire, women were involved in only 27% of natural resources activities while a considerable share of the practices (96.7 percent) were done with the participation of other people (other women, husbands, and children respectively). Women were more commonly engaged in activities such as collecting mushrooms, edible plants, seeds, fruits, medicinal plants, and firewood, while tasks like using forest wood, fighting forest fires, and fencing yards with branches were less commonly performed by

* Corresponding author

Tel: +988733620551

women. This study showed that women's knowledge of the village's natural resources was average to low. Correlation analysis indicated that factors such as age, religious activity and the desire to migrate had a negative relationship with the role of women in both management and decision making, while a positive correlation was observed for time spent in forest activities. Additionally, variables like age, length of stay in the village, and tendency to migrate were also negatively correlated with the time spent on forest-related activities.

Conclusion: Based on the research findings, it is evident that women in the studied region have limited participation in the management of natural resources. They only engaged in the utilization of some forest and pasture products while not performing considerable activity in the conservation and development of the resources. Therefore, it is crucial to recognize and enhance the role of women in governing natural resources to improve preservation and restoration efforts. Raising awareness, providing counseling, and increasing involvement of women in this field are essential steps to address the current lack of participation. The fact is that contrary to the claim of NRO, local communities, and villagers, both women and men, do not have a considerable role in the management of natural resources. The very little connection with the natural resources' office indicates the lack of promotion and educational programs suitable for women and the lack of presence of natural resources experts among local communities. Therefore, it is suggested that the Natural Resources and Agriculture Departments seriously take into account education to local communities in their plans. Paying attention to the education and empowerment of young women is of great importance in the management of natural resources, since they perform more activities in natural resources, they have relatively more knowledge of natural resources, and their role in management and decision-making is also more considerable. We concluded that the duration of women's activity in natural resource appears to be a key factor determining their understanding and involvement. It is essential to valuing women's contribution and utilizing their potential effectively in natural resources conservation and restoration to establish an efficient participatory management system.

Keywords: Women's participation, Natural resources, Chahar-zebar region, Local communities.

بررسی تغییرات ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک توده‌های شاهد و متاثر از زوال در شهرستان مریوان، استان کردستان

مازیار حیدری^{۱*}، محمد متینی‌زاده^۲، مهدی پوره‌اشمی^۳، الهام نوری^۴ و نسیم باقری دلجانی^۵

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران. (m.haidari@areeo.ac.ir)

۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (mohamadmatinizadeh@yahoo.com)

۳- استاد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (pourhashemi@rifr-ac.ir)

۴- کارشناس ارشد پژوهش، بخش تحقیقات جنگل، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (elhamnoori68@yahoo.com)

۵- کارشناس تحقیقات، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. (n.bagheri@rifr-ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۰۹

چکیده

مقدمه و هدف: جنگل‌های زاگرس با تأمین بیش از ۴۰ درصد از آب کشور، از نظر بوم‌شناسی دارای اهمیت زیادی هستند، با این حال، در سال‌های اخیر سرخشکیدگی و زوال در این جنگل‌ها گسترش داشته است. پدیده زوال بلوط در جنگل‌های زاگرس در دو دهه اخیر آغاز شده و سبب آسیب جدی به جنگل‌های این ناحیه رویشی شده است و آگاهی از عوامل مؤثر و تشدیدکننده زوال بلوط، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار می‌دهد. عوامل جهت دامنه و مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌توانند بر تشدید این پدیده و خشکیدگی درختان بلوط تأثیر داشته باشند. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف درختان سالم و دچار زوال تحت تأثیر شیب و زوال در جنگل‌های شهرستان مریوان (در استان کردستان) بود.

مواد و روش‌ها: برای انجام این پژوهش دو رویشگاه گاران (دچار خشکیدگی و زوال) و دوله‌ناو (شاهد) در شهرستان مریوان انتخاب شدند. در رویشگاه گاران در دامنه شمالی پنج درخت سالم و پنج درخت دچار خشکیدگی انتخاب شد، از طرفی در این رویشگاه در دامنه جنوبی نیز ۱۰ درخت دیگر انتخاب شد

(پنج درخت سالم و پنج درخت دچار خشکیدگی). در رویشگاه دوله‌ناو (توده شاهد) در هر دامنه، پنج درخت سالم انتخاب شد (درمجموع، ۱۰ درخت در توده شاهد). سپس، در مجاورت تنه هر درخت (در قسمت سایه‌انداز تاج) و با فاصله یک متر از تنه یا جست‌گروه، در عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری (افق A) اقدام به برداشت نمونه خاک شد. برای هر نمونه خاک مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شدند. از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای مقایسه اثر هر عامل و اثر متقابل عوامل مؤثر موردبررسی بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شد و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۰ انجام شد.

یافته‌ها: آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در بین نمونه‌های درختان سالم و سرخشکیده در دامنه‌های شمالی و جنوبی اختلاف معنی‌دار وجود داشت. نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نیز تأییدکننده اثر متقابل توده $\times$ جهت دامنه برای هدایت الکتریکی و کلسیم و برای جهت دامنه $\times$ سلامت درخت در مشخصه درصد آهک بود. دیگر یافته‌ها نشان داد که بیشترین میانگین مشخصه‌های هدایت الکتریکی، فسفر موجود، پتاسیم، کربن آلی، نیتروژن و رطوبت به ترتیب با مقادیر ۶۵۴/۲ (دسی‌زیمنس بر متر)، ۱۰/۱ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۸۶۹/۵ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، ۴/۰۳ درصد، ۰/۳۵ درصد و ۱۲/۴ درصد در خاک مجاور درختان شاهد در دامنه شمالی مشاهده شد و برای مشخصه‌های منیزیم، کلسیم و آهک درختان سالم دامنه جنوبی با مقادیر ۲۱ (میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰)، ۴۲/۲ (میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰) و ۱۳/۶۰ درصد بیشتر از دیگر تیمارها به‌طور معنی‌دار بود. از طرفی در نمونه خاک مجاور درختان واقع‌شده در توده‌های متأثر از زوال، میانگین مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی نسبت به توده شاهد و فاقد زوال (دوله ناو) کمتر بود و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی خاک در کاهش یا افزایش مقاومت درختان رو به زوال است. یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشترین میانگین عناصر ماکرو (فسفر موجود، پتاسیم و ازت) در خاک مجاور درختان سالم در دامنه شمالی و برای کلسیم و منیزیم، نیز بیشترین مقدار این عناصر در خاک مجاور درختان دامنه جنوبی مشاهده و تأیید شد و در کل مقدار عناصر ماکرو در خاک درختان توده شاهد (دامنه شمالی و جنوبی) بیشتر بود.

نتیجه‌گیری کلی: نتایج کلی پژوهش تأییدکننده تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر زوال درختان است و اختلاف معنی‌دار این ویژگی‌های خاک در درختان توده سالم و سرخشکیده نیز تأیید کننده این موضوع است. به‌طورکلی، در درختان متأثر از زوال، فقر عناصر غذایی و ماکرو مشاهده شد و مقادیر کمتر مشخصه‌ها در خاک مجاور درختان درگیر با زوال و دچار خشکیدگی مشاهده شد. بر اساس نتایج، برای مدیریت بهینه زوال و درختان دچار خشکیدگی در منطقه موردپژوهش، افزایش اقدامات حفاظتی، افزایش برنامه‌های احیایی و توسعه جنگل در توده‌های متأثر از زوال و اجرای برش‌های بهداشتی پیشنهاد شدند.

واژه‌های کلیدی: درختان سرخشکیده، قطعه‌نمونه گاران، عناصر غذایی خاک، فسفر موجود، کلسیم.

مقدمه

جنگل‌های زاگرس با بیش از ۵ میلیون هکتار، از نظر مساحت به عنوان دومین بوم‌سازگان جنگلی کشور شناخته شده است (Jazirehi and Ebrahimi, 2003; Fallah and Haidari, 2018a). این جنگل‌ها دارای خدمات بوم‌سازگانی متنوع بوده و از نظر بوم‌شناسی، اقتصادی و اجتماعی دارای جایگاه ارزنده‌ای هستند. متأسفانه در دو دهه اخیر پدیده زوال بلوط در این ناحیه ریشی حادث شد و بخش‌های وسیعی جنگل‌های این ناحیه ریشی دچار خشکیدگی و زوال درختان بلوط شدند. اولین نشانه‌های زوال و خشکیدگی درختان بلوط، در تاج این درختان ظاهر می‌شود. از این‌رو نشانه‌های بروز پدیده خشکیدگی بلوط ایرانی در زاگرس را نیز می‌توان در وضعیت تاج درختان آن بررسی کرد (Hosseinzadeh and Pourhashemi, 2015). مانند مهم‌ترین عوامل موثر بر توسعه زوال درختان بلوط، عوامل فیزیوگرافی، ویژگی‌های ساختاری توده، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، خشکسالی و شیوع آفات و امراض هستند (Kabrick et al., 2008; Rozas and Sampedro, 2013; Hosseini, 2017; Fallah and Haidari, 2018b; Shahrezei et al., 2020; Azimnezhad et al., 2021; Haidari et al., 2022a). بنابراین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط فیزیوگرافی (به خصوص جهت دامنه) از عوامل اصلی موثر بر بروز زوال در درختان بلوط است (Goodarzi et al., 2016) و در این زمینه پژوهش‌هایی به شرح زیر انجام شده است.

Rozas and Sampedro (2013) نشان دادند که در جنگل‌های آتلانتیک، در خاک اطراف درختان سرخشکیده و خشکیده، غلظت عناصر غذایی ماکرو (سدیم، منیزیم، کلسیم و نیتروژن خاک) کمتر از خاک

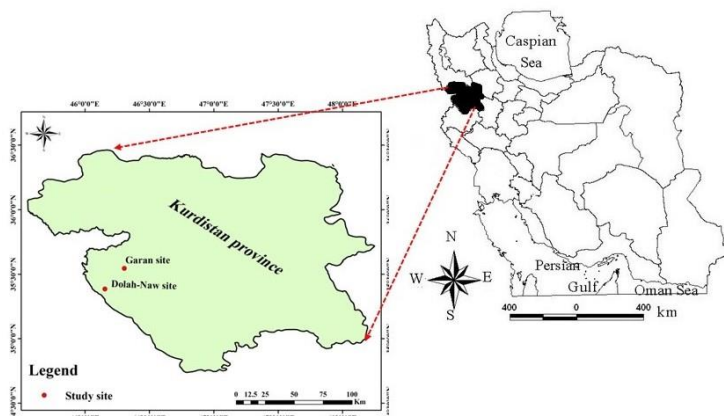
اطراف درختان سالم بود. (Mahdavi et al., 2015) نشان دادند که در جنگل‌های بیوره ملکشاهی (ایلام)، با افزایش ارتفاع از سطح دریا، جهت‌های جنوبی و غربی، افزایش تراکم پوشش جنگلی، مناطق با عمق کم خاک و افزایش درصد شیب منطقه، میزان و پراکنش درختان خشکیده بلوط افزایش یافت. Amir Ahmadi et al. (2015) نشان دادند که در منطقه حفاظت‌شده دنا، بین متغیرهای خاکی و شدت خشکیدگی درختان بلوط، ارتباط معنی‌داری وجود نداشت. Hosseini (2017) نشان داد که بیشترین زوال و خشکیدگی تاج درختان در دامنه‌های جنوبی و غربی و ارتفاعات بالاتر جنگل‌های بلوط ایلام مشاهده شد و بیشترین نرخ خشکیدگی درختان در توده‌های با تراکم بیشتر و خاک کم‌عمق و فقیر (از نظر عناصر غذایی) وجود داشت و غلظت عناصر ماکرو (نیتروژن، کلسیم، منیزیم و سدیم) در اطراف درختان دارای سرخشکیده کمتر از درختان سالم بود. (Aazami et al., 2018) نشان دادند که در جنگل‌های مله‌سیاه (ایلام)، اثر جهت و عمق خاک بر رطوبت خاک معنی‌دار بود و ذخیره رطوبتی در دامنه شمالی بیشتر از دیگر دامنه‌ها بود. Mirzaei et al. (2019) به بررسی و مدل‌سازی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی تحت تأثیر عوامل فیزیوگرافی در جنگل‌های دالاب ایلام پرداختند و نشان دادند که عوامل فیزیوگرافی تأثیر معنی‌داری بر خشکیدگی درختان بلوط داشتند و کمترین و بیشترین مقدار خشکیدگی به ترتیب مربوط به جهت‌های شرقی و جنوبی بودند. (Zarafshar et al., 2020) نشان دادند که در جنگل‌های استان فارس، درصد رطوبت خاک در قطعات نمونه شاهد نسبت به قطعات متاثر از زوال بیشتر بود. (Soleimani and Najafifar, 2020) نشان دادند که در ایلام، با تغییر مکان از درختان سالم به طرف خشکیدگی زیاد، غلظت فسفر قابل‌جذب،

جنگل‌های زاگرس شمالی و استان کردستان دارای ارزش بوم‌شناسی زیادی هستند و در سالیان اخیر در این ناحیه از جنگل‌های زاگرس، زوال و خشکیدگی درختان بلوط رو به گسترش است. از طرفی عدم آگاهی از روند خشکیدگی این درختان شامل ظهور عوامل اولیه مثل خشکیدگی بخشی از شاخه‌ها و تاج درختان و یا خزان زودرس تا خشکیدگی کامل درختان لازم است بررسی‌های دقیق و همه‌جانبه‌ای در این زمینه انجام شود. به‌نظر می‌رسد در بین عوامل رویشگاهی مؤثر در ایجاد خشکیدگی، ویژگی‌های خاک نقش مهمی ایفا می‌کنند. بر اساس بررسی پژوهش‌های اجراشده در داخل و خارج کشور، تاکنون در این زمینه در استان کردستان و شهرستان مریوان پژوهشی انجام نشده است. هدف از این پژوهش، بررسی و مقایسه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اطراف درختان سالم و خشکیده تحت-تاثیر شیب و زوال در جنگل‌های شهرستان مریوان است.

مواد و روش‌ها

برای اجرای این پژوهش دو رویشگاه گاران (دچار خشکیدگی و زوال) و دوله‌ناو (شاهد) در شهرستان مریوان انتخاب شدند (شکل ۱).

پتاسیم و روی خاک روند کاهشی داشت. Shahrezei et al. (2020) نشان دادند که در جنگل‌های ملکشاهی استان ایلام، بیشترین مقدار کربن آلی، نیتروژن، پتاسیم و شوری خاک در بالابند و زیر درختان سالم دیده شد که با افزایش مقدار خشکیدگی در این طبقه ارتفاعی روند نزولی نشان دادند. Zarafshar et al. (2021) نشان دادند که در استان فارس برای مشخصه‌های رطوبت خاک (حدود ۴-۳ برابر)، هدایت الکتریکی (حدود ۲۸-۲۹ درصد) و مقدار فسفر (حدود ۴-۵ برابر) و پتاسیم (حدود دو برابر) در خاک توده‌های شاهد به‌مراتب بیشتر از توده‌های دچار زوال بود. Azimnezhad et al. (2021) نشان دادند که در ایلام، درختان خشکیده و درختان با مقدار زیاد سرخشکیدگی، اغلب در خاک‌هایی با بافت سنگین قرار دارند و میانگین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در توده‌های درگیر زوال و شاهد، دارای اختلاف معنی‌دار بوده است و فقر عناصر غذایی یکی از مهم‌ترین عوامل تشدید زوال بلوط است. Haidari et al. (2022b) نیز به بررسی تغییرات سالانه وضعیت زوال درختان بلوط در جنگل‌های شهرستان بانه پرداختند و نشان دادند که زوال بلوط در شهرستان بانه در حال گسترش است.



شکل ۱- موقعیت منطقه موردپژوهش در شهرستان مریوان در استان کردستان

Figure 1. Location of the study area in Marivan county in Kurdistan province

براساس آمار ۲۴ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۴۰۱) ایستگاه سینوپتیک شهر مریوان، میانگین بارندگی ۸۲۴/۲ میلی‌متر، دما ۱۳/۵ سانتیگراد و تبخیر ۱۶۳۹/۵ میلی‌متر در سال است. در رویشگاه گاران (توده متاثر از زوال) در دامنه شمالی پنج درخت سالم و پنج درخت دچار خشکیدگی (در کل ۱۰ درخت) انتخاب شد، از طرفی در این رویشگاه در دامنه جنوبی نیز ۱۰ درخت دیگر انتخاب شد (پنج درخت سالم و پنج درخت دچار خشکیدگی) و در دو دامنه جنوبی و شمالی در توده

درگیر زوال ۲۰ درخت انتخاب شدند (در هر دامنه ۱۰ درخت) (شکل ۲). در رویشگاه دوله‌ناو (توده شاهد) در هر دامنه، پنج درخت سالم انتخاب شد (درمجموع، ۱۰ درخت در توده شاهد و فاقد زوال). بنابراین در کل دو رویشگاه گاران (دچار زوال) و دوله‌ناو (شاهد)، ۳۰ درخت انتخاب شدند. در مجاورت تنه هر درخت در جهت جنوبی تاج و با فاصله یک متر از تنه یا جست‌گروه، اقدام به برداشت نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر شد (افق A).



شکل ۲- نمونه درختان سالم (الف) و دچار خشکیدگی (ب و ج) در دو منطقه موردپژوهش
(الف) (A) (ب) (B) (ج) (C)

Figure 2. Healthy trees (A) and trees affected by oak decline area (B and C) in the two study areas

1934)، نیتروژن کل با روش کج‌دال (Bremner and Mulvaney, 1982)، فسفر قابل جذب به روش اولسن (Olsen and Sommers, 1982) با دستگاه اسپکتوفتومتری، پتاسیم قابل جذب به روش استات آمونیوم با فلیم‌فتومتر و کلسیم و منیزیم محلول دستگاه جذب اتمی (Emami, 1996) و درصد آهک به روش کلسیمتر فشاری (Tofighi, 2003) اندازه‌گیری شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها، از تجزیه واریانس دوطرفه

برای هر نمونه خاک مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی (درصد رطوبت، اسیدیته، هدایت الکتریکی خاک، فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، درصد نیتروژن، درصد کربن آلی، درصد آهک، کلسیم و منیزیم) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی، اسیدیته گل اشباع با دستگاه pH متر، کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (Walkley and Black, 1934)

برای مقایسه اثر نوع توده، جهت دامنه و سلامت درخت و اثر متقابل عوامل ذکر شده بر مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در محیط نرم‌افزار SPSS 20 استفاده شد.

نتایج

بر اساس جدول ۱، بین تمامی مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در دو توده (غیر از فسفر موجود)، دو دامنه (غیر از فسفر موجود، منیزیم و کلسیم) و سلامت توده (غیر از فسفر موجود، کربن آلی، پتاسیم، نیتروژن، منیزیم و کلسیم) اختلاف معنی‌دار مشاهده شد و برای اثر متقابل توده $\times$ جهت دامنه برای هدایت الکتریکی و

کلسیم و برای جهت دامنه $\times$ سلامت درخت در مشخصه درصد آهک اختلاف معنی‌دار و اثر متقابل تایید شد.

بر اساس جدول ۲، بین مشخصه‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، درصد کربن آلی، پتاسیم، نیتروژن، رطوبت، آهک، منیزیم و کلسیم خاک در بین نمونه‌های خاک درختان سالم و سرخشیده در دامنه‌های شمالی و جنوبی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد (برای مشخصه فسفر موجود اختلاف معنی‌دار تایید نشد).

جدول ۱- نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه برای مقایسه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی در طبقه‌های نوع توده، جهت دامنه، سلامت درخت، اثر متقابل توده × جهت دامنه و جهت دامنه × سلامت درخت در منطقه موردپژوهش

Table 1. The results of the two-way Anova test to compare the physical and chemical parameters of soil in the classes of stand type, slope aspect, tree health, interaction effect of stand × aspect and aspect × health in the study area

جهت دامنه × سلامت درخت Aspect × Health		توده × جهت دامنه Stands × Aspect		سلامت درخت Health		جهت دامنه Aspect		توده Stands		مشخصه خاک Soil parameters
Sig.	میانگین مربعات Mean Square	Sig.	میانگین مربعات Mean Square	Sig.	میانگین مربعات Mean Square	Sig.	میانگین مربعات Mean Square	Sig.	میانگین مربعات Mean Square	
0.076 ^{ns}	0.028	0.642 ^{ns}	0.002	0.542 ^{ns}	0.003	0.210 ^{ns}	0.014	0.009*	0.066	اسیدیته pH
0.711 ^{ns}	756.450	0.042*	24992.450	0.050*	23052.050	0.012*	39427.200	0.000**	180310.050	هدایت الکتریکی EC
0.134 ^{ns}	10.389	0.857 ^{ns}	0.144	0.748 ^{ns}	0.456	0.079 ^{ns}	14.582	0.751 ^{ns}	0.445	فسفر موجود Available Phosphorus
0.417 ^{ns}	0.195	0.150 ^{ns}	0.631	0.191 ^{ns}	0.517	0.007**	2.478	0.000**	5.304	کربن آلی Organic Carbon
0.934 ^{ns}	371.522	0.594 ^{ns}	15440.124	0.248 ^{ns}	74200.562	0.017*	347345.724	0.012*	394833.100	پتاسیم Potassium
0.414 ^{ns}	0.001	0.169 ^{ns}	0.004	0.199 ^{ns}	0.004	0.007**	0.018	0.000**	0.041	نیتروژن Total Nitrogen
0.920 ^{ns}	0.003	0.347 ^{ns}	0.254	0.000**	5.549	0.000**	10.280	0.000**	17.339	رطوبت Moisture
0.000**	134.162	0.732 ^{ns}	0.112	0.000**	142.578	0.000**	149.604	0.000**	621.612	آهک CaCO ₃
0.073 ^{ns}	145.800	0.132 ^{ns}	101.250	0.309 ^{ns}	45.000	0.706 ^{ns}	6.050	0.007*	361.250	منیزیم Magnesium
0.112 ^{ns}	72.200	0.014*	186.050	0.081 ^{ns}	88.200	0.897 ^{ns}	.450	0.000**	994.050	کلسیم Calcium

* و ** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد

* and ** respectively indicate the significance of the treatment effect at the confidence level of 95 and 99 percent.

جدول ۲- نتایج آزمون تجزیه واریانس جهت مقایسه مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در بین درختان سرخشکیده و شاهد (در دو جهت جغرافیایی دامنه) در منطقه موردپژوهش

Table 2. The results of ANOVA test to compare the physical and chemical parameters of the soil between healthy trees and trees affected by oak decline (in two slope aspect) in the study area

Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	مشخصه خاک Parameters
0.004**	4.754	0.039	5	0.194	اسیدیته pH
		0.008	24	0.196	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.004**	18.078	97475.793	29	487378.967	هدایت الکتریکی EC
		5391.850	5	129404.400	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.067 ^{ns}	2.404	10.402	24	52.009	فسفر موجود Available Phosphorus
		4.326	29	103.826	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.000**	8.014	2.283	5	11.414	کربن آلی Organic Carbon
		0.285	24	6.836	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.020*	3.340	176483.739	29	882418.695	پتاسیم Potassium
		52835.927	5	1268062.244	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.000**	8.162	0.017	24	0.085	نیتروژن Total Nitrogen
		0.002	29	0.050	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups
0.000**	44.359	12.232	5	61.159	رطوبت Moisture
		0.276	24	6.618	بین گروهی Between Groups
					درون گروهی Within Groups

* و ** دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد

* and ** respectively indicate the significance of the treatment effect at the confidence level of 95 and 99 percent

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

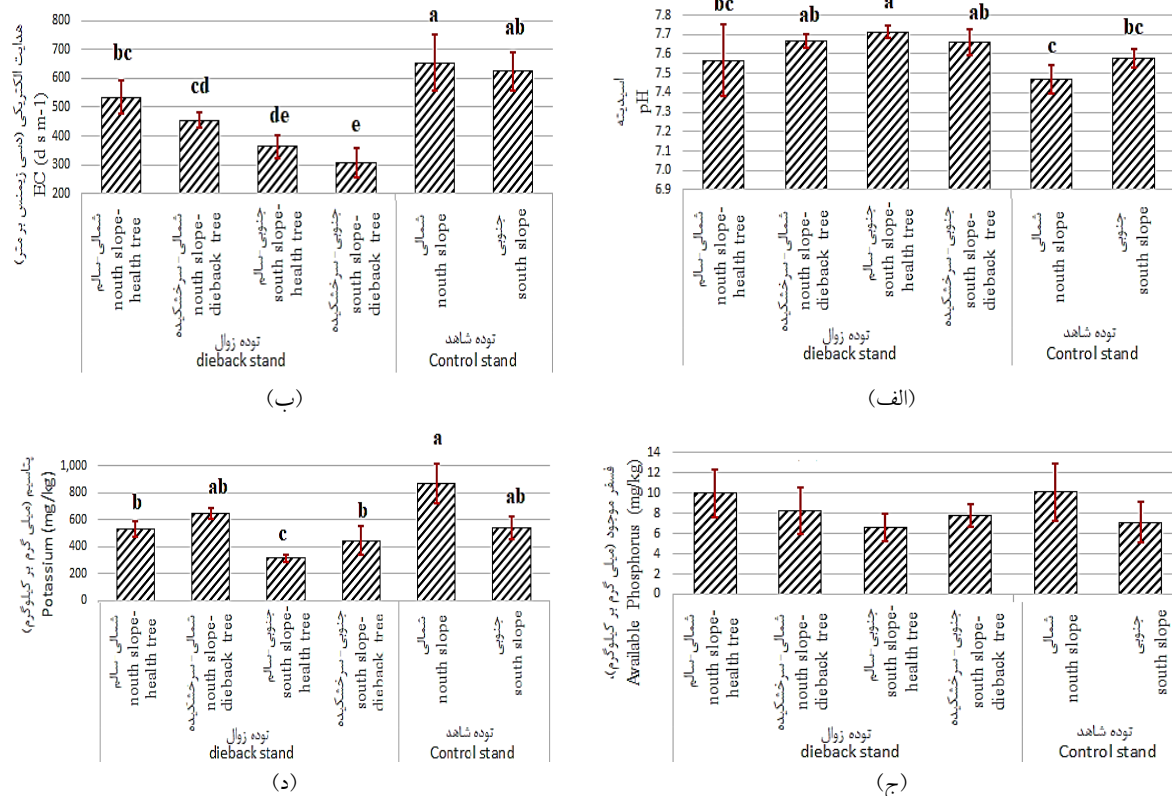
Sig.	F	میانگین مربعات Mean Square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	مشخصه خاک Parameters
0.000**	191.093	179.628	29	898.139	بین گروهی Between Groups
		.940	5	22.560	درون گروهی Within Groups
0.007**	4.220	175.553	24	877.767	بین گروهی Between Groups
		41.600	29	998.400	درون گروهی Within Groups
0.000**	11.688	309.740	5	1548.700	بین گروهی Between Groups
		26.500	24	636.000	درون گروهی Within Groups

* و ** به ترتیب دارای اختلاف معنی دار در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد

* and ** respectively indicate the significance of the treatment effect at the confidence level of 95 and 99 percent

موردپژوهش بود (جدول ۲). برای عنصر فسفر موجود اختلاف معنی دار بین شش تیمار موردپژوهش مشاهده نشد (جدول ۲)، بنابراین بیشترین و کمترین مقدار این عنصر به ترتیب درختان دامنه شمالی توده شاهد و درختان سالم دامنه جنوبی توده زوال مشاهده شد (شکل ۳-ج). برای عنصر پتاسیم، بیشترین و کمترین میانگین به ترتیب در درختان شمالی توده شاهد و درختان سالم دامنه جنوبی توده زوال مشاهده شد (شکل ۳-د) و اختلاف میانگین این عنصر در تیمارهای پژوهش معنی دار بود (جدول ۲).

شکل ۳- الف نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین میانگین اسیدیته خاک به ترتیب در درختان سالم در توده زوال جنوبی و درختان دامنه شمالی توده شاهد مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تاییدکننده اختلاف معنی دار اسیدیته خاک در درختان موردپژوهش بود. براساس شکل ۳ (ب)، بیشترین و کمترین میانگین هدایت الکتریکی خاک در توده شاهد شمالی و درختان سرخشکیده دامنه جنوبی مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تاییدکننده اختلاف معنی دار هدایت الکتریکی خاک در توده‌های

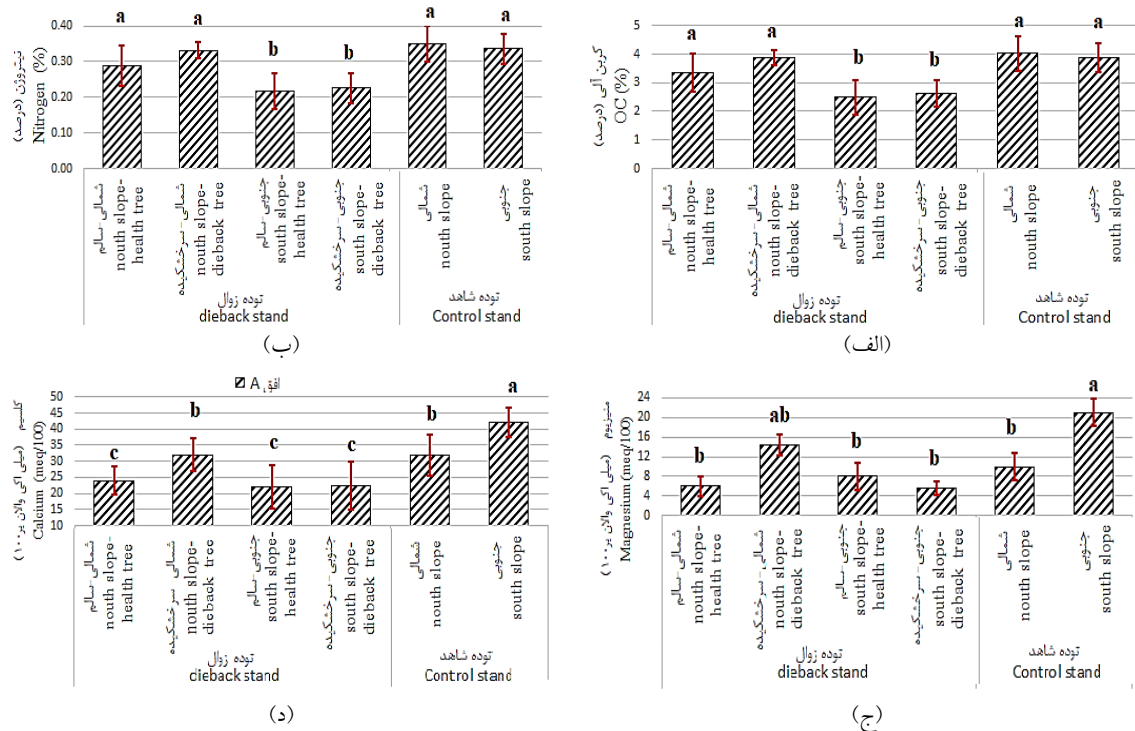


شکل ۳- میانگین اسیدیته (الف)، هدایت الکتریکی (ب)، فسفر موجود (ج) و پتاسیم (د) در نمونه‌های خاک درختان سالم و متاثر از زوال در منطقه مورد پژوهش

Figure 3- Average values of acidity (a), electrical conductivity (b), available phosphorus (c) and potassium (d) in soil samples of healthy trees and trees affected by oak decline in the study area

در تیمارهای موردپژوهش بود. شکل ۴-ج نشان می‌دهد که بیشترین و کمترین مقدار عنصر منیزیم به‌ترتیب در درختان شمالی شاهد و درختان سرخشکیده جنوبی (توده زوال) مشاهده شد و این اختلاف‌ها از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). براساس شکل ۴-د، بیشترین و کمترین میانگین مقدار کلسیم به‌ترتیب در توده شاهد جنوبی و درختان سرخشکیده جنوبی (توده زوال) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تاییدکننده اختلاف معنی‌دار درصد نیتروژن در تیمارهای موردپژوهش بود (جدول ۲).

براساس شکل ۴-الف، بیشترین و کمترین میانگین درصد کربن آلی به‌ترتیب در درختان شاهد شمالی و درختان جنوبی سالم (در توده زوال) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تاییدکننده اختلاف معنی‌دار درصد کربن آلی در نمونه‌های خاک در شش تیمار موردپژوهش بود (جدول ۲). براساس شکل ۴-ب، بیشترین و کمترین میانگین درصد نیتروژن به‌ترتیب در توده شاهد شمالی و درختان سرخشکیده شمالی (توده زوال) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تایید کننده اختلاف معنی‌دار درصد نیتروژن

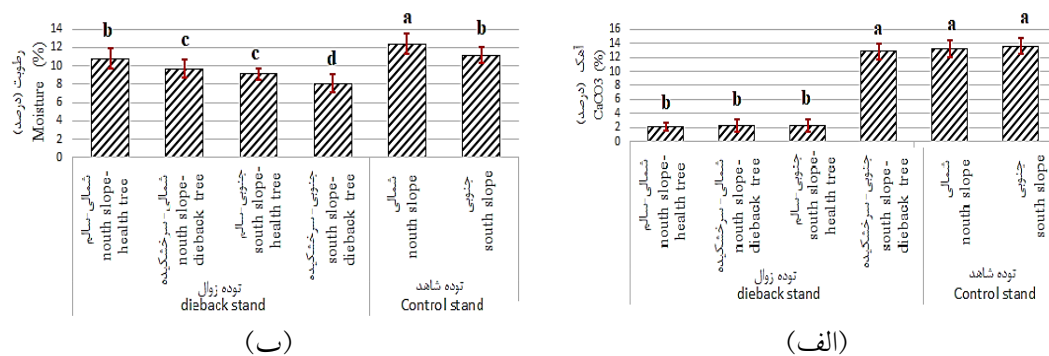


شکل ۴- میانگین درصد کربن آلی (الف)، نیتروژن (ب)، منیزیم (ج) و کلسیم (د) در نمونه‌های خاک درختان دچار خشکیدگی و شاهد در منطقه مورد پژوهش

Figure 5- The average percentage of organic carbon (a), nitrogen (b), magnesium (c) and calcium (d) in the soil samples of healthy trees and trees affected by oak decline in the study area

کمترین مقدار به ترتیب در درختان جنوبی شاهد و درختان سالم شمالی (توده زوال) مشاهده شد و آزمون تجزیه واریانس تأییدکننده اختلاف معنی‌دار درصد آهک خاک در شش تیمار موردپژوهش بود (جدول ۲).

براساس شکل ۵، بیشترین و کمترین میانگین درصد رطوبت خاک به ترتیب در درختان شاهد شمالی و درختان سرخشکیده جنوبی (توده زوال) مشاهده شد و این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود (جدول ۲). برای مشخصه درصد آهک، بیشترین و



شکل ۵- میانگین درصد آهک (الف) و درصد رطوبت (ب) در نمونه‌های خاک درختان سرخشکیده و شاهد در منطقه مورد پژوهش

Figure 6- The average percentage of CaCO3 (a) and percentage of moisture (b) in the soil samples of trees involved in dieback and controls in the study area

بحث

در سال‌های اخیر، اهمیت خشکیدگی درختان جنگل - های زاگرس و به دنبال آن به خطر افتادن این جنگل - های با ارزش موجب نگرانی مسئولان، کارشناسان منابع طبیعی و دست‌انداران محیط‌زیست شده است. آگاهی از عوامل مؤثر و تشدیدکننده زوال بلوط، اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران منابع طبیعی قرار می‌دهد (Haidari et al., 2023). یافته‌های پژوهش نشان داد که بیشترین میانگین مشخصه‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، فسفر موجود، پتاسیم، کربن آلی، نیتروژن و رطوبت به ترتیب با مقادیر $7/71$ ، $654/2$ (دسی‌زیمنس بر متر)، $10/1$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، $869/5$ (میلی‌گرم بر کیلوگرم)، $4/03$ درصد، $0/35$ درصد و $12/4$ درصد در خاک مجاور درختان شاهد در دامنه شمالی مشاهده شد و برای مشخصه‌های منیزیم، کلسیم و آهن درختان سالم دامنه جنوبی با مقادیر 21 (میلی‌اکی‌والان بر 100)، $42/2$ (میلی‌اکی‌والان بر 100) و $13/60$ درصد مشاهده شد و در کل بیشترین میانگین مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در خاک مجاور درختان توده‌های شاهد و فاقد زوال تایید شد. از طرفی در توده‌های متأثر از زوال، کمترین میانگین مشخصه‌های فسفر موجود، پتاسیم، کربن آلی، کلسیم و آهن در درختان سالم واقع شده در توده زوال (در دامنه جنوبی) مشاهده و تایید شد، بنابراین در درختان واقع شده در توده‌های متأثر از زوال، میانگین مشخصه‌های اشاره شده نسبت به توده شاهد و فاقد زوال (دوله ناو) کمتر بوده است و این موضوع نشان‌دهنده اهمیت مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی خاک و به خصوص عناصر ماکرو خاک در کاهش یا افزایش مقاومت درختان به زوال است.

از طرفی آزمون تجزیه واریانس نیز تأییدکننده

اختلاف معنی‌داری تمامی مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی موردپژوهش (به جز فسفر موجود) در شش تیمار موردپژوهش بود (جدول ۳) و آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی در مشخصه‌های جهت دامنه (شمالی و جنوبی)، نوع توده (زوال و شاهد) و سلامت درخت (سرخشکیده و سالم) اختلاف معنی‌دار مشاهده شد، اما بین ویژگی‌های خاک اثر متقابل و معنی‌دار مشاهده نشد؛ بنابراین جهت دامنه، نوع توده و سلامت درختان بر مشخصه‌های فیزیکی-شیمیایی خاک تأثیر داشته و یا از آن تأثیر می‌پذیرند.

شرایط حاکم بر جنگل‌های شهرستان مریوان، مانند چرای شدید دام، برداشت چوب درختان، زغال‌گیری، توسعه زراعت زیراشکوب جنگل سبب فقر شدید مواد غذایی در خاک می‌شود و عوامل تخریب جنگل سبب کاهش برگشت مواد عالی و لاشیرگ‌ها به لایه هوموس خاک شده است. قابل ذکر است که حاصلخیزی خاک بوم‌سازگان جنگلی عمدتاً ناشی از انباشت بقایای گیاهان یک‌ساله، میوه و سرشاخه‌های خشکیده بر روی خاک و به تدریج تبدیل آنها به لایه هوموس خاک و افزایش حاصلخیزی خاک می‌شود؛ بنابراین عدم ماندگاری برگ، میوه و شاخه‌های خشکیده درختان در جنگل سبب کاهش حاصلخیزی و ضعف جدی درختان و درختچه‌ها و کاهش تاب‌آوری این درختان در برابر تنش‌های محیطی شده است و در رویشگاه متأثر از زوال (گاران)، آثار بهره‌برداری‌های انسانی و چرای دام به وضوح مشاهده شد و این بهره‌برداری‌ها به نسبت در رویشگاه دوله ناو (این رویشگاه از مراکز جمعیتی فاصله بیشتر داشته و به دلیل هم‌جواری با مرز، مقدار بهره‌برداری‌ها و چرای دام کمتر بود) نسبت به گاران کمتر بود. بر اساس یافته‌های پژوهش، در توده شاهد (فاقد زوال)،

کمترین میانگین این مشخصه به ترتیب در درختان سالم جنوبی در توده زوال و درختان توده شاهد دامنه جنوبی مشاهده شد، بنابراین در توده‌های دچار خشکیدگی، مقدار میانگین اسیدیته خاک بالاتر از توده‌های شاهد بوده و علت را می‌توان به تنش‌های موجود در درختان درگیر با زوال نسبت داد. از طرفی بیشترین و کمترین مقدار رطوبت اولیه خاک به ترتیب در خاک مجاور درختان دامنه شمالی شاهد و درختان سرخشکیده جنوبی در توده زوال مشاهده و تأیید شد و رطوبت اولیه خاک در مجاورت درختان سالم بیشتر از درختان سرخشکیده و متأثر از زوال بود و Aazami et al. (2018)، Zarafshar et al. (2020) و Zarafshar et al. (2021) نیز بر بیشتر بودن رطوبت در دامنه شمالی و توده‌های شاهد تأکید کردند و با پژوهش حاضر در یک راستا هستند، علت اصلی بیشتر بنابراین، نتایج کلی پژوهش تأییدکننده تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک بر زوال درختان بوده است و اختلاف معنی‌دار این ویژگی‌های خاک در درختان توده سالم و سرخشکیده نیز تأییدکننده این موضوع است. به‌طورکلی، در درختان متأثر از زوال، فقر عناصر غذایی و ماکرو مشاهده شد و مقادیر کمتر مشخصه‌ها در خاک مجاور درختان درگیر با زوال و دچار خشکیدگی مشاهده شد. بر اساس نتایج، برای مدیریت بهینه زوال و درختان دچار خشکیدگی در منطقه مورد پژوهش، افزایش اقدامات حفاظتی (کنترل چرای دام و بهره‌برداری‌های سستی)، افزایش برنامه‌های احیایی و توسعه جنگل در توده‌های متأثر از زوال (به-خصوص دامنه جنوبی) و اجرای برش‌های بهداشتی (سرشاخه‌ها و جست‌های دچار خشکیدگی و زوال) پیشنهاد می‌شوند.

بیشترین میانگین عناصر ماکرو (فسفر موجود، پتاسیم و ازت) در خاک مجاور درختان سالم در دامنه شمالی و برای کلسیم و منیزیم، نیز بیشترین مقدار این عناصر در خاک مجاور درختان دامنه جنوبی مشاهده و تأیید شد و در کل مقدار عناصر ماکرو در خاک درختان توده شاهد (دامنه شمالی و جنوبی) بیشتر بود و این موضوع بر اهمیت مقدار عناصر ماکرو در سلامت درختان و مقاومت آن‌ها به زوال و سرخشکیدگی تأکید دارد و (Rozas and Sampedro, 2013; Hosseini, 2017; Soleimani and Najafifar, 2020; Zarafshar et al. (2021) و Azimnezhad et al. (2021) نیز بر اهمیت عناصر غذایی ماکرو در درختان سالم (نسبت به درختان متأثر از زوال) تأکید کردند و نشان دادند که غلظت عناصر ماکرو مانند پتاسیم، فسفر، نیتروژن و منیزیم در خاک اطراف درختان سالم دو تا چند برابر خاک مجاور درختان متأثر از زوال بود و با نتایج این پژوهش در یک راستا هستند؛ بنابراین عناصر ماکرو پتاسیم نقش مهمی در افزایش توانایی گیاه در مقابله با تنش‌های محیطی دارند و بهره‌برداری‌های انسانی شدید، تخریب‌های حادث شده و چرای شدید دام در جنگل و تعلیف دام‌ها از برگ درختان، سبب کاهش بازگشت عناصر غذایی به خاک و حاصلخیزی خاک می‌شود و این عوامل موجب کاهش تاب‌آوری بوم‌سازگان جنگلی و کاهش توانایی درختان در مواجهه با تنش‌های زنده و غیرزنده می‌شود و ضمن کاهش تدریجی مشخصه‌های کمی و کیفی جنگل، در نهایت موجب زوال و سرخشکیدگی درختان می‌شود. در مورد اسیدیته خاک، میانگین آن در توده‌های متأثر از زوال، بیشتر از توده شاهد بود و بیشترین و

References

- Aazami, A.; Hosseini, A.; Hoseinzadeh, J., The effect of depth and aspect on soil moisture in dieback affected oak forests (Case study: Meleh siah Forest, Ilam Province). *Ecology of Iranian Forest* **2018**, 6 (11), 41-50. (In Persian)
- Amir Ahmadi, B.; Zolfaghari, R.; Mirzaei, M.R., Relation between dieback of *Quercus brantii* Lindl. trees with ecological and silvicultural factors, (Study area: Dena protected area). *Ecology of Iranian Forest* **2015**, 3 (6), 19-27. (In Persian)
- Azimnejad, Z., Badehian, Z., Rezaei Nejad, A., and Bazot, S. Do soil properties and ecophysiological responses of oak (*Quercus brantii* Lindl.) correlate with the rate of dieback?. *Trees* **2020**, 35, 1639-1650.
- Azimnezhad, Z.; Badehian, Z.; Rezaeinejad, A.; Ahmadi, S., Effect of soil properties on Oak tree dieback (*Quercus brantii* Lindl.) and its ecophysiological responses to different degrees of dieback (case study: Dadabad in Lorestan province). *Forest Research and Development* **2021**, 2 (7), 263-278. (In Persian)
- Bremner, J.M.; Mulvaney, C.S., Nitrogen-total. In A.L. Page, R.H. Miller, and D.R. Keeney (eds.), *Methods of Soil Analysis*, Part 2. Agronomy **1982**, 9, 595-624.
- Emami, A., Methods of plant analysis. *Technical Journal of Soil and Water Research Institute* **1996**, 2 (982), 128p. (In Persian)
- Falah, A.; Haidari, M. Studying the diameter growth of Persian oak and its relationship with climatic parameters in Zagros forests (Case study: Sarab-Karzan forests of Ilam). *Forest Research and Development* **2018a**, 3 (4): 361-375.
- Fallah, A.; and Haidari, M. Investigating the Oak decline in different crown-dimensions in middle Zagros forests (Case study: Ilam). *Ecology of Iranian Forests* **2018b**, 6 (12), 9-17. (In Persian)
- Goodarzi, N.; Zargarani, M.R.; Banj Shafiei, A.; Tavakoli, M. 2016. The effect of geographical directions and location on dispersion of Oak decline, Shurab forest area, Lorestan Province, Iran. *Forest Research and Development* **2016**, 2 (3): 273-287. (In Persian)
- Haidari, M.; Matinizadeh, M.; Pourhashemi, M.; Noori, E.; Keneshloo, F., Changes in leaf nutrients of healthy and withered trees in the forests of Garan (in Marivan) and Dezlei (in Sarvabad) in Kurdistan province. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2023**, 10 (21): 194-206. (In Persian)
- Haidari, M.; Pourhashemi, M.; Jahanbazy Goujani, H., Annual changes of oak decline in the forests of Kurdistan province. *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research* **2022b**, 20 (2), 235-247. (In Persian)
- Haidari, M.; Teimouri, M.; Pourhashemi, M.; Alizadeh, T., and Hedayateypour, SMK. The effect of forest structure on some physical and chemical soil properties in the forests stands of Kurdistan province. *Forest and Wood Products* **2022a**, 74 (4), 469-483. (In Persian)
- Hosseini, A., Variability of nitrogen and phosphorous in Persian oak trees and soil of dieback affected stands in Ilam. *Forest and Wood Products* **2017**, 70 (2), 231-240. (In Persian)
- Hosseinzadeh, J.; and Pourhashemi, M., An investigation on the relationship between crown indices and the severity of oak forests decline in Ilam. *Iranian Journal of Forest*, 2015, 7 (1), 57-66. (In Persian)
- Jazirehi, M.H.; M. Ebrahimi, M. Silviculture in Zagros. Tehran University Press, Tehran, **2003**, 560p. (In Persian)
- Kabrick, J.M.; Dey, D.C.; Jensen, R.G.; Wallendorf, M., The role of environmental factors in oak decline and mortality in the Ozark Highlands, *Forest Ecology and Management* **2008**, 255, 1409-417.
- Mahdavi, A.; Mirzaei Zadeh, V.; Niknezhad, M.; Karami, O., Assessment and prediction of oak trees decline using logistic regression model (Case study: Bivareh forest, Malekshahi-Ilam). *Iranian Journal of Forests and Rangelands Protection Research* **2015**, 13 (1), 20-33. (In Persian)
- Mirzaei, M.; Bonyad, A.E.; Akhavan, R.; Naghdi, R., Decline modelling of *Quercus brantii* under effects of physiographic factors in Dalab forests of Ilam. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (2): 329-342. (In Persian)
- Olsen, S.R.; Sommers, L.E., Phosphorus. In: A.L. Page R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. (2nded.). American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin **1982**, 403-430 pp.

- Rozas, V.; Sampedro, L., Soil chemical properties and dieback of *Quercus robur* in Atlantic wet forests after a weather extreme. *Plant and Soil* **2013**, 373, 673-685.
- Shahrezei, H.; Faramarzi, M.; Heydari, M.; Poorreza, M., Comparison of some soil physico-chemical and microbial characteristics in relation to Oak decline in different elevation classes in southern Zagros forest. *Ecology of Iranian Forest* **2020**, 8 (16), 136-147. (In Persian)
- Soleimani, R.; Najafifar, A., Variability of soil chemical characteristics in Oak stands with different dieback. *Journal of Plant Ecosystem Conservation* **2020**, 8 (16), 265-283. (In Persian)
- Tofighi, H., A New Method for Determination of Soil Carbonates. *Iranian Journal Agriculture Science* **2003**, 34 (3), 517-526. (In Persian)
- Walkley, A.; Black, I.A. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Science* **1934**, 79, 459-465.
- Zarafshar, M.; Negahdarsaber, M.; Jahanbazi Gojani, H.; Pourhashemi, M.; Bordbar, S.K.; Matinizedeh, M.; Abbasi, A., Dieback in pure stands of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in southern Zagros forests, Kohmareh Sorkhi region of Fars province. *Iranian Journal of Forest* **2020**, 12 (2), 291-303. (In Persian)
- Zarafshar, M.; Teimouri, M.; Pourhashemi, M.; Alizadeh, T.; Bordbar, S.K.; Rousta, M.J.; Abbasi, A., 2021. The impact of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) decline on stand soil characteristics (Case study: Kohmareh Sorkhi, Fars Province). *Journal of Forest and Wood Products* **2021**, 74 (1), 97-110. (In Persian)

Investigating changes in the physical and chemical characteristics of soil in control and dieback stands in Marivan county, Kurdistan province in Iran

Maziar Haidari^{*1}, Mohammad Matinizadeh², Mehdi Pourhashemi³, Elham Nouri⁴ and Nasim Bagheri Delijani⁵

1- Assistant Professor, Forests and Rangelands Research Department, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, I. R. Iran. (m.haidari@areeo.ac.ir)

2- Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (mohamadmatinizadeh@yahoo.com)

3- Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (pourhashemi@rifr-ac.ir)

4- Senior Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (elhamnoori68@yahoo.com)

5- Research Expert, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran. (n.bagheri@rifr-ac.ir)

Received: 30 October 2023

Accepted: 26 December 2023

Abstract

Introduction and Objectives: The Zagros forests vegetation area with an area of more than 5 million hectares and providing more than 40% of the country's water are ecologically very important and the forest covers 256000 hectares of Kurdistan province (8.8% of the province) and in recent years, Oak decline and decay have increase in these forests. Oak decline in the Zagros forests has started in the last two decades and has caused serious damage to the forests of this vegetation area and study of the effective and aggravating factors of Oak decline provides valuable information to natural resource managers. The factors of slope aspect and physical and chemical soil parameters can has an effect on the aggravation oak decline in this forest. The aim of this study was to investigate and compare the physical and chemical soil parameters in around healthy and dieback trees under the influence of slope and dieback in Marivan forests (in Kurdistan province).

Materials and Methods: Deteriorated (Garan) and control (Dolah Naw) stands were selected in the northern and southern slopes aspect. In the Garan habitat (Oak decline) on the northern slope, five healthy trees and five dieback trees were selected (10 trees in total), on the other hand, in this habitat on the southern slope, 10 more trees were selected (five healthy trees and five trees with dieback). In Dolah Naw habitat (control habitat), five healthy trees were selected in each aspect (in total, 10 trees in the control habitat). In total, 30 healthy and dieback trees were selected and numbered (20 healthy trees in the control and dieback trees and 10 trees in the dieback stands). Then, in the vicinity of the trunk of each tree (in the shaded part of the crown), a soil sample was taken at a depth of 0-20 cm (Horizon A) and the samples were transported to the laboratory in plastic bags. Physical and chemical characteristics (moisture percentage, acidity, soil electrical conductivity, absorbable phosphorus, absorbable potassium, nitrogen percentage, organic carbon percentage, lime, calcium and magnesium percentage) were measured for each soil sample. The two-way analysis of variance test was used to compare the effect of each factor and the interaction effect of the investigated factors on the physical and chemical parameters of the soil and data analysis was done in SPSS 20 software.

Results: The one-way analysis of variance test showed that there was a significant difference between the parameters of pH, electrical conductivity, percentage of organic carbon, potassium, nitrogen, moisture, lime, magnesium and calcium among the soil samples of healthy and dieback trees in the northern and southern slopes. The results of the analysis of variance test confirmed the interaction effect of kind of stands $\times$ slope aspect for electrical conductivity and calcium and for slope aspect $\times$ tree health in the parameter was lime percentage. Other findings showed that the highest average parameters of electrical conductivity, available phosphorus, potassium, organic carbon, nitrogen, and

* Corresponding author

Tel: +989183565852

moisture were respectively 2.654 (d s m^{-1}), 1.10 (mg/kg), and 869.5 (mg/kg).), 4.03%, 0.35% and 12.4% were observed in the soil adjacent to the control trees in the northern slope and for magnesium, calcium and CaCO_3 parameters of healthy trees in the southern slope with the values of 21 (meq/100), 42.2 (meq/100) and 13.60% was significantly more than other treatments. On the other hand, in the soil sample adjacent to the trees located in the stands affected by dieback, the average physical-chemical parameters were lower than the control stand (Doleh Naw) and this shows the importance of the physical-chemical parameters of the soil in reducing or increasing the resistance of trees to tree dieback. The findings of the research showed that the highest average macro elements (available phosphorus, potassium and nitrogen) in the soil adjacent to healthy trees in the northern slope and for calcium and magnesium, the highest amount of these elements were observed and confirmed in the soil adjacent to the trees in the southern slope and in the total amount Macro elements were more in the soil of the trees of control (north and south domain); Therefore, the physical and chemical characteristics of the soil (especially macro elements) have an effect on the resistance of oak trees to dieback and other environmental stresses, and the lack of macro elements causes the trees to be weak against the phenomenon of oak dieback.

Conclusion: In general, in the soil adjacent to the dieback trees, the poverty of nutrients and macro elements and lower values of the studied parameters were observed. In general, in the trees affected by Oak decline, the poverty of nutrients and macro elements was observed, and the lower values of the parameters were observed in the soil adjacent to the trees affected by Oak decline. Based on the results, for the optimal management of dieback stands and trees, increase protection measures (control of livestock grazing through grazing and reduction of traditional exploitations), increase restoration programs and forest development in the stands affected by dieback (increase seeding and enrichment operations). In degraded stands and planting with native species in dieback stands) and implementation of health cuts (withered and dieback branches and stems) were suggested.

Keywords: Available phosphorus, Calcium, Dieback trees, Garan sample plots, Soil nutrients.

تأثیر برش‌های اصلاحی بر ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی ارسباران (مطالعه موردی: منطقه مکیدی کلیر)

مهدی مردمی^۱، سید رستم موسوی میرکلا*^۱، الیاس رمضانی^۳ و احمد علیجانپور^۴

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (mehdimardomi55@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (r.mousavi@urmia.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (e.ramezani@urmia.ac.ir)

۴- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۹

چکیده

مقدمه و هدف: پرورش جنگل در حقیقت از مهم‌ترین فعالیت‌های جنگل‌شناسی محسوب می‌شود و کلیه مسائل مربوط به تربیت و اصلاح توده‌های جنگلی را شامل می‌شود. هدف و منظور اصلی پرورش جنگل تقویت و اصلاح کمی و کیفی توده جنگل و سالم نگه داشتن آن در طول حیات طولانی جنگل است. برش‌های مختلفی که در جنگل انجام می‌شود به‌عنوان ابزار جنگل‌شناسی نقش مهمی در هدایت توده به سمت اهداف موردنظر دارد. این برش‌ها برای اصلاح توده‌های جنگلی و برای رسیدن به توسعه و پایداری بوم‌سازگان جنگلی انجام می‌شود. بررسی اهمیت و تأثیر این برش‌ها در جنگل‌های مورد نظر منطقه اهمیت زیادی دارد. این پژوهش با هدف مقایسه کمی و کیفی توده‌های جنگلی بالغ و زادآوری توده اصلاح‌شده (عملیات اصلاحی پرورشی به مدت ۱۴ سال) و شاهد (در مجاورت توده اصلاح‌شده) در منطقه مکیدی شهرستان کلیر انجام شد.

مواد و روش‌ها: منطقه مکیدی در بخش حفاظت‌شده جنگل‌های ارسباران و در جنوب غربی شهرستان کلیر واقع شده است. ارتفاع این منطقه ۱۴۰۰-۱۵۰۰ متر از سطح دریا بوده و در بخش غربی حوزه آبخیز رودخانه کلیرچای میانی قرار دارد. مناطق مورد نظر از نظر شرایط فیزیوگرافی و بوم‌شناسی مشابه یکدیگر بوده و تنها از نظر نوع دخالت‌های پرورشی تفاوت داشته‌اند. در توده اصلاح‌شده جمعاً پنج درصد از درختان طی دوره ۱۴ ساله برداشت شده‌اند. در این عملیات درختانی که از نظر وضعیت ظاهری دچار ضعف و یا بیماری بوده و یا تنه درختانی که به پایه‌های نخبه چسبیده بودند و یا مزاحمت‌های تاجی و ریشه‌ای داشته‌اند

برداشت شده‌اند. مساحت منطقه مورد بررسی ۴۰ هکتار که ۲۰ هکتار برای هر کدام از تیمارها در نظر گرفته شد. با استفاده از شبکه آماربرداری به ابعاد ۵۰×۵۰ متر، ۳۳ قطعه نمونه دایره‌ای ۳۰۰ مترمربعی در منطقه شاهد (سه قطعه نمونه در داخل محوطه بدون پوشش قرار داشته‌اند) و ۳۶ قطعه نمونه در منطقه اصلاح شده پیاده شد. همچنین زادآوری گونه‌های چوبی در هر دو توده، در قطعات نمونه دایره‌ای به ابعاد ۱۰۰ مترمربع به مرکزیت قطعه نمونه اصلی بررسی شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میانگین قطر برابر سینه درختان ۱۱/۳۵ و ۱۰/۹۸ سانتی متر، میانگین قطر تاج ۲/۴۸ متر و ۲/۱۱ متر به ترتیب در توده اصلاح شده و شاهد بوده است. میانگین ارتفاع درختان در توده اصلاح شده ۹/۲۲ متر و در توده شاهد ۹/۶۱ متر بوده است که بین دو توده از نظر آماری اختلاف معنی دار نبود. از نظر تعداد در هکتار در هر دو توده بیشترین تعداد در طبقه قطری ۱۰ سانتی متر بوده است و در طبقات قطری بالاتر تعداد به شدت کاهش را نشان می‌دهد. مشاهده وضعت دو توده به خوبی نشان‌دهنده جوان بودن این توده‌ها بود. مقدار ضریب قد کشیدگی دو توده اصلاح شده و شاهد نشان داد که میانگین ضریب قد کشیدگی در توده شاهد بیشتر از توده اصلاح شده است که نشان‌دهنده بهبود وضعیت این ضریب بخاطر انجام عملیات پرورشی است و پایداری بهتر توده‌ها را بعد از عملیات اصلاحی نشان می‌دهد. از مهمترین درختان و درختچه‌های مشاهده شده در منطقه مورد بررسی می‌توان به گونه‌های بلوط سفید، بلوط سیاه، کرب، ممرز، توسکا و گیلان وحشی اشاره نمود. در طبقات قطری از نظر ترکیب گونه‌ای در توده اصلاح شده گونه بلوط سفید ۵۶ درصد و گونه کرب ۰/۳۱ درصد بیشتر از توده شاهد بوده است. درصد درختان با تاج سالم ۹۳/۴ درصد و ۹۳/۹ درصد و زاویه تنه قائم ۶۸/۷ درصد و ۴۳/۵ درصد به ترتیب در توده اصلاح شده و شاهد بوده است. بررسی وضعیت تمایل درختان نشان داد که توده اصلاح شده از نظر قائم بوده تنه وضعیت مساعدتری نسبت به توده شاهد دارد هر چند توده شاهد نیز وضعیت مطلوبی دارد. منشا تمام درختان مشاهده شده در منطقه مورد بررسی دانه زاد بوده است. همبستگی بین قطر و ارتفاع درختان در هر دو توده اصلاح شده و شاهد رابطه نمایی معنی داری را نشان داد و ضریب تعیین برای توده اصلاح شده وضعیت بهتری نسبت به توده شاهد دارد. از نظر فراوانی زادآوری توده شاهد وضعیت زادآوری مناسب تری نسبت به توده اصلاح شده داشته است و بیشترین تعداد زادآوری مشاهده شده در طبقات قطری ۵ تا ۷/۵ سانتی متری بوده است و بعد از آن طبقات قطری ۲/۵ تا ۵ سانتی متر و صفر تا ۲/۵ قرار داشته‌اند.

نتیجه‌گیری کلی: جمع بندی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد این توده نیاز به دخالت بیشتر و برش‌های بعدی دارد تا بتوان با افزایش نور و مواد غذایی به تعداد پایه‌های کمتر موجب افزایش رشد قطری این درختان شد. پیشنهاد می‌شود این بررسی‌ها هر ۵ سال یکبار تکرار شده تا بهتر بتوان به تأثیر این عملیات پی برد.

واژه‌های کلیدی: ترکیب گونه‌ای، زادآوری جنگل، نمونه برداری سیستماتیک.

مقدمه

منطقه ریشی ارسباران به دلیل وجود شرایط اقلیمی خاص، تنوع زیستی بالا، حضور گونه‌های کمیاب گیاهی و جانوری و همچنین حضور عناصر ریشی مربوط به اقلیم‌های متعدد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از نظر جغرافیای جنگل، جنگل‌های ارسباران متعلق به جنگل‌های کوهستانی پهن‌برگ آمیخته هستند که حداثی بین جنگل‌های نم‌پسند شمال البرز و نیمه-خشکی‌پسند مناطق استپی و جنگل‌های زاگرس به-حساب می‌آیند. از نظر ترکیب گیاهی این جنگل‌ها بیشتر به جنگل‌های شمال ایران شباهت دارند ولی درجه تخریب این جنگل‌ها بیشتر از جنگل‌های شمال البرز است. با این وجود ترکیب درختی و درختچه‌ای این جنگل‌ها تفاوت‌هایی با جنگل‌های خزری دارند و از نظر جغرافیای گیاهی می‌توان این منطقه را منطقه فلورستیک مستقل دانست (Sagheb Talebi et al., 2014). در مجموع ۱۰۶۷ آرایه گیاهی در بخش حفاظت‌شده منطقه ارسباران وجود دارد (Hamzeh et al., 2010). گونه‌های ممرز (*Carpinus betulus*)، بلوط سیاه (*Quercus macranthera*)، کرب (*Acer campestre*)، گیلاس وحشی (*Cerasus avium*)، ارس (*Juniperus excelsa*)، پر (*Cotinus coggygria*) و زغال‌اخته (*Cornus mas*) از عمده گونه‌های چوبی این منطقه محسوب می‌شوند (Rezaee, 2012).

با توجه به اهمیت زیادی که این جنگل‌ها دارند پژوهش‌های متعددی در زمینه‌های مختلف به‌خصوص پوشش گیاهی و مسائل اقتصادی-اجتماعی مرتبط با آن در این جنگل‌ها انجام شده است. به‌طور مثال Alijanpour et al. (2002) به بررسی وضعیت کمی و کیفی توده‌های جنگلی در منطقه حفاظتی و غیرحفاظتی ارسباران پرداختند و نتیجه گرفتند که ویژگی‌های کمی

مانند سطح مقطع و تعداد در هکتار در منطقه حفاظتی بهتر از منطقه غیرحفاظتی بوده است. همچنین تنوع گیاهان چوبی دو منطقه حفاظت‌شده و غیرحفاظتی در منطقه موردنظر بررسی و نتیجه گرفته شد که شاخص‌های غنا، یکنواختی و تنوع گونه‌ای در توده‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده در مقایسه با منطقه غیرحفاظتی اختلاف معنی‌داری دارند (Alijanpour et al., 2009). Moradi et al. (2015) به بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده ارسباران در طبقات شیب پرداختند و نتیجه گرفتند که گونه‌های ممرز (*Carpinus betulus*)، بلوط سفید (*Q. petraea*)، بلوط سیاه (*Q. macranthera*)، کرب (*Acer campestre*) در توده‌های موردبررسی بیشترین درصد آمیختگی را دارند. میانگین قطر برابرینه، میانگین سطح مقطع برابرینه، تعداد در هکتار زادآوری‌ها و درصد فراوانی دانه‌زادی زادآوری‌ها در طبقه شیب ۳۶-۵۰ درصد از بیشترین مقدار برخوردار بودند. (Yekani Mutlagh et al., 2016) به بررسی تأثیرات توسعه اکوتوریسم در منطقه ارسباران به‌کمک روش تحلیل BOCR پرداختند و نتیجه گرفتند که توسعه اکوتوریسم در منطقه ارسباران هزینه‌ها و فرصت‌های محیط‌زیستی مهمی در پی خواهد داشت که در مدیریت توسعه آن باید مدنظر قرار گیرد. وضعیت زادآوری طبیعی در توده‌های بلوط سیاه (*Q. macranthera*) در شرایط فیزیوگرافی مختلف در جنگل‌های ارسباران مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا زادآوری شاخه‌زاد کم و به دانه‌زاد اضافه شد. (Janat-Babae et al., 2008) به بررسی اثر ویژگی‌های خاک و توپوگرافی بر پراکنش تیپ‌های گیاهی در جنگل‌های ارسباران پرداختند و با استفاده از آنالیز خوشه‌ای شش تیپ گیاهی را در منطقه موردبررسی تشخیص دادند و نشان

کیفی توده تاثیر دارد یا خیر؟ نتایج این پژوهش به مدیر جنگل برای مدیریت بهتر و پایدارتر توده و همچنین تصمیم‌گیری بر روی کیفیت توده آینده از طریق مدیریت این نوع برش‌ها یاری می‌نماید.

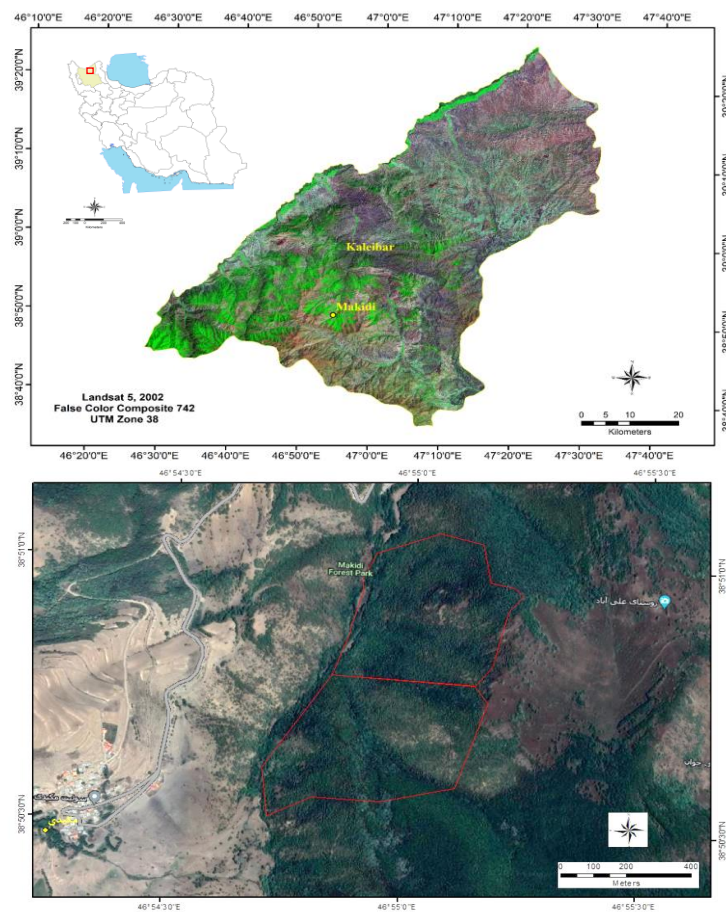
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در جنوب غربی شهرستان کلیر در منطقه مکیدی واقع شده است. منطقه مکیدی در بخش حفاظت‌شده جنگل‌های ارسباران و در جنوب غربی شهرستان کلیر در طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۵۱ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع این منطقه ۱۴۰۰-۱۵۰۰ متر از سطح دریا بوده و در بخش غربی حوزه آبخیز رودخانه کلیرچای میانی قرار دارد (Moradi et al., 2016). در یک توده جنگلی در این منطقه عملیات اصلاحی پرورشی به مدت ۱۴ سال اجرا شده (از سال ۱۳۸۳) (منطقه اصلاح‌شده) و در توده‌های دیگر که در مجاورت توده اصلاح‌شده قرار دارد، هیچ‌گونه عملیات پرورشی یا اصلاح جنگل انجام نشده است (توده شاهد). شدت عملیات اصلاحی طی دو مرحله برداشت جمعاً پنج درصد بوده است. در این عملیات درختانی که از نظر وضعیت ظاهری دچار ضعف و یا بیماری بوده و یا تنه درختانی که به پایه‌های نخبه چسبیده بودند و یا مزاحمت‌های تاجی و ریشه‌ای نیز در دستور کار قرار داشت. این بررسی در منطقه‌ای به مساحت ۴۰ هکتار در دو تیمار اصلاح‌شده و شاهد انجام شده است. با توجه به آمار ۱۸ ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۹۶) متوسط بارندگی سالانه این منطقه ۴۰۴ میلی‌متر در سال و میانگین دمای سالانه در ارتفاعات پایین (حاشیه رود ارس) ۱۷ درجه سانتی‌گراد و در کوهستان‌های مرتفع

دادند که درصد سیلت و رس، پتاسیم، تخلخل، وزن مخصوص ظاهری و فسفر از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پراکنش تیپ‌های گیاهی منطقه هستند. اثرهای آتش‌سوزی بر ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در جنگل‌های ارسباران شهرستان کلیر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که ویژگی‌های شیمیایی و زیستی خاک‌های جنگلی ارسباران (به جز فسفر و پتاسیم) نسبت به ویژگی‌های فیزیکی، بیشتر تحت تأثیر آتش‌سوزی قرار گرفتند و به‌طور کلی حاصلخیزی خاک پس از آتش‌سوزی، در کوتاه‌مدت (یک‌ماه) کاهش یافت (Jahandar and Ali Dost, 2022). پژوهش‌های انجام‌شده در منطقه مورد نظر در حوزه‌های مختلف نشان داده که این منطقه برای پژوهشگران از اهمیت زیادی برخوردار است و نیاز به ادامه این پژوهش‌ها برای شناخت بیشتر تأثیر فعالیت‌های انسانی مشهود است.

پرورش جنگل در حقیقت مهم‌ترین فعالیت جنگل‌شناسی محسوب می‌شود و کلیه مسائل مربوط به تربیت و اصلاح توده‌های جنگلی را شامل می‌شود. هدف و منظور اصلی پرورش جنگل تقویت و اصلاح کمی و کیفی توده جنگل و سالم نگه داشتن آن در طول حیات طولانی جنگل است. بدون اجرای عملیات پرورشی جنگل، امکان اجرای دیگر عملیات جنگل‌شناسی و اجرای اصول جنگلداری علمی و فنی وجود نخواهد داشت. برش‌های مختلفی که در جنگل صورت می‌گیرد به عنوان ابزار جنگل‌شناسی نقش مهمی در هدایت توده به سمت اهداف مورد نظر را دارد. این برش‌ها برای اصلاح توده‌های جنگلی و برای رسیدن به توسعه و پایداری بوم‌سازگان جنگلی انجام می‌شود. بررسی اهمیت و تأثیر این برش‌ها در منطقه اهمیت خاصی داشته و فرضیه تحقیق این پژوهش را شکل می‌دهد که آیا این برش‌ها بر روی ویژگی‌های کمی و



شکل ۱- موقعیت ارسباران در نقشه ایران و آذربایجان شرقی و قطعات نمونه پیاده شده در توده‌های مورد بررسی (شکل پایین (اصلاح شده) و توده بالا (شاهد))

Figure 1. The position of Arasbaran in the map of Iran and East Azerbaijan province along with the established samples plots, Improvement cutting stand (down) and control stand (up)

کیفی و به شکل دایره انتخاب شد. همچنین مشخصه‌هایی از قبیل نوع گونه درختی، قطر برابر سینه تمام پایه‌ها با قطر بیش از ۷/۵ سانتی‌متر (طبقات قطری یک سانتی‌متری) تعیین شد. همچنین در هر قطعه نمونه، ارتفاع کل و قطر بزرگ و کوچک تاج نزدیک‌ترین و قطورترین درخت اندازه‌گیری شدند. برای بررسی وضعیت زادآوری درختان نیز قطعات نمونه ۱۰۰ متر-مربعی دایره‌ای شکل به مرکز قطعه نمونه اصلی پیاده شد. در هر قطعه نمونه کوچک، نوع گونه و فراوانی

با جنگل‌گردشی و نیز بررسی پژوهش‌های انجام شده در منطقه، برای انجام آماربرداری نقشه با مقیاس ۱/۵۰۰۰ از عرصه تهیه و شبکه آماربرداری ۵۰×۵۰ بر روی نقشه پیاده شد. ۳۳ قطعه نمونه در منطقه شاهد و ۳۶ قطعه نمونه در توده اصلاح شده انتخاب و مشخصات فیزیوگرافی توده‌های جنگلی شامل شیب، جهت جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، فرم زمین و همچنین طول و عرض جغرافیایی ثبت شدند. قطعات نمونه ۳۰۰ مترمربعی برای بررسی ویژگی‌های کمی و

شاخه‌زادی، درصد سالم و ناسالم بودن تنه پایه‌ها، درصد آمیختگی گونه‌ها و درصد مایل بودن پایه‌ها، سلامت و تقارن تاج پایه‌ها) برای هر دو توده محاسبه شد. به این منظور از نرم‌افزارهای Excel و SPSS24 استفاده شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. با توجه به نرمال بودن داده‌ها به منظور مقایسه مشخصه‌های کمی بین دو توده شاهد و اصلاح‌شده از آزمون تی مستقل و برای مقایسه مشخصه‌های کیفی بین دو منطقه مورد بررسی از آزمون کای اسکور استفاده شد.

نتایج

بررسی مشخصه‌های کمی

فراوانی درختان در طبقات قطری

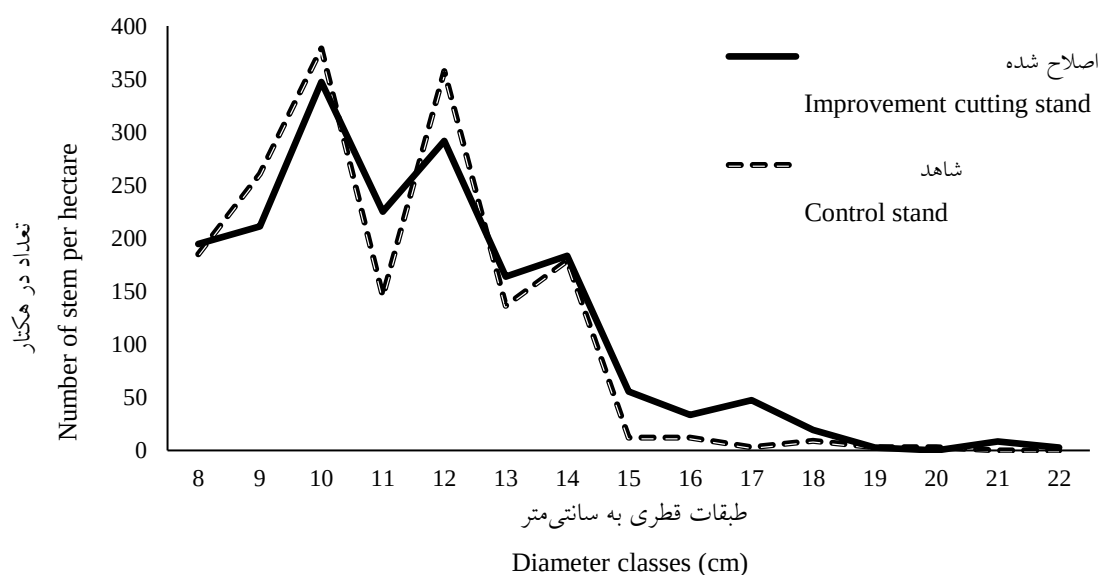
نمودار فراوانی درختان در طبقات قطری یک سانتی - متری در هر دو توده شاهد و اصلاح‌شده در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به این شکل، پراکنش درختان در طبقات قطری در هر دو بیشتر شبیه جنگل ناهمسال است.

زادآوری‌ها در دو طبقه ارتفاعی، شامل ارتفاع کوتاه‌تر از ۱/۳۰ متر در دو طبقه نونهال (پایه با ارتفاع کمتر از ۵۰ سانتی‌متر) و نهال (پایه با ارتفاع بیشتر از ۵۰ سانتی‌متر) و زادآوری با ارتفاع بلندتر از ۱/۳۰ متر در سه طبقه قطر برابر سینه (۲/۵-۵/۵، ۵/۵-۷/۵ و ۷/۵-۱۰/۵ سانتی‌متری)، بررسی و ثبت شدند.

وضعیت تقارن تاج پایه‌های درختی موجود در دو دسته‌بندی درختان با تاج متقارن و درختان با تاج نامتقارن، سلامت تاج پایه‌های درختی در دو دسته‌بندی درختان با تاج سالم و ناسالم، فرم ساقه درختان در دو دسته‌بندی درختان با ساقه شاقولی و خمیده و در نهایت کیفیت تنه درختان در دو گروه درختان با تنه سالم و ناسالم بررسی و ثبت شدند.

تجزیه و تحلیل اطلاعات

با استفاده از داده‌های ثبت‌شده در قطعات نمونه اصلی و زادآوری، مشخصه‌های کمی (میانگین قطر برابر سینه، میانگین ارتفاع کل، میانگین ارتفاع تاج، میانگین قطر تاج و ضریب قد کشیدگی) و کیفی (درصد دانه‌زادی و



شکل ۲- تعداد در هکتار درختان در طبقات قطری یک سانتی‌متری در دو توده شاهد و اصلاح‌شده
Figure 2. Diameter distribution curves of the control and improvement cutting stand

متغیرهای کمی

است. میانگین ارتفاع کل درختان بین دو توده از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان نداده‌است و متوسط قطر تاج درختان در توده اصلاح‌شده در سطح احتمال ۹۹ درصد به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده شاهد بوده- است.

نتایج میانگین قطر برابرسینه، ارتفاع کل، متوسط قطر تاج، و ضریب قد کشیدگی توده‌های مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده‌است. میانگین قطر برابرسینه درختان در توده اصلاح‌شده ۳/۴ درصد بیشتر از توده شاهد

جدول ۱- میانگین قطر برابرسینه در دو توده اصلاح‌شده و شاهد

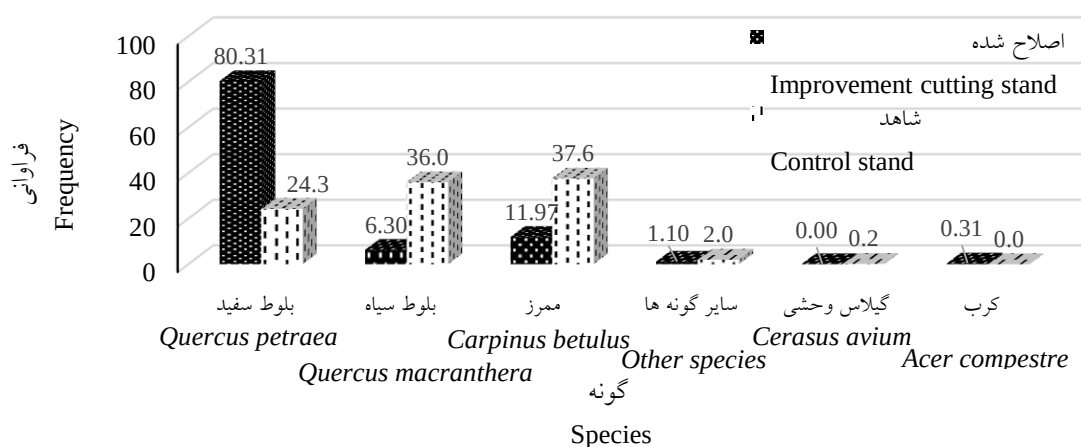
Table 1. Mean diameter at breast height of trees in the control and improvement cutting stands

شاهد		اصلاح شده		مشخصه Feature
Control		Improvement cut stand		
اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	
0.09	10.98 ^b	0.09	11.35 ^A	قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height (cm)
0.03	2.11 ^b	0.03	2.48 ^A	قطر متوسط تاج (متر) Mean crown diameter (m)
0.26	9.61	0.27	9.22	ارتفاع درختان (متر) Tree height (m)
0.03	0.98	0.03	0.82	ضریب قد کشیدگی Height to diameter ratio

گوشوارک (*Evonymus latifolia*)، آلوچه (*Prunus divaricata*)، گردو (*Juglans regia* L.)، زغال‌اخته (*Cornus mas* L.)، اردوج (*Juniperus excelsa*) و هفت‌کول (*Viburnum lantana*) است.

درصد آمیختگی پایه‌ها

درصد آمیختگی گونه‌های موردبررسی در هر دو توده اصلاح‌شده و شاهد در شکل ۳ ارائه شده است. گونه-های دیگر شامل زالزالک (*Crataegus aronia*)،



شکل ۳- درصد آمیختگی گونه‌های ثبت‌شده در دو توده شاهد و اصلاح‌شده.

Figure 3. Species composition (%) of the recorded plant taxa in control and improvement cutting stand

نتایج مربوط به مقایسه درصد آمیختگی پایه‌ها بین دو منطقه با استفاده از آزمون مربع کای اسکور در جدول ۲ ارائه شده است.

مشخصه‌های کیفی میانگین مشخصه‌های کیفی منشأ پایه‌ها، سلامت و تقارن تاج پایه‌ها و کیفیت و زاویه‌تنه پایه‌ها در هر دو توده

اصلاح شده و شاهد در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود بین درصد آمیختگی پایه‌ها در دو توده تفاوت معنی‌دار وجود دارد و درصد آمیختگی گونه‌های بلوط سفید، کرب و گیلان وحشی در منطقه اصلاح شده بیشتر است.

جدول ۲- مقایسه درصد آمیختگی پایه‌ها بین دو توده اصلاح شده و شاهد با استفاده از آزمون مربع کای

Table 3. Comparison of percentage species composition in the control and improvement cutting stands using Chi-Square test

Sig.	درجه آزادی Degree of freedom	مربع کای Chi-squared	مشخصه Feature
0.00**	5	191.53	درصد آمیختگی Mixture percentage

** Significant at the 99 percent confidence level

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۳- درصد مشخصه‌های کیفی توده در دو توده اصلاح شده و شاهد.

Table 3. Stand qualitative characteristics in the control and improvement cutting stand sections

کل Overall	توده Stand		مشخصه Feature
	اصلاح شده Improvement cutting stand	شاهد Control stand	
100	100	100	شاخه‌زاد Coppice
0	0	0	دانه‌زاد Standard
91.4	93.4 ^b	89 ^a	سالم Healthy
8.6	5.6 ^b	11 ^a	ناسالم Unhealthy
48.7	51.2 ^b	45.9 ^a	متقارن Symmetrical
51.3	48.8 ^b	54.1 ^a	نامتقارن Asymmetrical
93.6	93.4	93.9	سالم Healthy
6.4	6.6	6.1	ناسالم Unhealthy
56.9	68.7 ^b	45.4 ^a	قائم Upright
43.1	31.3 ^b	54.6 ^a	مایل Leaned

حروف متفاوت نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

Different letters indicate statistically significant differences ($P \leq 0.05$)

براساس جدول ۴ بین میانگین مشخصه‌های سلامت تاج و زاویه تنه درختان بین دو توده تفاوت معنی‌دار وجود دارد. همچنین در هردو بخش مورد بررسی، ۱۰۰ درصد پایه‌های بررسی‌شده در قطعات نمونه شکل رویشی شاخه‌زاد داشتند.

جدول ۴- مقایسه میانگین مشخصه‌های کیفی بین دو بخش اصلاح‌شده و شاهد با استفاده از آزمون مربع کای اسکور

Table 4. Comparison of mean qualitative features in improvement cutting and control stand sections using Chi- square test

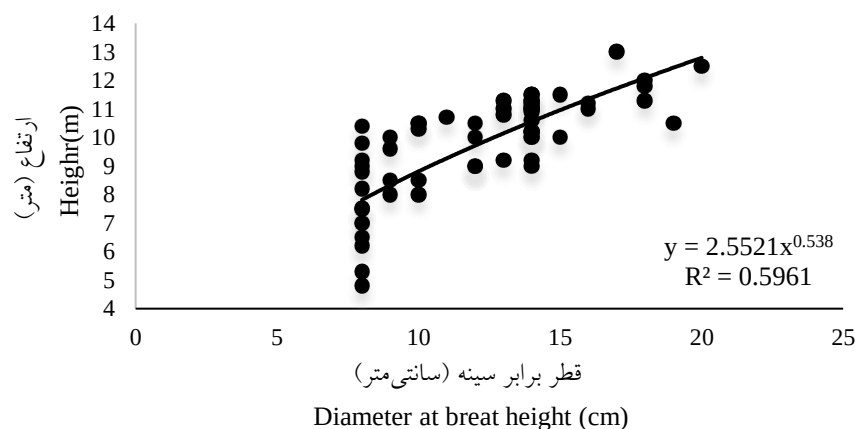
Sig.	درجه آزادی Degree of freedom	مربع کای Chi-squared	مشخصه Feature
0.00**	1	7.7	سلامت تاج Tree crown health
0.06 ^{ns}	1	3.4	تقارن تاج Tree crown symmetry
0.72 ^{ns}	1	0.1	کیفیت تنه Bole quality
0.00**	1	76.4	تمایل تنه Bole perpendicularity

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ^{ns} عدم تفاوت معنی‌دار.

Significant at the 99 percent confidence level non-significant differences.

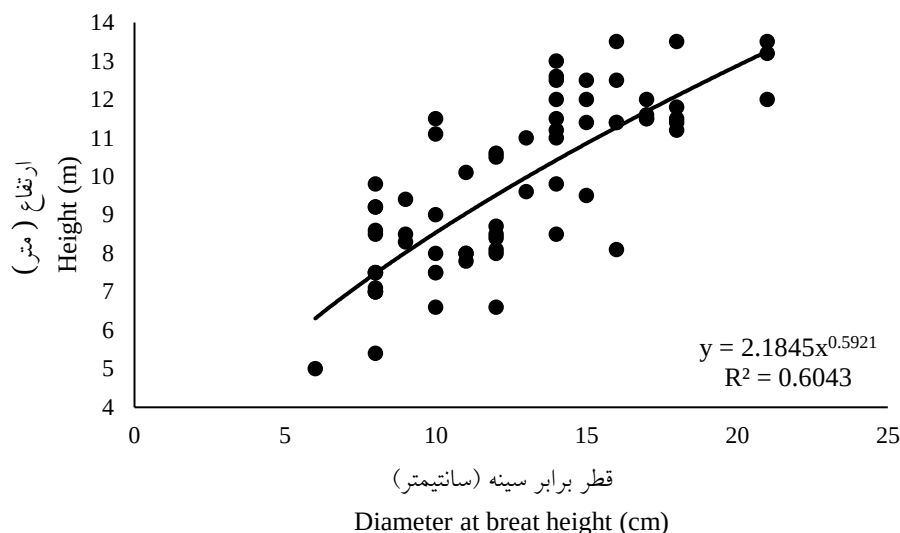
تعیین بود. لازم به ذکر است که رابطه‌های ذکر شده بر اساس بیشترین ضریب همبستگی و ضریب تعیین و همچنین کمترین خطای باقی‌مانده استاندارد شده، انتخاب شدند. با توجه به شکل‌های ۴ و ۵، منحنی قطر-ارتفاع در هر دو توده شیب تندتری در طبقات قطری پایین‌تر دارد.

پراکنش ارتفاع درختان بر اساس قطر برابر سینه روند تغییرات ارتفاع درختان در رابطه با تغییرات قطر برابر سینه به تفکیک دو بخش اصلاح‌شده و شاهد در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است. رابطه بین دو متغیر ارتفاع درخت و قطر برابر سینه در توده شاهد و اصلاح‌شده به صورت معادله درجه دو دارای بیشترین ضریب



شکل ۴- همبستگی بین متغیرهای ارتفاع و قطر برابر سینه درختان در بخش شاهد

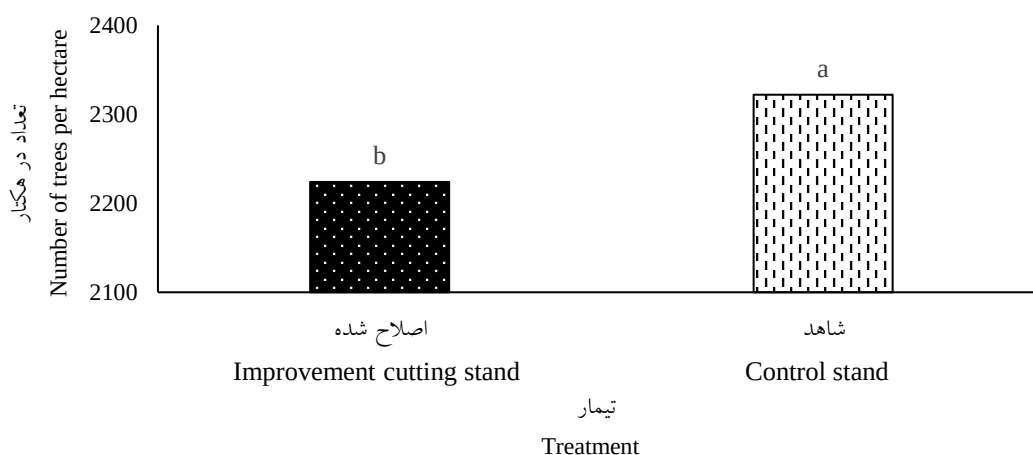
Figure 4. Correlation between tree height and diameter at breast height variables in control section



شکل ۵- همبستگی بین متغیرهای ارتفاع و قطر برابر سینه درختان در بخش اصلاح شده

Figure 5. Correlation between tree height and diameter at breast height variables in improvement cutting stand section

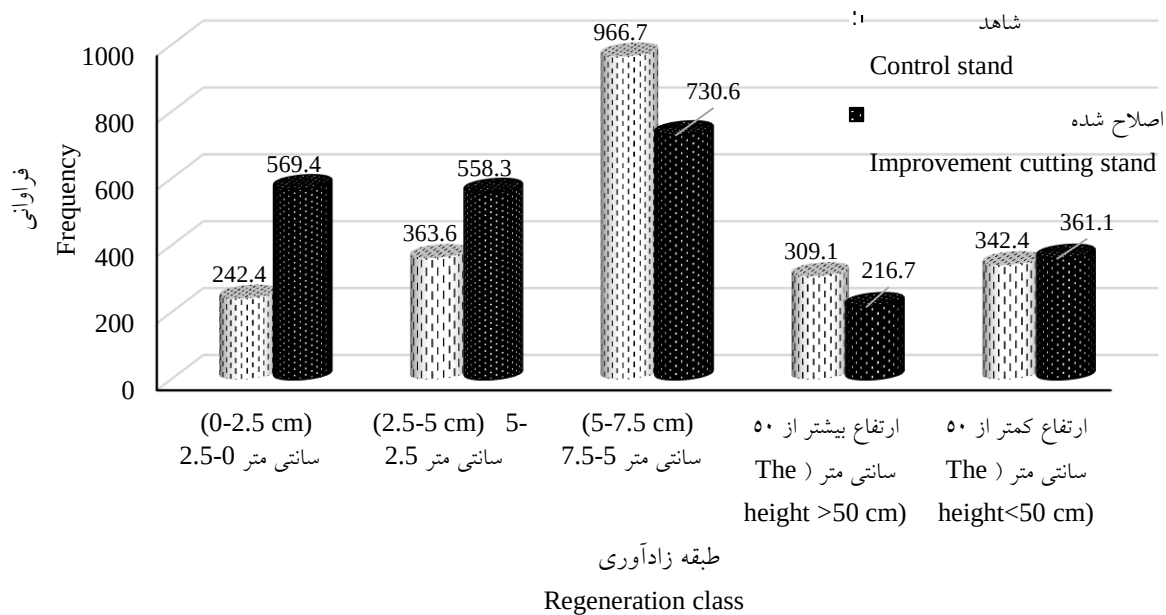
نتایج مربوط به مقایسه میانگین تعداد در هکتار زادآوری گونه‌های چوبی بین دو توده با استفاده از آزمون کای اسکور در شکل ۶ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که از نظر میانگین تعداد در هکتار زادآوری گونه‌های چوبی، بین دو توده شاهد و اصلاح شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.



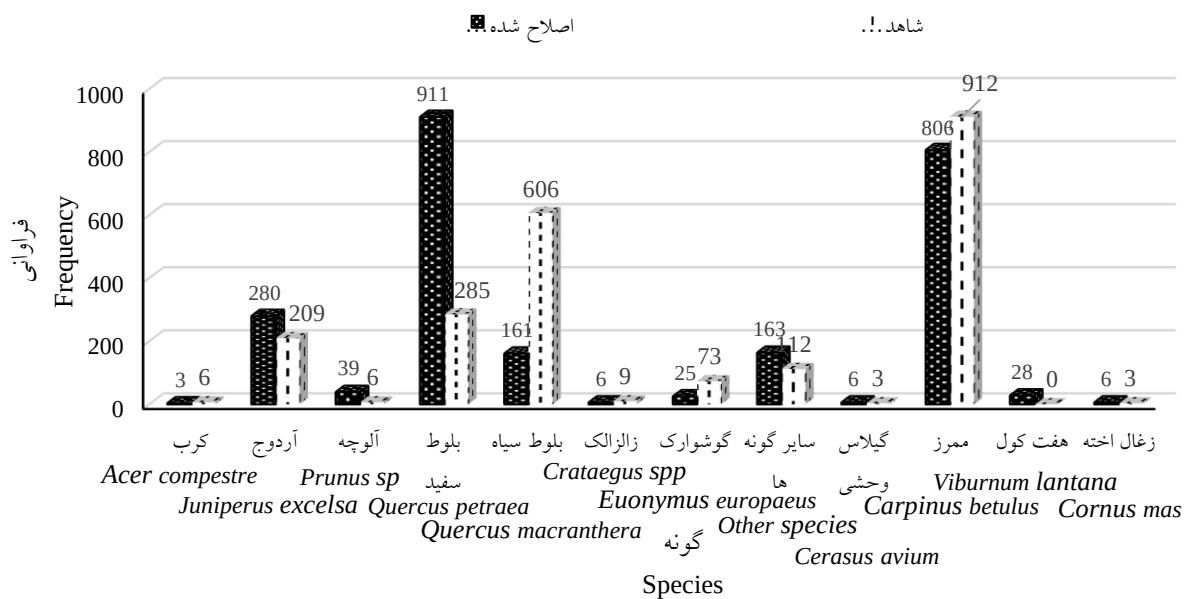
شکل ۶- فراوانی زادآوری گونه‌های چوبی در دو بخش شاهد و اصلاح شده

Figure 6. Regeneration frequency of woody species in control and improvement cutting stand sections

فراوانی زادآوری (در هکتار) به تفکیک طبقات قطری و ارتفاعی اندازه‌گیری شده در دو توده شاهد و اصلاح شده در شکل ۷ و فراوانی زادآوری به تفکیک گونه در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۷- فراوانی زادآوری گونه‌های چوبی در هکتار به تفکیک طبقات قطری یا ارتفاعی در دو بخش شاهد و اصلاح‌شده
Figure 7. Regeneration frequency of woody species per hectare based on height or diameter classes in control and improvement cutting stand sections



شکل ۸- فراوانی زادآوری گونه‌های چوبی به هکتار به تفکیک گونه در دو بخش شاهد و اصلاح‌شده
Figure 8. Regeneration density of woody species in all plots based on species composition in control and improvement cutting stand sections

بر توده‌های موردبررسی نشان داده شد که می‌تواند به- عنوان خط‌مشی برای مدیریت توده‌های مشابه باشد هر چند برای درک بیشتر این تأثیرگذاری لازم است بررسی‌های وسیع‌تری با تعداد نمونه‌های بیشتر انجام

بحث
در این پژوهش با بررسی اثرهای برش‌های اصلاحی بر توده‌های جنگلی و مقایسه مشخصه‌های اندازه‌گیری شده با توده شاهد، مقدار تأثیرگذاری این گونه عملیات

شود.

از مشخصه‌های مهم اندازه‌گیری شده در این تحقیق تعداد در هکتار در دو توده است و نتایج نشان داد که پراکنش درختان در طبقات قطری در هر دو توده متمایل به جنگل ناهمسال است. در اینگونه جنگل‌ها معمولاً با افزایش قطر تعداد پایه‌ها کاهش می‌یابد که نمودار کلی ترسیم‌شده به‌درستی این موضوع را نشان می‌دهد. با این‌وجود در بعضی از طبقات قطری بی‌نظمی‌های در این روند مشاهده می‌شود که در توده‌های طبیعی غیرقابل اجتناب است.

در رابطه با مشخصه میانگین قطر برابرسینه، بین دو توده شاهد و اصلاح‌شده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۵ درصد مشاهده شد و میانگین این مشخصه در منطقه اصلاح‌شده بیشتر از منطقه شاهد بود. در توده اصلاح‌شده به‌دلیل اعمال برش‌های اصلاحی و ایجاد روشنیه در تاج‌پوشش جنگل، نور ورودی به داخل جنگل افزایش پیدا کرده و همچنین با قطع برخی پایه‌ها فضا برای رشد قطری پایه‌های باقی‌مانده، افزایش یافته است. (Zalesov et al. 2016) اثرهای جنگل‌شناسی برش‌های اصلاحی را در یک دوره ۵۸ ساله موردبررسی قرار دادند و نتایج را با توده شاهد مقایسه کرده و بیان کردند که برش‌های اصلاحی سبب افزایش متوسط قطر درختان می‌شود. (Rezaei Sangdehi et al. 2017) با مقایسه مشخصه‌های کمی و کیفی جنگل پس از اجرای یک دوره طرح جنگلداری (دخاله به شیوه تک‌گزینی) در بخش جوجاده شرکت چوب فریم، نتیجه گرفتند که متوسط قطر در طول ۱۰ سال اجرای طرح بهبود پیدا کرده‌اند که این نتایج با این بررسی مطابقت دارد.

(Villegas et al. 2009) با بررسی تیمارهای مختلف بهره‌برداری و جنگل‌شناسی بر روی مشخصه‌هایی مانند قطر درختان در جنگل‌های گرمسیری کشور فیلیپین پرداختند و نتیجه گرفتند که

این تیمارها سبب افزایش اندازه قطر برابرسینه در تیمارهای اصلاحی شده است که با نتایج این پژوهش در انطباق است. بررسی جامعی از تاثیر برش‌های لکه‌ای بر روی شاخص‌های مختلف مانند قطر برابرسینه و قطر سطح مقطع متوسط و حجم توسط (Zhou et al. 2013) انجام شد و نتیجه گرفته شد که با افزایش شدت برداشت، اندازه مشخصه‌هایی مانند قطر افزایش داشته است. بررسی ارتفاع درختان در مناطق شاهد و اصلاح‌شده نشان داد که متوسط ارتفاع درختان در تیمار شاهد بیشتر از تیمار اصلاح‌شده بود. در پژوهش مشابهی که در جنگل‌های راش گیلان انجام شد، مقدار متوسط ارتفاع درختان در توده شاهد به‌دلیل برداشت درختان قطورتر طی عملیات بهره‌برداری بیشتر از توده اصلاح‌شده بود ولی در این بررسی این تغییرات ناچیز و متأثر از پراکنش تصادفی درختان بود (Hasanzad Navroodi and Hasanhezahad Sadatmahaleh, 2015). بررسی قطر متوسط تاج درختان در توده‌های موردبررسی نشان داد که مقدار این شاخص در توده اصلاح‌شده ۲/۴ متر بوده و به‌طور معنی‌داری بیشتر از توده شاهد (۲/۱) بوده است. با قطع درختان در برش-های اصلاحی و باز شدن فضاهای خالی تحت عنوان روشنیه در تاج‌پوشش جنگل، پایه‌های باقی‌مانده به‌منظور جذب هرچه بیشتر نور، میانگین رشد قطری تاج خود را افزایش می‌دهند که در نتیجه قطر متوسط تاج درختان در چنین توده‌هایی افزایش پیدا می‌کند. (Hassani et al. 2015) در پژوهشی در توده‌های دست‌کاشت پلت در آمل بیان کرده‌اند که تنک کردن توده جنگلی سبب افزایش قطر متوسط تاج درختان شده است. از مهم‌ترین دلایل افزایش تاج‌پوشش می‌توان به کاهش رقابت نوری اشاره کرد و فضا برای گسترش تاج فراهم می‌شود. این گستردگی تاج تا حد زیادی به گونه درخت نیز بستگی دارد که (Pitkänen et al. 2022) به آن اشاره داشته‌اند.

نتایج مقایسه ضریب قدکشیدگی نشان داد که تفاوت معنی‌داری از نظر این شاخص بین دو توده وجود ندارد. با این حال نتایج نشان می‌دهد میانگین این شاخص در توده شاهد بیشتر از توده اصلاح‌شده است. Liu et al. (2003) در یک بررسی در توده کاج کوهی در آلبرتای کانادا با مقایسه مشخصه‌های قطر و ضریب قدکشیدگی دو توده دخالت‌شده و شاهد به این نتیجه رسیدند که تنک‌کردن سبب افزایش قطر و کاهش ضریب قدکشیدگی درختان در توده دخالت‌شده، شده است. ضریب قدکشیدگی شاخصی برای ارزیابی مقدار پایداری پایه‌هاست و هر چه کمتر باشد پایداری درخت بیشتر است (Marvi Mohajer, 2006).

نتایج مقایسه درصد آمیختگی بین دو توده شاهد و اصلاح‌شده نشان داد که بین دو توده از نظر درصد آمیختگی پایه‌ها تفاوت معنی‌دار وجود دارد و درصد آمیختگی بلوط سیاه، ممرز و دیگر گونه‌ها در منطقه شاهد بیشتر است. همچنین در بررسی توده‌های موردپژوهش مشاهده شد که درصد حضور گونه بلوط سفید در توده اصلاح‌شده و بلوط سیاه در توده شاهد بیشتر است که می‌تواند به دلیل عملیات‌های قبلی انجام‌شده در این مناطق باشد. وضعیت فیزیوگرافی مناطق موردبررسی باوجود مشابهت زیاد ممکن است به دلیل ایجاد میکروکلیمای متفاوت در این تغییرات نیز سهمی داشته باشد و سبب چیرگی گونه بلوط سیاه شود. همچنین در توده اصلاح‌شده به‌علت قطع و برداشت ممرز از فراوانی آن کاسته شد.

با بررسی مشخصه‌های کیفی توده‌های جنگلی در هر دو توده، نشان داده شد که بین دو توده اصلاح‌شده و شاهد از نظر شاخص‌های تقارن تاج و کیفیت تنه درختان تفاوت معنی‌دار وجود ندارد. اما از نظر سلامت تاج و تمایل تنه درختان تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های موردبررسی دیده شد. در رابطه با سلامت تاج درختان،

درصد درختان با تاج سالم در توده اصلاح‌شده به‌اندازه ۹۳/۵ درصد در مقابل ۸۹ درصد توده شاهد بود. در توده اصلاح‌شده به دلیل برش‌های انجام‌شده تعدادی از پایه‌های دارای تاج معیوب و مغلوب حذف شدند که چنین عملیاتی در توده شاهد انجام نشد و همین امر موجب ایجاد تفاوت معنی‌دار بین دو توده از نظر سلامت تاج درختان شد.

در رابطه با تمایل تنه درختان مشاهده شد که درصد درختان با تنه قائم در توده اصلاح‌شده به‌اندازه ۲۳/۴ درصد بیشتر از توده شاهد بود. برش پایه‌ها با تنه‌های خمیده و شکسته و خروج از توده اصلاح‌شده مهم‌ترین دلیل این تفاوت است. همچنین در توده اصلاح‌شده به دلیل تراکم کمتر پایه‌ها و بیشتر بودن قطر برابرسینه و قطر متوسط تاج پایه‌ها، درختان کمتر تحت تأثیر رقابت بین پایه‌ای بوده و در نتیجه از پایداری بیشتری برخوردار بوده و خمیدگی در پایه‌ها کمتر است. با توجه به نتایج، مشاهده می‌شود که میانگین تعداد در هکتار زادآوری گونه‌های چوبی در تمامی طبقات قطری و ارتفاعی موردبررسی به‌جز طبقه قطری ۵ تا ۷.۵ سانتی‌متری، در منطقه اصلاح‌شده بیشتر از منطقه شاهد است. دلیل افزایش زادآوری در این طبقات تا حدود زیادی به عملیات اصلاحی انجام‌شده وابسته بوده و بیشتر زادآوری‌های شمارش‌شده منشا جست داشت. این امر دلیلی بر موجه و مناسب بودن عملیات برش‌های اصلاحی برای استقرار زادآوری‌ها و پویایی جنگل است. در پژوهش انجام‌یافته توسط Shojae Shami (2017) با مقایسه زادآوری و موجودی سرپا در توده‌های طبیعی و بهره‌برداری شده راش در سری یک جنگل داربکلای ساری، بیان کردند که مدیریت توده‌های جنگلی سبب افزایش زادآوری می‌شود. همچنین در پژوهشی (Kazemi et al. 2015) بیان کرده‌اند که در قطعه شاهد (بهره‌برداری) به‌علت بسته بودن تاج پوشش

اصلاحی در توده‌های جنگلی موردبررسی در منطقه ارسباران موجب ارتقای شاخص‌های کمی و کیفی در طی مدت زمان سپری‌شده گردیده که می‌توان با ادامه مراحل اصلاح و پرورش توده در دوره‌های بعدی شاهد بهبود هرچه بیشتر وضعیت توده‌های موردبررسی از نظر منشأ و تنوع گونه‌ای و دیگر مشخصه‌ها بود. این امر مهم به‌نوبه خود موجبات پایداری توده‌های جنگلی منطقه ارسباران را فراهم می‌کند.

References

- Alijanpour, A.; Zobeyri, M.; Marvi Mohajer, M. R.; Zargham, N., Investigating and determining the optimal statistical method in Arsbaran forests, *Natural Resources of Iran* **2002**, 56 (4): 397-406. (In Persian)
- Alijanpour, A.; Eshaghi-Rad, J.; Banj Shafiei, A., Comparison of woody plants diversity in protected and non-protected areas of Arasbaran forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2009**, 17 (1), 133-125. (In Persian)
- Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A.; Asghari, A., The effect of aspect, climate (temperature, precipitation) and soil on annual ring width of cornalian cherry in Arasbaran Forests (N.W. Iran), *Applied Ecology* **2014**, 3 (7), 55-66. (In Persian)
- Eslami, A.; Hosseini, M. T.; Sagheb Talebi, Kh.; Investigating the number of trees in the first diagonal layer in order to achieve the stability of beech stands in the implementation of forestry close to nature in the forest of Shamushek-Golestan province, *Journal of Wood & Forest Science and Technology* **2016**, 23 (2), 111-124. (In Persian)
- Hamzeh, B.; Safavi, S. R.; Asri, Y.; Jalili, A., Floristic analysis and a preliminary vegetation description of Arasbaran Biosphere Reserve, NW Iran, Scientific Information Database, *Rostaniha* **2010**, 11 (1), 1-16. (In Persian)
- Hassani, M.; Eslami, A.; Hadizadeh Marjani, Gh. R., The effect of thinning on young plantations of velvet maple (*Acer velutinum* Boiss) on the quantitative & qualitative characteristics of future trees (Case study: Holomsar-Amol), *Journal of Plant Research*
- رقابت برای کسب نور بین تجدید حیات گونه‌های درختی افزایش پیدا کرده و در نتیجه منجر به کاهش زادآوری می‌شود. (Eslami et al. (2016) با بررسی مقدار زادآوری در توده مدیریت‌شده و شاهد به این نتیجه رسیدند که مقدار زادآوری بعد از عملیات اصلاحی در طبقه اول زادآوری به‌طور معنی‌داری بیشتر از مدیریت‌نشده بود.
- نتیجه‌گیری کلی**
- نتایج پژوهش پیش‌رو نشان می‌دهد که انجام عملیات
- (*Iranian Journal of Biology*) **2015**, 29 (2), 339-351. (In Persian)
- Hassanzad Navroodi, I.; Hassannezhad sadatmahaleh, S., Comparison of quantitative and qualitative characteristics in managed and unmanaged natural forest stands at district 7 - Shenrood (Siahkal). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2015**, 28 (1), 103-115. (In Persian)
- Jahandar, O.; Ali Dost, E., Effects of fire on physical, chemical and biological properties of soil in Arasbaran forest in Kaleybar city. *Forest Research and Development* **2022**, 8 (4), 425-438. (In Persian)
- Jannet-Babaei, M.; Moradi, Gh.; Faghghi, J., The effect of soil characteristics and topography on the distribution of plant types in Arsbaran forests. *Forest Research and Development* **2008**, 5 (4), 583-597. (In Persian)
- Kazemi, Sh.; Hojjati, M.; Fallah, A.; Tafazoli, M., Effects of forest management on soil physical and chemical properties of Khalil-Mahale Forest, *Forest Research and Development* **2015**, 1 (2), 167-180. (In Persian)
- Liu, X.; Silinus, U.; Liefers, V. J. R., Stem hydraulic properties a grow in Lodgepole pine stands following thinning and sway treatment, *Canadian Journal of Forest Research* **2003**, 33 (1), 1295-1303.
- Marvi Mohajer, M. R. 2006. *Silviculture*, second edition. University of Tehran Press, Tehran, **2006**, P 384. (In Persian)
- Moradi Dirmandrik, Sh.; Ramezani Kakroudi, E.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A., Quantitative and qualitative characteristics of Arasbaran Forest Protected Area in slope gradient classes, *Forest Research and Development* **2015**, 1 (1), 1-15. (In Persian)

- Moradi Dirmandrik, Sh.; Ramezani Kakroudi, E.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A., Quantitative and qualitative characteristics and altitudinal zonation of Arasbaran forest protected area, northwestern Iran, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, 24 (3), 540-529. (In Persian)
- Pitkänen, T. P.; Bianchi, S.; Kangas, A., Quantifying the effects of competition on the dimensions of Scots Pine and norway spruce crowns. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2022**, 112, 102941.
- Rezaei Sangdehi. S. M. M.; Moslemi, S. M.; Tafazoli, M., Comparing the forest quantitative and qualitative characteristics following a period of forestry plan implementation (Case study: Watershed 65, Jojadeh zone of Farim Company, Mazandaran province), *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2017**, 24 (4), 723-713. (In Persian)
- Rezaei, S.A. The Features of Natural Resources and Watersheds of Iran. *Pouneh Press*, Tehran, **2012**, p 384. (In Persian)
- Sagheb Talebi, K.; Sajedi. T.; Pouhashemi, M. Forests of Iran, *Springer* **2014**, p 152.
- Villegas, Z.; Peña-Claros, M.; Mostacedo, B.; Alarcón, A.; Licona, J.C.; Leñaño, C.; Pariona, W.; Choque, U., Silvicultural treatments enhance growth rates of future crop trees in a tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* **2009**, 258 (6), 971-977.
- Shojaie shami, A., Investigation of Structure and Regeneration Forest Trees in Logged and Non-logged (Case of study: Darabkola Forest of Sari). *Natural Ecosystems of Iran* **2017**, 7 (4), 69-82.
- Yekani Mutlaq, E.; Hajarian, M.; Hosseinzadeh, O.; Alijanpour, A., Impacts of ecotourism development in the Arasbaran region using BOCR, *Iranian Journal of Forest* **2016**, 8 (2), 153-167. (In Persian)
- Zalesov. S.V.; Dancheva A.V.; Ebel, A.V.; Ebel E. D., Silvicultural effectiveness of improvement cutting in the pine forests of Kazakh upland. Bulletin of Higher Educational Institutions. *Lesnoi Zhurnal (Forestry journal)* **2016**, p 10.
- Zhou, D.; Zhao, S. Q.; Liu, S.; and Oeding, J., A meta-analysis on the impacts of partial cutting on forest structure and carbon storage, *Biogeosciences* **2013**, 10, 3691–3703.

Effect of improvement cutting on quantitative and qualitative characteristics of Arasbaran Forests (Case study: Makidi Kaleybar Region)

Mehdi Mardomi¹, Seyed Rostam Mousavi Mirkala^{*2}, Elias Ramezani³ and Ahmad Alijanpour⁴

1- MSc of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (mehdimardomi55@gmail.com)

2- Associated Professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (r.mousavi@urmia.ac.ir)

3- Associate Professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (elias.ramezani@gmail.com)

4- Professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

Received: 31 October 2022

Accepted: 06 June 2023

Abstract

Background and objectives: Silviculture is considered one of the most important activities of forestry and includes all issues related to training and improvement of forest stands. The main goal and purpose of forest treatment is to strengthen and improvement of the quantitative and qualitative of forest stand and to keep it in health condition during the long life of forest. Different cuts in the forest as forestry tools play an important role in guiding the forest stand towards the desired goals. These cuttings are done to improve forest stands and to achieve the development and sustainability of forest ecosystems. Investigation the importance and impact of these cuts in the target forests of the region is vital for forest management. This research conducted with the aim to compare the quantity and quality of mature forest stands and the regeneration of improvement cutting stand (improvement cutting operation for 14 years) and the control stand (adjacent to the improvement cutting stand) in Makidi area of Kalibar city.

Methodology: Makidi region located in the protected part of Arasbaran forests and in the southwest of Kalibar city. The altitude of this area is 1400-1500 meters above sea level and it is located in the western part of the middle Kliberchay river watershed. Both of the treatment areas were similar in terms of physiographic and ecological conditions and differed only in terms of the type of treatments. A total of 5% of the trees in the improvement cutting stand were harvested during the 14 years. In this operation, the trees that were weak or diseased in terms of their appearance, or the trunks of the trees that were attached to the elite trees or that had crown and root disturbances removed. The total surface area under study is 40 hectares, of which 20 hectares considered for each of the treatments. Using a 50x50 meter grid, 33 circular sample plots of 300 square meters were implemented in the control area (three sample plots located inside the uncovered area) 36 sample plots established in the improvement cutting area. Also, the regeneration of woody species in both stands investigated in circular sample plots with dimensions of 100 square meters centered on the main sample plot.

Results: The results showed that the average d.b.h of the trees was 11.35 and 10.98 cm, the average crown diameter was 2.48 meters and 2.11 meters in the improvement cutting stand and control stand, respectively. The average height of the trees in the improvement cutting stand was 9.22 meters and, in the control, stand was 9.61 meters, and the difference between the two stands was not statistically significant. Regarding the number of trees per hectare in both stands, the highest number recorded in the 10 cm diameter class, and in the higher diameter classes, the number of trees decreases. The results show that the stand is immature and fewer trees are in higher diameters. Observing the state of the two stands shows the youth of these stands, and considering that they are at the age of growth, they are high in number per hectare, and the competition between the stands to obtain soil nutrients and light is high

* Corresponding author

Tel: +989104052230

and the demand for more treatment interventions can be felt. The height-to-diameter ratio of two improvement cutting stand and control stands shows that the average height-to-diameter ratio in the control stand is higher than in the improvement cutting stand, which indicates the improvement of the ratio due to cutting operations and the better stability of the stands after improvement cutting operations. Among the most important trees and shrubs observed in the study area, species such as *Quercus petraea*, *Quercus macranthera*, *Acer compestre*, *Carpinus betulus*, *Cerassus avium* were recorded. The results show that in terms of species composition, *Quercus petraea* was 56% and cypress species 0.31% more than the control population in the improvement cutting stand. The percentage of trees with a healthy crown is 93.4% and 93.9% and the upright trunk angle is 68.7% and 43.5% in the improvement cutting stand and control stands, respectively. Examining the tendency of the trees shows that trees in the improvement cutting stand has a more favorable position than the control stand, However, the control stand also have a favorable condition. The stand origin observed in the study area is seedling. The correlation between the diameter and height of trees in both the improvement cutting stand and control stands shows a significant exponential relationship, and the coefficient of determination for the improvement cutting stand is better than the control stand. In terms of the frequency of regeneration, the control stand has a more suitable state of regeneration compared to the improvement cutting stand, and the highest number of regenerations observed in the 5 to 7.5 cm diameter classes, followed by the 2.5 to 5 cm and 0 to 2.5 cm diameter classes.

Conclusion: The summary of the obtained results shows that these stands need more intervention and subsequent cuttings to increase the amount of light and nutrient to the remaining trees which causes more diameter growth increment. It is recommended that these studies be repeated every five years to understand better the impact of this operation.

Keywords: Forest composition, Forest regeneration, Systematic sampling.

مدل‌سازی تأثیر خشک‌داریهای ریز افتاده بر غنای گونه‌های گیاهی با استفاده از درخت رگ‌سیون تقویت‌شده

سعید شعبانی*^۱ و علی اصغر واحدی^۲

۱- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. (s.shabani@areeo.ac.ir)

۲- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. (ali.vahedi60@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۲۳

چکیده

مقدمه و هدف: با وجود آن‌که خشک‌داریهای ریز حجم زیادی از بوم‌سازگان جنگلی معتدله در شمال کشور را به خود اختصاص می‌دهد، نسبت به خشک‌داریهای بزرگ کمتر مورد توجه قرار گرفته است. خشک‌داریهای ریز، جزئی از جنگل‌های طبیعی هستند که علاوه بر افزایش بهره‌وری درختان جنگلی، کمک به زادآوری درختان، حفظ و بالا بردن رطوبت و مواد غذایی خاک و ذخیره‌سازی بلندمدت کربن، با تقویت عملکرد زیستگاه‌های نوظهور، نقشی مهم در غنای گونه‌های گیاهی زیرآشکوب برعهده دارند. از این‌رو، عدم توجه به خشک‌داریهای ریز، سبب برآورد اشتباه، کل حجم خشک‌دار و نقش کلیدی آن بر عملکرد بوم‌سازگان جنگل می‌شود. بنابراین پژوهش پیش‌رو در نظر دارد از روش درخت رگ‌سیون تقویت‌شده برای مدل‌سازی تغییرات غنای گیاهی در ارتباط با مشخصات خشک‌دار ریز در یک توده جنگلی کمتر دست‌خورده استفاده کند.

مواد و روش‌ها: بدین منظور، پس از استقرار ۳۰ قطعه‌نمونه ۴۰۰ مترمربعی (۲۰ در ۲۰ متر) در توده بلوط - ممرزستان در جنگل‌های لوه در شرق استان گلستان، نوع و درصد پوشش علفی بر مبنای شاخص براون - بلانکه ثبت شد. در ادامه، تعداد گونه‌های علفی ثبت‌شده در هر قطعه‌نمونه، مبنای محاسبه غنای گونه‌ای قرار گرفت. برای اندازه‌گیری حجم خشک‌داریهای ریز، راستای اضلاع قطعه‌نمونه ۴۰۰ مترمربعی مبنای محاسبه قرار داده شد. از این‌رو، در راستای اضلاع هر قطعه‌نمونه و در قالب یک خط‌نمونه با مجموع طولی ۸۰ متر (برابر با محیط هر قطعه‌نمونه)، خشک‌داریهای ریز متقاطع با خط‌نمونه شناسایی شد. نوع گونه درختی هر یک از خشک‌داریهای ریز مشخص و با توجه به قطر متقاطع با خط‌نمونه، خشک‌داریهای ریز در یکی از سه

طبقه قطری ۱ تا ۲/۵ سانتی متر، ۲/۵ تا ۴/۵ سانتی متر و ۴/۵ تا ۷/۵ سانتی متر قرار گرفت. برای اندازه گیری درصد رطوبت و ماده آلی خاک، نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۵ سانتی متر مرکز هر قطعه نمونه، برداشت شد. درصد رطوبت خاک با استفاده از اختلاف بین وزن تر و خشک خاک و همچنین مقدار ماده آلی خاک با روش والکی-بلاک در آزمایشگاه به دست آمد. برای برازش مدل درخت رگرسون تقویت شده از بسته gmb در زبان برنامه نویسی R استفاده شد. از این رو در این روش از ترکیب دو الگوریتم "درخت رگرسون و طبقه بندی" و "تقویت" استفاده شد. در این پژوهش برای رسیدن به تعداد درخت بهینه، عدد ۱۰۰۰ مبنای شروع کار قرار گرفت. در این پژوهش، مقدار غنای گونه ای در هر قطعه نمونه به عنوان متغیر پاسخ و متغیرهای درصد شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریای آزاد، درصد رطوبت خاک، درصد ماده آلی خاک، میانگین کل حجم خشک دار ریز، میانگین حجم خشک دار ریز در درجه اول پوسیدگی، میانگین حجم خشک دار ریز در درجه دوم پوسیدگی و نوع گونه خشک دار ریز به عنوان متغیرهای پیشگو در نظر گرفته شد.

یافته ها: بر اساس نتایج، مدل اولیه برازش داده شده در تعداد درخت برابر ۷۷۰۰ بالاترین دقت را نشان داد. لیکن، باتوجه به عدم تأثیرگذاری برخی از متغیرها در مدل، متغیرهای شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، نوع گونه خشک دار ریز و میانگین حجم خشک دار ریز کلاس پوسیدگی اول، این متغیرها بر اساس تغییرات انحراف به وجود آمده، از مدل کنار گذاشته و مدل مجدد در تعداد درخت بهینه ۷۸۰۰ برازش داده شد. به استناد مدل نهایی درخت رگرسون تقویت شده، با افزایش ماده آلی خاک به بیش از ۲/۱۵ درصد و در رطوبت خاک بالای ۳۰ درصد، بیشترین اندازه شاخص غنای گونه ای ثبت شد. همچنین، اندازه بالای خشک دار از کلاس قطری اول و با درجه دارای پوسیدگی، سبب افزایش غنای گیاهی در منطقه مورد بررسی شد. در این پژوهش، ثبت ضریب تبیین بالای ۰/۹۹۲ با مجذور میانگین مربعات خطای ۰/۰۳۹، نشان دهنده دقت بالای مدل درخت رگرسون تقویت شده است.

نتیجه گیری کلی: یافته های تحقیق نشان داد که خشک دارهای ریز با ایجاد شرایط زیستگاهی مطلوب، غنای گیاهان علفی را افزایش داده و حفظ این مؤلفه در افزایش ماده آلی خاک جنگل دارای اهمیت است. نرخ تجزیه بالا در خشک دارهای ریز نسبت به خشک دارهای بزرگ سبب می شود تا ضمن حفظ و افزایش رطوبت خاک، در مدت زمان کوتاهی مواد آلی موجود در چوب در اختیار لایه خاک قرار گیرد. در سالیان اخیر، برخی از کارشناسان حوزه منابع طبیعی، به جمع آوری خشک دارهای ریز و استفاده از آنها در صنایع سلولزی تأکید داشته اند. بخش بزرگی از این نظرات در سایه کوچک نمایی حجم و نقش خشک دار ریز و نبود اطلاعات کافی در مورد این مؤلفه بسیار مهم، و جاهت علمی نیز پیدا کرده است. در صورتی که یافته های این تحقیق به صورت کاملاً مشخص نشان می دهد که جمع آوری و حذف خشک دارهای ریز، حداقل بر رطوبت و ماده آلی خاک و در نتیجه بر غنای گونه های گیاهی تأثیر منفی بر جای خواهد گذاشت. انجام پژوهش های مشابه و تکمیلی با در نظر گرفتن متغیرهای غذایی خاک و همچنین دیگر شاخص های پوشش گیاهی، می تواند در تأیید یا رد این نتیجه کمک قابل توجهی نماید.

واژه های کلیدی: خط نمونه، درجه پوسیدگی، زیر آشکوب، یادگیری ماشین.

مقدمه

شده است، اما به طور کلی خشک داری های با قطر بزرگتر از ۷/۵ سانتی متر به عنوان خشک دار بزرگ و کمتر از این مقدار به عنوان خشک دار ریز شناخته می شوند (Guo et al., 2006).

پژوهش های مختلفی به بررسی نقش خشک دار در بوم سازگان جنگلی پرداختند (Felton et al., 2010; Hedwall and Brunet, 2016; Hedwall et al., 2019; Azimnezhad et al., 2021). بر این اساس تنوع قارچ ها، گل سنج ها، گیاهان علفی و چوبی تا اندازه زیادی به حضور خشک دارها وابسته است (Levers et al., 2014; Sefidi et al., 2013; Kulha et al., 2020). پژوهش های پیشین نشان دادند که حضور خشک دار در مدت زمان کوتاهی رطوبت و ماده آلی خاک را تحت تاثیر قرار می دهد (Fekete et al., 2016; Barbosa et al., 2017; Sarvazad et al., 2022). در تحقیقات خود نشان دادند که خشک دارها با ایجاد زیستگاه ها و منابع مختلف، از زندگی چندین گونه گیاهی در معرض خطر حفاظت می کنند. در پژوهشی دیگر (Johnson et al., 2016) در یک آزمایش میدانی در مقیاس بزرگ، تاثیر حضور حجم های مختلف خشک دار بر تنوع نهال سوزنی برگان را بررسی و نشان دادند که حجم خشک دار موجود، تاثیر مثبتی بر تنوع سوزنی برگان دارد. تاثیر خاک و بسترهای رشد بر تنوع گیاهی، بیشتر به پیوندهای زیرزمینی بین خاک و گیاه ارتباط دارد (Wardle et al., 2004; Karahalil et al., 2017). زیرا رشد و نمو گیاه تا حد زیادی تحت تاثیر جذب مواد مغذی و تعامل خاک و گیاه است (De Meo et al., 2022). در جنگل های معتدله شمال کشور، خشک دارها با ایجاد زیستگاه های ضروری، محیطی را فراهم می آورند که در پناه آن زادآوری درختان و گیاهان می توانند با دوری از عوامل بیماری زای خاک و با کسب مزیت در شرایط آب و رقابت نور نسبت به دیگر

در دهه های اخیر نگرانی های فزاینده ای در مورد ازدست دادن تنوع زیستی و پیامدهای ناشی از آن در بوم سازگان های جنگلی به وجود آمده است (Pourbabaei and Haghighooy, 2013; Sefidi and Etemad, 2014). بیشتر این نگرانی ها بر چگونگی حفاظت از تنوع زیستی در جنگل های تجاری متمرکز شده، چرا که وجود این چالش در جنگل های تجاری برای مدت های طولانی، حل نشده باقی مانده است (Chečko et al., 2015). جنگلداری تجاری منجر به یکنواختی محیط و ساختار توده های جنگلی شده، اثرهای بالقوه منفی بر تنوع زیستی و خدمات بوم-سازگانی برجای گذاشته، و از نظر نوع و فراوانی، آشفته گیایی کاملاً متفاوت از رژیم آشفته گیایی طبیعی، ایجاد کرده است (Okada et al., 2019). جنگلداری نزدیک به طبیعت، رویکردی است که برای کاهش تفاوت های عملکردی بین جنگل های مدیریت شده و طبیعی، با حفظ ساختارهای ضروری یک بوم سازگان جنگلی پیشنهاد شده است (Frei et al., 2022). بر این اساس، با حفظ مؤلفه های اساسی و الگوبرداری از آشفته گیایی طبیعی مثل خشک دار، حفاظت از تنوع زیستی در کنار جنگلداری تجاری ترویج می شود (Schütz et al., 2016; Gresh and Courter, 2021).

خشک دار به عنوان یکی از مؤلفه های مهم خودتنظیمی، نقشی اساسی در تنوع زیستی بوم-سازگان های جنگلی برعهده دارد (de Sousa Trindade et al., 2021; Taheri Abkenar et al., 2022). این رو، شناخت تاثیر این مؤلفه بر بوم سازگان های جنگلی مدیریت نشده، الگوی مناسبی بر تعمیم و استفاده در جنگل های مدیریت شده است. تاکنون دسته بندی های مختلفی بر اساس نوع، شکل و اندازه خشک دارها، ارائه

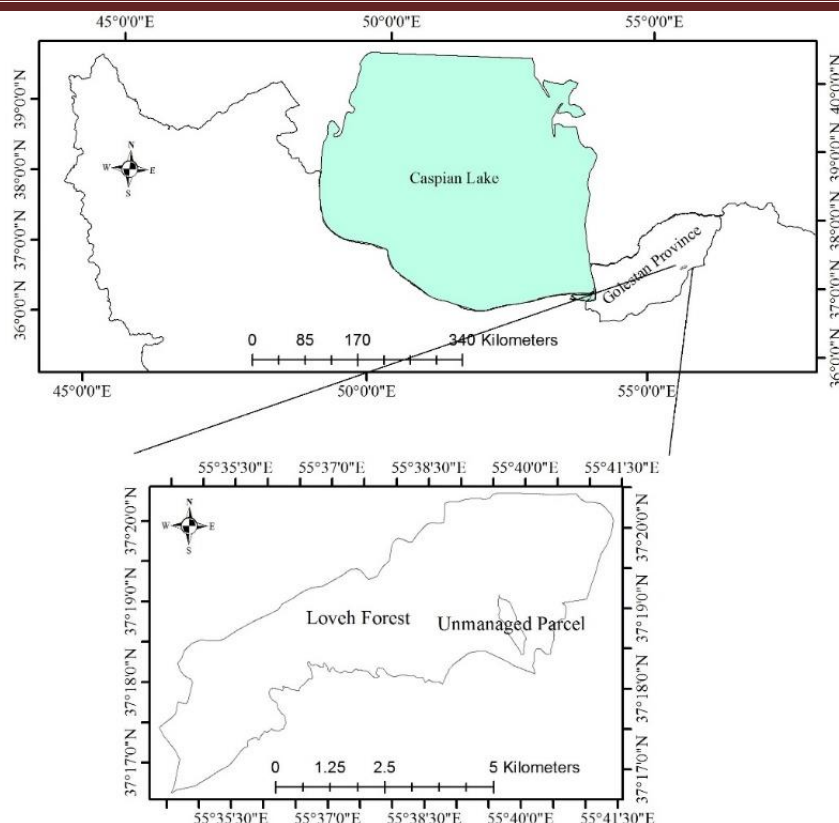
2008). پژوهش‌های پیشین نشان دادند که استفاده از این روش موجب افزایش دقت پیش‌بینی‌شده و درعین‌حال برآزش بیش‌ازحد نیز رخ نداده است (Frank et al., 2018; Burton et al., 2021). بر این اساس پژوهش پیش‌رو درنظر دارد با استفاده از روش درخت رگرسیون تقویت‌شده، به مدل‌سازی تغییرات غنای گونه‌ای گیاهی در ارتباط با خشک‌دارهای ریز افتاده بپردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه موردبررسی در حوزه آبخیز ۹۴ در ۲۴ کیلومتری شهرستان گالیکش و در محدوده پارسل ۴۴ سری ۴ لوه با نام شالی زمین است که در طول جغرافیایی شرقی $38^{\circ} 55'$ تا $41^{\circ} 55'$ و عرض جغرافیایی شمالی $17^{\circ} 37'$ تا $21^{\circ} 37'$ واقع شده‌است (شکل ۱). مساحت عرصه موردبررسی ۳۵ هکتار با تیپ جنگلی غالب بلوط ممرزستان است. متوسط بارندگی سالانه منطقه بیش از ۶۰۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه $12/2$ درجه سانتی‌گراد است. همچنین، کمینه و بیشینه دمای مطلق منطقه به‌ترتیب $19/8-$ و 42 درجه سانتی‌گراد است. حدود چهار ماه از سال در منطقه موردبررسی فصل خشک وجود دارد. بافت خاک منطقه لومی سیلتی و تیپ خاک قهوه‌ای جنگلی است.

گیاهان، زنده مانده و رشد کنند (Amanzadeh et al., 2013). برهمن اساس (Lassauce et al., 2011) و Oettel et al. (2020) اشاره داشتند که خشک‌دارها با ایجاد بسترهای زیستگاهی به تنوع گیاهان کمک می‌کند. Kushnevskaia et al. (2007) دریافتند که گونه‌های گیاهی اپی‌کسیلیک متنوعی بر روی کنده‌های درخت نوئل ایجاد شده‌اند و تغییرات پی‌درپی در پوشش گیاهی در امتداد شیب پوسیدگی کنده‌ها وجود داشت. با وجود پژوهش‌های متعدد در مورد نقش خشک‌دار بر پوشش گیاهی بستر جنگل، پژوهش‌های بسیار کمی به نقش خشک‌دارهای ریز در توده‌های جنگلی پرداختند، در صورتی‌که پژوهش اخیر نشان می‌دهد که حدود ۴۰ درصد از حجم خشک‌دارهای افتاده در کف جنگل متعلق به خشک‌دارهای ریز است (Mikkonen et al., 2020). ازاین‌رو، درنظر نگرفتن این مؤلفه، منجر به برآورد اشتباه حجم خشک‌دار و در نتیجه نقش کلیدی آن بر عملکرد بوم‌سازگان جنگل مانند غنای گیاهی می‌شود. مدل‌سازی تأثیر خشک‌دار بر غنای گونه‌های گیاهی بستر جنگل، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌ریزی و مدیریت در اختیار سازمان‌های تصمیم‌گیرنده در حوزه مدیریت منابع طبیعی و محیط زیست قرار دهد. مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده یکی از روش‌هایی است که با برطرف کردن نقاط ضعف در روش‌های مبتنی بر درخت تصمیم، روابط پیچیده بین داده‌های محیطی را پردازش می‌کند (Elith et al.,



شکل ۱- منطقه مورد بررسی واقع در پارسل شاهد سری چهار لوه

Figure 1. Study area located in control compartment of No. 4 Loveh district

روش پژوهش

برای ثبت پوشش گیاهی و نمونه برداری از خشک داری های ریز افتاده در بستر جنگل، تعداد ۳۰ قطعه نمونه با اندازه ۴۰۰ مترمربع (۲۰ متر در ۲۰ متر) به صورت تصادفی در منطقه مورد بررسی استقرار پیدا کرد. در مرکز هریک از قطعات نمونه ۴۰۰ مترمربعی، برمبنای منحنی سطح - گونه، قطعه نمونه ۶۴ مترمربعی مستقر و نوع و درصد پوشش علفی برمبنای شاخص براون - بلانکه ثبت شد (Pourbabaei et al., 2015). در این پژوهش، تعداد گونه های علفی ثبت شده در هر قطعه نمونه، مبنای محاسبه غنای گونه ای قرار گرفت (Ejtehadi et al., 2009). مقدار شاخص غنای گونه ای در این بررسی به عنوان متغیر پاسخ در نظر گرفته شده است.

برای اندازه گیری مشخصات خشک داری های ریز،

راستای اضلاع قطعه نمونه ۴۰۰ مترمربعی مدنظر قرار گرفت (Guo et al., 2006). بر این اساس، در راستای اضلاع هر قطعه نمونه و در قالب یک خط نمونه با مجموع طولی ۸۰ متر (برابر با محیط هر قطعه نمونه)، خشک داری های ریز متقاطع با خط نمونه شناسایی شد. نوع گونه درختی هر یک از خشک داری های ریز مشخص، و باتوجه به قطر متقاطع با ترانسکت، در یکی از سه طبقه قطری ۱ تا ۲/۵ سانتی متر (طبقه قطری اول)، ۲/۵ تا ۴/۵ سانتی متر (طبقه قطری دوم) و ۴/۵ تا ۷/۵ سانتی متر (طبقه قطری سوم) قرار داده شد. پوسیدگی هر خشک دار نیز در دو درجه بدون پوسیدگی و دارای پوسیدگی مشخص شد (Guo et al., 2006). برای اندازه گیری میانگین حجم خشک دار در واحد سطح،

رابطه (۱) به کار گرفته شد (Woodall and Williams, 2005):

$$\bar{y} = (kfac) (\pi^2/8L) \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن $\bar{y}$ حجم خشک‌دار در واحد سطح، k ضریب ثابت برابر $1/234$ ، f ثابتی برای تبدیل در هکتار و برابر با 10000 ، a ضریب تصحیح زاویه غیرافقی (انحراف) برای قطعه خشک‌دار ریز، c ضریب اصلاح شیب، L طول کل خط‌نمونه، d_i قطر قطعه در نقطه تقاطع، و n تعداد قطعات خشک‌دار متقاطع است. مقدار a در محدوده بین $1/100$ تا $1/40$ متغیر است و مقدار آن بستگی به انحراف هر قطعه چوب از زاویه عمودی (صفر تا 45 درجه) دارد (رابطه ۲):

$$a = \frac{1}{\cos(h)} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن a ضریب تصحیح زاویه غیرافقی (انحراف) برای قطعه خشک‌دار ریز و h زاویه شیبی است که هر قطعه با سطح افقی ایجاد می‌کند.

علاوه بر این، از آنجا که خشک‌دارهای ریز در راستای طول خط‌نمونه و در یک فاصله شیب 20 متری نمونه‌برداری شدند، برای تصحیح شیب از رابطه (۳) استفاده شد:

$$c = \sqrt{1 + (S/100)^2} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن c ضریب تصحیح شیب و S درصد شیب است.

برای اندازه‌گیری رطوبت و ماده آلی خاک، از مرکز هر قطعه‌نمونه، نمونه خاک معدنی تا عمق 15 سانتی‌متر برداشت شد. درصد رطوبت خاک با استفاده از اختلاف بین وزن تر و خشک خاک و همچنین مقدار ماده آلی خاک با روش والکی-بلاک در آزمایشگاه به‌دست آمد (Dulya et al., 2019).

برای برازش مدل BRT از بسته gmb در زبان برنامه‌نویسی R استفاده شده‌است. این مدل یکی از

روش‌هایی است که با استفاده از ترکیب مدل‌های متعدد به بهبود عملکرد تک مدل کمک می‌کند. از این‌رو، در این روش از ترکیب دو الگوریتم "درخت رگرسیون و طبقه‌بندی" و "تقویت" استفاده می‌شود. بر این اساس با الگوریتم "تقویت"، به هر یک از نمونه‌های آموزشی، وزنی اختصاص داده شد و آموزش برای مجموعه‌ای از K دسته‌بندی‌کننده تکرار شد. بعد از اینکه دسته‌بندی‌کننده M_i آموزش یافت، وزن نمونه‌های آموزشی به - هنگام شد تا بدین ترتیب این امکان فراهم شود که دسته‌بندی‌کننده $M_i + 1$ به نمونه‌هایی که توسط دسته - بندی‌کننده M_i به درستی دسته‌بندی نشده‌اند، توجه بیشتری اعمال کند. در این روش به رای هر دسته‌بندی‌کننده بر مبنای قدرت عملکرد آن وزنی اختصاص داده می‌شود. هر اندازه که نرخ خطای یک دسته‌بندی‌کننده کمتر باشد، دقت آن بیشتر خواهد بود و در نتیجه وزن بیشتری به رای آن اختصاص داده می‌شود. دسته‌بندی‌کننده نهایی، M ، به ترکیب رای‌های هر یک از دسته‌بندی‌کنندگان می‌پردازد. در گام بعد، برای هر طبقه، وزن دسته‌بندی‌کنندگانی که به آن طبقه برای نمونه X رأی دادند جمع می‌شود. در نهایت طبقه‌ای که مجموع وزنی بیشتری را به‌دست بیاورد، طبقه برنده خواهد بود و به‌عنوان طبقه پیش‌بینی شده برای نمونه X معرفی و مهم‌ترین متغیرها انتخاب شدند (Han and Kamber, 2006). لازم به ذکر است در این پژوهش برای رسیدن به تعداد درخت بهینه، عدد 1000 مبنای شروع کار قرار گرفت.

نتایج

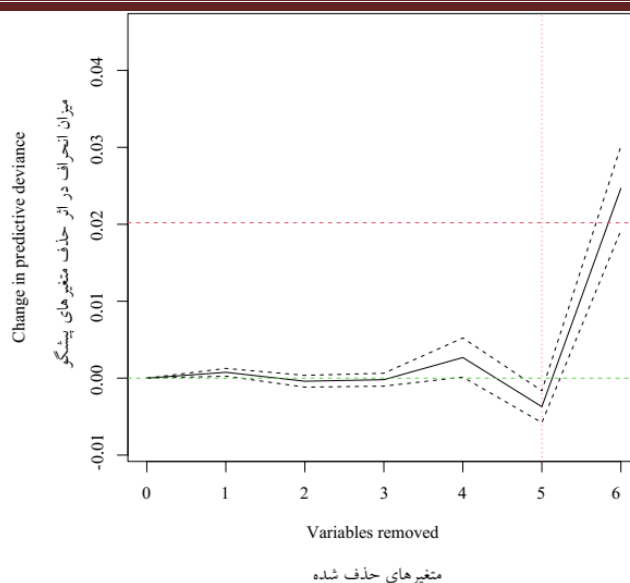
پیش از انجام مدلسازی، بررسی همبستگی بین متغیرهای پیش‌گو (تیبینی) بر مبنای عامل تورم واریانس انجام و متغیرهای با تورم واریانس بالای 10 ، کنار گذاشته شدند (Elith et al., 2008). مدل اولیه درخت

رگرسیون تقویت‌شده برای رسیدن به بیشترین دقت ممکن، با تعداد درختان متفاوت مورد سنجش قرار گرفت. هدف از این کار ایجاد توازن بین واریانس و اریبی برای یافتن تعداد بهینه درختان به‌نحوی است که ضمن برقراری تعادل بین این دو مؤلفه، نرخ خطا کاهش یافته و از کم و بیش برآزش جلوگیری به‌عمل آید. بر اساس نتایج، مدل اولیه برآزش داده‌شده در تعداد درخت برابر ۷۷۰۰ بالاترین دقت را نشان داد. اندازه و روند تاثیرگذاری هر یک از متغیرهای پیش‌گو بر تغییرات غنای گونه‌ای در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- اهمیت نسبی متغیرهای پیش‌گو بر اندازه غنای گونه‌ای گیاهان بر اساس مدل اولیه درخت رگرسیون تقویت‌شده
Table 1. Variable importance of predictive variables on plant richness according to primary results of BRT model

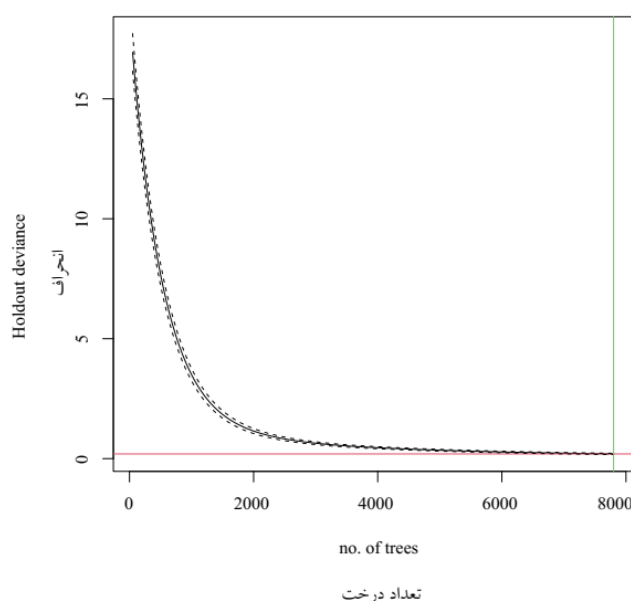
اهمیت نسبی Variable importance	متغیرهای پیش‌گو Predictive variables
30.2	درصد رطوبت خاک Soil Moisture (%)
29.5	درصد ماده آلی Organic Matter (%)
20.1	میانگین کل حجم خشک‌دار ریز Average of total volume of fine woody debris
17.6	میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه دوم پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 2
1.9	نوع گونه خشک‌دار ریز The species name of fine woody debris
0.4	میانگین حجم خشک‌دار ریز در درجه اول پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 1
0.2	درصد شیب Slope (%)
0.1	ارتفاع از سطح دریا Altitude
0.0	جهت Aspect

در ادامه باتوجه به عدم تأثیرگذاری برخی از متغیرهای تبیینی (شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع از سطح دریا، نوع گونه خشک‌دار ریز و میانگین حجم خشک‌دار ریز کلاس پوسیدگی اول) بر متغیر پاسخ، این متغیرها بر اساس تغییرات انحراف به‌وجود آمده، از مدل کنار گذاشته (شکل ۲) و مدل مجدد در تعداد درخت بهینه ۷۸۰۰ برآزش داده شد (شکل ۳).



شکل ۲- روند حذف متغیرهای با درجه تاثیرگذاری پایین بر مبنای مقدار انحراف ایجادشده

Figure 2. The process of dropping variables according to the amount of deviance



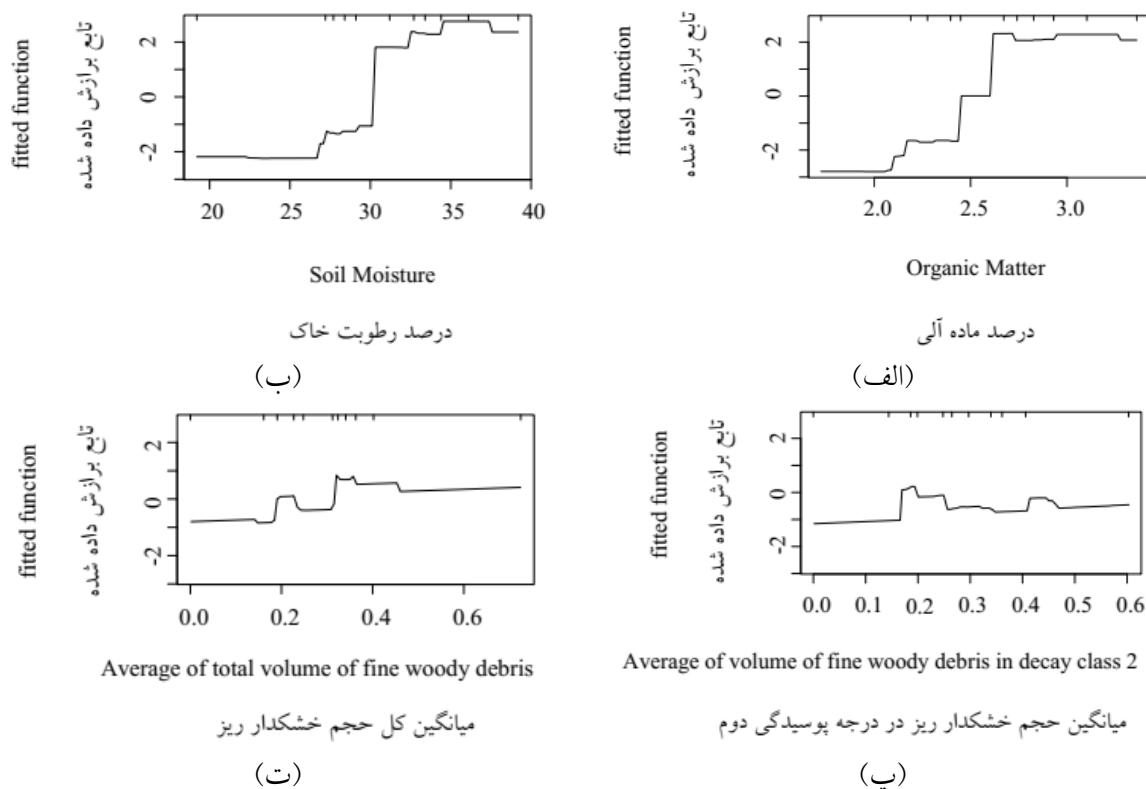
شکل ۳- تعیین تعداد درخت بهینه مدل برای برازش مدل نهایی

Figure 3. Determining the optimal number of trees to fit the final model

معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بیشترین مقدار غنای گونه‌ای در عرصه‌های با درصد رطوبت خاک بین ۳۰ تا ۳۵ درصد به‌دست آمد. همچنین با افزایش میانگین حجم خشک‌دار ریز در کلاس دوم پوسیدگی و میانگین کل حجم خشک‌دار ریز، در روندی ملایم و افزایشی، اندازه غنای گونه‌ای گیاهان در منطقه موردبررسی

روند و درصد تاثیرگذاری هر یک از متغیرهای پیش‌گو بر غنای گونه‌ای، مطابق مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت‌شده در شکل ۴ و جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس با افزایش ماده آلی تا ۲/۱۵ درصد، تغییر مشخصی بر غنای گیاهی به‌دست نیامد، اما بعد از این مقدار، اندازه غنای گونه‌ای به‌صورت

افزایش پیدا کرد. شاخص های عملکرد مدل درخت رگرسیون تقویت شده در پیش بینی تغییرات غنای گونه ای در جدول (۳) نشان داده شده است. براین اساس، مدل مذکور از دقت بسیار بالایی برخوردار است.



شکل ۴- توابع برازش داده شده بر مبنای متغیرهای پیش گوی منتخب در مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت شده

Figure 4. Fitted function according to the selective predictor variables in the final model of BRT

جدول ۲- اهمیت نسبی متغیرهای پیش گو بر مقدار غنای گونه ای گیاهان بر اساس مدل نهایی درخت رگرسیون تقویت شده
Table 2. Variable importance of predictive variables on plant richness according to final results of the BRT model

اهمیت نسبی Variable importance	متغیرهای پیش گو Predictive variables
30.4	درصد رطوبت خاک Soil moisture (%)
29.6	درصد ماده آلی Organic matter (%)
21.9	میانگین حجم خشک دار ریز در درجه دوم پوسیدگی Average volume of fine woody debris in decay class 2
18.1	میانگین کل حجم خشک دار ریز Average of the total volume of fine woody debris

جدول ۳- شاخص‌های عملکردی مدل درخت رگرسیون تقویت‌شده

Table 2. Performance criteria of BRT model

شاخص‌های دقت مدل	
Criteria	
0.992	ضریب تبیین R squared
0.991	ضریب تبیین تعدیل یافته Adjusted R squared
0.039	مجدور میانگین مربعات خطا Root Mean Square Error (RMSE)
-282.868	شاخص آکائیک AIC

بحث

بین ۵۰۰ تا ۶۰۰ مترمربع، به زمانی حدود هشت تا ۱۰ سال نیاز دارد و طی این مدت با افزایش نور و دمای محیطی، گونه‌های گیاهی بستر جنگل فرصت مناسبی برای توسعه پیدا خواهند کرد (Hunter et al. 2015). اما از آنجایی که در این پژوهش هیچکدام از قطعات نمونه مورد بررسی، دارای روشنه و افزایش شرایط نوری ناشی از آن نبود، از این رو، روند غنای گونه‌ای نمی‌توانست با این عامل رابطه داشته باشد. این الگو نشان می‌دهد که بستر اطراف خشک‌دارهای ریز افتاده، بدون در نظر گرفتن شرایط نور، به عنوان یک مکان امن عمل می‌کند (Okada et al., 2019). بررسی Iijima et al (2007) نشان داد که گسترش گیاهان در اطراف خشک‌دارها با نور نسبی محیط ارتباط معنی‌داری نشان نداده، ولی با کاهش وقوع بیماری در پایه‌های گیاهی همبستگی معنی‌داری نشان داد. در این شرایط قاعدتاً تغییرات غنای گیاهی، به نوع گونه درختی، کلاس قطری و مقدار پوسیدگی خشک‌دارهای ریز افتاده و یا تغییرپذیری مشخصه‌های خاک زیر آن ارتباط پیدا می‌کند. بر اساس یافته‌های به دست آمده، در این پژوهش خشک‌دارهای ریز از شش گونه درختی شامل نمدار، ملج، ممرز، بلندمازو، شیردار و پلت ثبت شده بودند، اما تغییر معنی‌داری در غنای گونه‌های گیاهی

نتایج این بررسی تأیید کرد که خشک‌دارهای ریز، صرف نظر از نوع گونه درختی، زیستگاه مناسبی برای توسعه گیاهان بستر جنگل محسوب می‌شود. تفاوت‌های مشاهده شده در غنای گیاهی بین موقعیت‌های دارای و بدون خشک‌دار ریز، به طور قابل توجهی بیش از انتظار بود. بر اساس نتایج، حجم خشک‌دارهای افتاده در بستر جنگل، شرایط پوسیدگی، مقدار ماده آلی و درصد رطوبت خاک بر غنای گونه‌های گیاهی تأثیر گذاشته‌اند. به طور کلی، مقدار خشک‌دارهای ریز افتاده در جنگل‌های مدیریت نشده، بیشتر از جنگل‌های مدیریت شده است (Merganic et al., 2022). در همین رابطه (Konôpka et al (2021) اشاره داشتند که افزایش درصد خشک‌دار ریز، با ایجاد تنوع زیستگاهی بر غنای گونه‌های گیاهی در جنگل‌های حفاظت شده می‌افزاید. در شرایطی که به علت نبود تنوع توپوگرافیک، این عامل تأثیر معنی‌داری بر پوشش گیاهی در محدوده مورد بررسی برجای نگذاشت، به طور معمول، تنوع زیستگاهی مورد اشاره، تحت تأثیر عواملی مانند وجود روشنه، نوع گونه خشک‌دار ریز، طبقه قطری و مقدار پوسیدگی آن قرار دارد. بررسی‌ها نشان داده‌اند که بسته شدن کامل روشنه‌های با اندازه‌ای

اطراف گونه‌های خشک‌دار ریز مختلف مشاهده نشد. پژوهش‌های پیشین نشان دادند که تغییرات غنای گیاهی در اطراف خشک‌دار گونه‌های مختلف درختی (اعم از خشک‌دار بزرگ و ریز) به ساختار درونی چوب و عوامل اصلی کنترل‌کننده پوسیدگی چوب به ویژه دما و رطوبت وابسته است (Dhar et al., 2022; Lasota et al., 2022). این طور به نظر می‌رسد که حجم خشک‌دار ریز انباشته شده در بستر جنگل، بدون در نظر گرفتن تأثیر نوع گونه، نقش زیادی بر غنای پوشش گیاهی بر-عهده داشته‌است. اگرچه بیشتر بررسی‌ها در این زمینه بر خشک‌دارهای بزرگ تمرکز داشتند، اما مقایسه بین این دو مولفه نشان می‌دهد اگرچه خشک‌دارهای بزرگ محتوای بالاتری از کلسیم و منیزیم را به خاک انتقال می‌دهند، اما خشک‌دارهای ریز مقدار بیشتری از مواد مغذی به ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم را در اختیار خاک قرار می‌دهند (Vincent et al., 2010; de Sousa et al., 2021). مقدار ماده آلی در حاشیه خشک‌دارهای ریز افتاده نیز مؤید این مطلب است که احتمالاً مقدار بالاتری از مواد غذایی از بافت خشک‌دار ریز به خاک انتقال یافته‌است. مجموع شرایط ایجادشده منجر به حاصل خیزی خاک شده و در توسعه و افزایش غنای گیاهی تأثیر معنی‌داری به‌جای گذاشت. اثرهای مثبت افزایش ماده آلی آزاد شده از خشک‌دار بر غنای گیاهی در پژوهش‌های متعددی گزارش شده است (Russell et al., 2015; Stutz et al., 2019; Piaszczyk et al., 2020). دسترسی راحت به مواد غذایی به‌ویژه در لایه اولیه خاک، افزایش فعالیت میکروبی خاک و تسریع فرآیند ریشه‌دهی گیاهان یکی از دلایل اصلی گسترش لایه‌های گیاهی در نتیجه بالا رفتن ماده آلی خاک است (Błonska et al., 2017). خشک‌دار ریز طبقه قطری اول بیش از ۵۶ درصد از مقدار خشک‌دارهای ثبت‌شده در این پژوهش را به خود

اختصاص داده بودند. نکته دارای اهمیت در این رابطه آن است که سرعت تجزیه بالای این طبقه خشک‌دار نسبت به دیگر طبقات قطری، می‌تواند با افزایش انتقال ماده آلی به خاک در مدت زمانی کوتاه، به توسعه غنای گیاهی کمک شایانی نماید (Chen et al., 2016; Barbosa et al., 2017). بررسی‌های Gora et al. (2018) در این زمینه نشان می‌دهد که علاوه بر قطر پایین، وجود لیگنین کمتر در خشک‌دارهای ریز، نرخ تجزیه آنها را افزایش می‌دهد. از طرفی در مقایسه با خشک‌دارهای قطور، بافت بیشتری از خشک‌دار تماس مستقیم با بستر خاک دارد و سبب افزایش فرآیند تجزیه می‌شود (Law et al., 2019). در همین راستا، یافته‌های این پژوهش نشان داد بیشتر حجم خشک‌دارهای افتاده در طبقه دوم پوسیدگی قرار داشتند. بررسی Okada et al. (2019) تأیید کرد با افزایش پوسیدگی خشک‌دار و ایجاد بستر نرم، شانس توسعه پوشش گیاهی افزایش پیدا می‌کند. همچنین ذکر این نکته دارای اهمیت است که بین پوسیدگی خشک‌دار و مقدار رطوبت خاک رابطه‌ای دو سویه وجود دارد. از یک طرف با قرارگیری خشک‌دار در بستر جنگل، انتقال رطوبت بستر خاک به خشک‌دار ریز منجر به افزایش نرخ تجزیه می‌شود و از طرف دیگر، به علت استقرار خزه روی خشک‌دارهای ریز، جذب رطوبت روی آنها افزایش می‌یابد (Pizňak and Bačkor, 2019). پژوهش‌های پیشین نیز نشان دادند که حضور گیاهان متنوع در اطراف خشک‌دارها، بیش از آنکه به غنای خاک اطراف این مؤلفه‌ها وابسته باشد، به مقدار رطوبت قابل دسترس برای گیاهان ارتباط دارد (Goldin et al., 2014; Fekete et al., 2016; Dhar et al., 2022). از این رو، بر اساس نتایج، افزایش رطوبت خاک و به دنبال آن غنای پوشش گیاهی در حاشیه خشک‌دار، تا اندازه زیادی قابل انتظار است. Piaszczyk et al. (2022) گزارش کردند که تأثیر

نتیجه‌گیری

اگرچه خشک‌داری‌های ریز افتاده، بخش بزرگی از خشک‌داری‌های جنگلی را به خود اختصاص داده‌اند، با این حال بیشتر بررسی‌ها و دستورالعمل‌ها اختصاصاً به بررسی خشک‌داری‌های بزرگ پرداخته و به نقش خشک‌داری‌های ریز کمتر پرداخته شده است. از این‌رو، این بررسی با هدف تأثیر خشک‌داری‌های ریز بر غنای پوشش گیاهی انجام گرفت. از آنجا که آزادسازی عناصر از بافت خشک‌دار بزرگ مدت زمان زیادی به طول می‌انجامد، خشک‌داری‌های ریز با یک نرخ تجزیه بالا می‌توانند ماده آلی و رطوبت مورد نیاز خاک را تأمین و علاوه بر افزایش حاصلخیزی خاک، بر توسعه و غنای آشکوب گیاهی بیفزایند. این بررسی در یک منطقه مدیریت‌نشده انجام شد که تاکنون سابقه بهره‌برداری نداشت، بنابراین رویکرد این پژوهش می‌تواند یک مدلسازی واقعی از نگهداری طولانی مدت خشک‌دار و تأثیر آن بر غنای گیاهی در بستر جنگل باشد. در سالیان اخیر، حفظ خشک‌داری‌های بزرگ و جمع‌آوری خشک‌داری‌های ریز برای استفاده در صنایع سلولزی و انرژی‌های زیستی، مورد تبلیغات زیادی بوده است. در صورتی که یافته‌های این پژوهش به‌وضوح نشان داده که اجرای این برنامه، علاوه بر کاهش حاصلخیزی خاک، تهدیدی جدی برای تنوع زیستی گیاهی خواهد بود.

سپاسگزاری

این پژوهش، بخشی از یافته‌های طرح ملی «سنجش و پایش ذخایر کربن جنگل‌های هیرکانی و ارسباران (فاز اول)» مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ایران با شماره ۰۰۰۵۳۳-۰۴۱-۰۹-۶۰-۰ است، بنابراین از همه دست‌اندرکاران اجرای طرح مزبور، صمیمانه قدردانی و تشکر می‌شود.

رطوبت بر تجزیه خشک‌دار ریز، به محل و شرایط قرارگیری خشک‌دار ارتباط نزدیکی دارد. بر این اساس، فرو رفتن خشک‌دار ریز در خاک، یا قرارگیری آنها در موقعیت دره با یک خاک اشباع از رطوبت، منجر به کاهش فعالیت میکروبی و نرخ تجزیه خواهد شد (Piaszczyk et al., 2022). تغییر در هر کدام از جزئیات مورد اشاره، تأثیر متفاوتی بر آشکوب گیاهی نمایان خواهد ساخت. انجام بررسی‌های بیشتر با در نظر گرفتن شرایط زیستگاهی متنوع، می‌تواند پاسخگوی بسیاری از سؤالات در این زمینه باشد.

شاخص‌های عملکردی روش درخت رگرسیون تقویت‌شده نشان داد که مدل مذکور از دقت بالایی برخوردار است. در این رابطه، بررسی‌ها تأیید می‌کنند که قدرت کالیبراسیون بالا و مقاومت در برابر کم و بیش‌برازش سبب می‌شود که درخت رگرسیون تقویت‌شده مدلی مناسب برای انجام پژوهش‌های بوم-شناسی باشد (Dettling and Buhlmann, 2003). در الگوریتم درخت رگرسیون تقویت‌شده، داده‌ها نیاز به مقیاس‌بندی جدید، تبدیل یا تغییر ندارند و در برابر مقادیر پرت و از دست رفته مقاوم هستند. در این الگوریتم، خرد شدن تصادفی داده‌ها با یک متغیر مشخص منجر می‌شود تا طبقه‌بندی و رویش درختان با کمترین خطای ممکن از ابتدا تا انتها ادامه پیدا کند (Elith et al., 2008). لازم به ذکر است که این روش نسبت به دیگر روش‌های درخت تصمیم، مشخصه‌های تنظیم‌کننده پیچیده‌تر و همچنین به زمان بیشتری برای اجرای مدل نیاز دارد. همین امر سبب شده‌است که از نظر برخی از پژوهشگران کاربرپسند نباشد. اما اطمینان از دقت بالای این مدل سبب شده‌است که همچنان یکی از روش‌های درخت تصمیم پرکاربرد در پژوهش‌های بوم‌شناسی باشد.

References

- Amanzadeh, B.; Sagheb-Talebi, Kh.; Sotoudeh Foumani, B.; Fadaie, F.; Camarero, J. J.; Linares, J. C. Spatial Distribution and Volume of Dead Wood in Unmanaged Caspian Beech (*Fagus orientalis* L.) Forests from Northern Iran. *Forests* **2013**, *4* (4), 751–765.
- Azimnezhad, Z.; Badehian, Z.; Rezaeinejad, A.; Ahmadi, S. Effect of soil properties on Oak tree dieback (*Quercus brantii* Lindl.) and its ecophysiological responses to different degrees of dieback (case study: Dadabad in Lorestan Province). *Forest Resrach and Development* **2021**, *7* (2), 263–278. (In Persian)
- Barbosa, R. I.; Castilho, C. V.; Perdiz, R. O.; Damasco, G. Rodrigues, R.; Fearnside. P.M. Decomposition rates of coarse woody debris in undisturbed Amazonian seasonally flooded and unflooded forests in the Rio Negro-Rio Branco Basin in Roraima, Brazil. *Forest Ecology and Management* **2017**, 397, 1–9.
- Błonska, E.; Lasota, J.; Gruba, P. Enzymatic activity and stabilization of organic matter in soil with different detritus inputs. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **2017**, *63*, 242–247.
- Burton, J. E.; Bennett, L. T.; Kasel, S.; Nitschke, C. R.; Tanase, M. A.; Fairman, T. A.; Parker, L.; Fedrigo, M.; Aponte, C. Fire, drought and productivity as drivers of dead wood biomass in eucalypt forests of south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management* **2021**, 482, 118859.
- Chečko, E.; Jaroszewicz, B.; Olejniczak, K.; Kwiatkowska-Falińska, A.J. The importance of coarse woody debris for vascular plants in temperate mixed deciduous forests. *Canadian Journal of Forest Research* **2015**, *45*, 1154–1163.
- Chen, Y.; Sayer, E.J.; Li, Z.; Mo, Q.; Li, Y.; Ding, Y.; Wang, J. Nutrient limitation of woody debris decomposition in a tropical forest: contrasting effects of N and P addition. *Functional Ecology* **2016**, *30*, 295–304.
- De Meo, I.; Becagli, C.; Casagli, A.; Paletto, A. Characteristics of deadwood and implications for biodiversity in Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) planted forests in Italy. *Trees, Forests and People* **2022**, *10*, 100341.
- De Sousa Trindade, A.; Silva Ferraz, J. B.; DeArmond, D. Removal of Woody Debris from Logging Gaps Influences Soil Physical and Chemical Properties in the Short Term: A Case Study in Central Amazonia. *Forest Science* **2021**, *67* (6), 711–720.
- Dettling, M.; Buhlmann, P. Boosting for tumor classification with gene expression data. *Bioinformatics* **2003**, *19* (9), 1061–1069.
- Dhar, A.; Forsch, K. B. C.; Naeth, M. A. Effects of Coarse Woody Debris on Soil Temperature and Water Content in Two Reconstructed Soils in Reclaimed Boreal Forest. *Soil Systems* **2022**, *6* (62), 1–11.
- Dulya, O. V.; Bergman, I. E.; Kukarskih, V. V.; Vorobeichik, E. L.; Smirnov, G. U.; Mikryukov, V. S. Pollution-induced slowdown of coarse woody debris decomposition differs between two coniferous tree species. *Forest Ecology and Management* **2019**, 448, 312–320.
- Ejtehadi, H.; Sepehry, A.; Akkafi, H. R. Methods of measuring biodiversity. Ferdowsi University of Mashhad Press **2009**, p 226.
- Elith, J.; Leathwick, J. R.; Hastie, T. A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology* **2008**, *77*–4, 802–813.
- Frank, J.; Castle, M. E.; Westfall, J.A.; Weiskittel, A. R.; MacFarlane, D. W.; Baral, S. K.; Radtke, P. J.; Pelletier, G. Variation in occurrence and extent of internal stem decay in standing trees across the eastern US and Canada: evaluation of alternative modelling approaches and influential factors. *Forestry* **2018**, *91* (3), 382–399.
- Fekete, I.; Varga, C.; Biró, B.; Tóth, J.A.; Várbíró, G.; Lajtha, K.; Szabó, G.; Kotroczó, Z. The effects of litter production and litter depth on soil microclimate in a central European deciduous forest. *Plant Soil* **2016**, 398, 291–300.
- Felton, A.; Lindbladh, M.; Brunet, J.; Fritz, O. Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. *Forest Ecology and Management* **2010**, *260* (6), 939–947.
- Frei, E. R.; Moser, B.; Wohlgemuth, T. Competitive ability of natural Douglas fir regeneration in central European close-to-nature forests. *Forest Ecology and Management* **2022**, 503, 119767.
- Goldin, S. R.; Hutchinson, M.F. Coarse woody debris reduces the rate of moisture loss from

- surface soils of cleared temperate Australian woodlands. *Soil Research* **2014**, 52, 637–644.
- Gora, E. M.; Sayer, E. J.; Turner, B. L.; Tanner, E. V. J. Decomposition of coarse woody debris in a long-term litter manipulation experiment: A focus on nutrient availability. *Functional Ecology* **2018**, 32 (4), 1128–1138.
- Gresh, J. M.; Courter, J. R. In Pursuit of Ecological Forestry: Historical Barriers and Ecosystem Implications. *Frontiers in Forests and Global Change* **2021**, 4, 1–9.
- Guo, L. B.; Bek, E.; Gifford, R. M. Woody debris in a 16-years old *Pinus radiata* plantation in Australia: Mass, carbon and nitrogen stocks, and turnover. *Forest Ecology and Management* **2006**, 228, 145–151.
- Han, J.; Kamber, M. Data Mining concepts and techniques. 2d. Ed. Morgan Kaufmann Pub. Co, United States of America, **2006**, p 10.
- Hedwall, P.-O.; Brunet, J. Trait variations of ground flora species disentangle the effects of global change and altered land-use in Swedish forests during 20 years. *Global Change Biology* **2016**, 22 (12), 4038–4047.
- Hedwall, P.-O.; Gustafsson, L.; Brunet, J.; Lindblad, M.; Axelsson, A.-L.; Strengbom, J. Half a century of multiple anthropogenic stressors has altered northern forest understory plant communities. *Ecological Applications* **2019**, 29 (4), e01874.
- Hunter, M. O.; M. Keller, D.; Morton, B.; Cook, M.; Lefsky, M.; Ducey, S. Structural dynamics of tropical moist forest gaps. *Plos One* **2015**, 10 (7), e0132144.
- Iijima, H.; Shibuya, M.; Saito, H. Effects of surface and light conditions of fallen logs on the emergence and survival of coniferous seedlings and saplings. *Journal of Forest Research* **2007**, 12, 262–269.
- Jonsson, B. G.; Ekström, M.; Esseen, P.-A.; Grafström, A.; Ståhl, G.; Westerlund, B. Dead wood availability in managed Swedish forests – Policy outcomes and implications for biodiversity. *Forest Ecology and Management* **2016**, 376, 174–182.
- Karahalil, U.; Baskent, E. Z.; Sivrikaya, F.; Kiliç, B. Analyzing dead wood volume of Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in relation to stand and site parameters: a case study in Köprülü Canyon National Park. *Environmental Monitoring and Assessment* **2017**, 189, 112.
- Konôpka, B.; Šebeň, V.; Merganičová, K. Forest Regeneration Patterns Differ Considerably between Sites with and without Windthrow Wood Logging in the High Tatras Mountains. *Forests* **2021**, 12, 1349.
- Kulha, N.; Pasanen, L.; Holmström, L.; De Grandpré, L.; Gauthier, S.; Kuuluvainen, T.; Aakala, T. The structure of boreal old-growth forests changes at multiple spatial scales over decades. *Landscape Ecology* **2020**, 35, 843–858.
- Kushnevskaya, H.; Mirin, D.; Shorohova, E. Patterns of epixylic vegetation on spruce logs in late-successional boreal forests. *Forest Ecology and Management* **2007**, 250, 25–33.
- Lasota, J.; Piaszczyk, W.; Błonska, E. Fine woody debris as a biogen reservoir in forest ecosystems. *Acta Oecologica* **2022**, 115 (103822), 1–6.
- Lassauce, A.; Paillet, Y.; Jactel, H.; Bouget, M. Deadwood as a surrogate for forest biodiversity: meta-analysis of correlations between deadwood volume and species richness of saproxylic organisms. *Ecological Indicators* **2011**, 11 (5), 1027–1039.
- Law, S.; Eggleton, P.; Griffiths, H.; Ashton, L.; Parr, C. Suspended dead wood decomposes slowly in the tropics, with microbial decay greater than termite decay. *Ecosystems* **2019**, 22, 1176–1188.
- Levers, C.; Verkerk, P. J.; Müller, D.; Verburg, P. H.; Butsic, V.; Leitão, P. J.; Lindner, M.; Kuemmerle, T. Drivers of forest harvesting intensity patterns in Europe. *Forest Ecology and Management* **2014**, 315, 160–172.
- Merganic, J.; Merganičová, K.; Vlčková, M.; Dudáková, Z.; Ferencik, M.; Mokroš, M.; Juško, V.; Allman, M.; Tomčík, D. Deadwood Amount at Disturbance Plots after Sanitary Felling. *Plants* **2022**, 11 (987), 1–16.
- Mikkonen, N.; Leikola, N.; Halme, P.; Heinaro, E.; Lahtinen, A.; Tanhuanpää, T. Data modeling of dead wood potential based on tree stand. *Forests* **2020**, 11 (913), 1–21.
- Oettel, J.; Lapin, K.; Kindermann, H.; Steiner, H.; Schweinzer, K.-M.; Frank, G.; Essl, F. Patterns and drivers of deadwood volume and composition in different forest types of the Austrian natural forest reserves. *Forest Ecology and Management* **2020**, 463 (118016), 1–14.
- Okada, M.; Hirao, T.; Kaji, M.; Goto, S. Role of fallen logs in maintaining the species diversity of understoryvascular plants in a mixed coniferous and broad-leaved forest in Hokkaido, northern Japan. *Forest Ecology and Management* **2019**, 448, 249–255.

- Piaszczyk, W.; Lasota, J.; Błońska, E. Effect of Organic Matter Released from Deadwood at Different Decomposition Stages on Physical Properties of Forest Soil. *Forests* **2020**, *11* (24), 1–13.
- Pizňak, M.; Bačkor, M. Lichens affect boreal forest ecology and plant metabolism. *South African Journal of Botany* **2019**, *124*, 530–539.
- Pourbabaei, H.; Haghgooy, T. Effect of physiographical factors on tree species diversity (case study: Kandelat Forest Park). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2013**, *21* (2), 243–255. (In Persian)
- Pourbabaei, H.; Heidari, M.; Naghilou, M.; Begim Faghir, M., Relationship between vegetation and environmental factors in the Anatolian oak (*Quercus petraea* L. subsp. *iberica* (Stev.) Krassiln) habitat: a case study of Asalem forests, Guilan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* **2015**, *28* (1), 53–62. (In Persian)
- Russell, M. B.; Fraver, S.; Aakala, T.; Gove, J.H.; Woodall, C.W.; D'Amato, A.W.; Dukey, M.J. Quantifying carbon stores and decomposition in dead wood: A review. *Forest Ecology and Management* **2015**, *350*, 107–128.
- Sarvazad, A.; Fallah, A.; Vahedi, A. A. Changes in carbon storage of *Quercus brantii* Lindl in relation to physiographic factors of Zagros forests. *Forest Resrach and Development* **2022**, *8* (3), 329–341. (In Persian)
- Schütz, J.-P.; Saniga, M.; Diaci, J.; Vrška, T. Comparing close-to-naturesilviculture with processes in pristine forests: lessons from Central Europe. *Annals of Forest Science* **2016**, *73*, 911–921.
- Sefidi, K.; Etemad, V. The amount and quality of dead trees in a mixed beech forest with different management histories in northern Iran. *Biological Diversity* **2014**, *15*, 162–168.
- Sefidi, K.; Marvie Mohadjer, M. R.; Mosandl, R.; Copenheaver, C. A. Coarse and Fine Woody Debris in Mature Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forests of Northern Iran. *Natural Areas Journal* **2013**, *33* (3), 248–255.
- Stokland, J. N.; Siitonen, J.; Jonsson, B. G. Biodiversity in dead wood. Cambridge University Press, Cambridge, UK. **2012**.
- Stutz, K.; Kaiser, K.; Wambsganss, J.; Santos, F.; Berhe, A.A.; Lang, F. Lignin from white-rotted Europeanbeech deadwood and soil functions. *Biogeochemistry* **2019**, *145*, 81–105.
- Taheri Abkenar, K.; Mirzaei, M.; Mohammadi, M. A.; Saeidi, H. R. Effects of dead trees on natural regeneration of beech trees in different physiographic conditions (case study: Siahroud forests, Langaroud). *Forest Resrach and Development* **2022**, *8* (3), 235–247. (In Persian)
- Vincent, A. G.; Turner, B. L.; Tanne, E. V. J. Soil organic phosphorus dynamics following perturbation of litter cycling in a tropical moist forest. *European Journal of Soil Science* **2010**, *61*, 48–57.
- Wardle, D. A.; Bardgett, R. D.; Klironomos, J. N.; Setälä, H.; van der Putten, W. H.; Wall, D. H. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* **2004**, *304*, 1629–1633.
- Woodall, C.; Williams, M.S. Sampling Protocol, Estimation, and Analysis Procedures for the Down Woody Materials Indicator of the FIA Progam. General Technical Report NC-256, United States Department of Agriculture (USDA) **2005**, p 56.

Modeling the role of FWD on plant species richness using BRT

Saeid Shabani*¹ and Ali Asghar Vahedi²

1- Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, I. R. Iran. (s.shabani@areeo.ac.ir)

2- Research Assistant, Research Department of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran. (ali.vahedi60@gmail.com)

Received: 13 June 2023

Accepted: 04 October 2023

Abstract

Background and objectives: Plant Species Richness (PSR) plays an important role in forest ecosystem functions and services. Despite the fact that Fine Woody Debris (FWD) occupy a large volume of the temperate forest ecosystem in the north of Iran, they have received less attention than Coarse Woody Debris (CWD). FWD is a component of natural forests, in addition to increasing the productivity of forest trees, helping to trees regeneration, maintaining and increasing soil moisture and nutrients, and long-term carbon storage, contribute the enhanced function of newly developing microhabitats with an important function in plant understory richness. Therefore, not paying attention to FWD leads to wrong estimation of the total volume of woody debris and its key role on the performance of forest ecosystems. Therefore, it was considered for current study that Boosted Regression Tree (BRT) machine learning technique used to model the PSR in unmanaged forest stands. For this aim, Oak - hornbeam stand in Loveh forest in the east of Golestan province, Iran was selected for sampling.

Methodology: For this purpose, 30 sample plots 400 m² (20 m × 20 m) were set in the study area, and the type and percentage of plant cover was recorded based on the Braun-Blanquet index. In the following, the number of plant species recorded in each sample plot was the basis for calculating species richness. In order to measure the volume of FWD, the alignment of the sides of the sample plot of 400 square meters was used as the basis of calculation. Therefore, in line with the sides of each sample plot and in the form of a linear transect with a total length of 80 meters (equal to the perimeter of each sample plot), FWD intersected with the transect were identified. The names of tree species of each of the FWD is specified, and according to the cross diameter with the transect, the FWD were placed in one of three diameter classes: 1 to 2.5 cm, 2.5 to 4.5 cm, and 4.5 to 7.5 cm. To measure the percentage of soil moisture and organic matter, the soil was taken from the center of each sample to a depth of 15 cm. Soil moisture percentage was obtained by using the difference between wet and dry weight of soil and also the amount of soil organic matter by Walkley-Black method in the laboratory. The gmb package in R programming language was used to fit the boosted regression tree model. This model is one of the methods that helps to improve the performance of a single model by using the combination of multiple models. Therefore, in this method, the combination of two algorithms "regression tree and classification" and "boosting" is used. It should be noted that in this research, in order to reach the optimal number of trees, the number of 1000 was used as the starting point. In this study, the amount of species richness in each plot as the response variable, and the variables of slope percentage, slope aspect, altitude, soil moisture percentage, soil organic matter percentage, average of total volume of fwd, average volume of fwd in decay class 1, average volume of fwd in decay class 2 and the type of fwd were considered as predictor variables.

Results: Based on the results, the initial model fitted in the number of trees 7700 showed the highest accuracy. However, due to the lack of influence of some variables in the model, the variables of slope, slope aspect, altitude, the type of fwd and the average volume of fwd in decay class 1, these variables were excluded from the model based on the deviation changes. And the model was refitted in the optimal number of trees of 7800. Based on the final model of the BRT, the highest amount of species richness was recorded with the increase of soil organic matter to > 2.15% and in a soil moisture percentage >30%. Furthermore, a high amount of FWD from the first diameter class and with the decay class 2 (rotten) led

* Corresponding author

Tel: +989117815510

to an increase in plant richness in the studied area. In the present study, the adjusted R squared > 0.99 with the Root Mean Square Error (RMSE) < 0.039 shows the high accuracy of the BRT model.

Conclusion: Although fwd comprise a large part of woody debries in the forests of the north of Iran, no specific place has been considered for it in any of the statistical protocols. This matter has led to the fact that there is no specific estimate of the volume of fwd and its role on the forest ecosystem is neglected. Therefore, this study was conducted with the aim of modeling the effect of this important component on the richness of plant species in a broadleaf stand in Loveh forests of Golestan province. The findings of the research showed that by creating favorable habitat conditions, the fwd increase the abundance of plant species and maintaining this component is important in increasing the organic matter of the forest soil. The high rate of decomposition in fwd compared to cwd causes that while maintaining and increasing the soil moisture, the organic materials in the wood are available to the soil layer in a short period of time. In recent years, some experts in the field of natural resources have emphasized the collection of fwd and their use in cellulose industries. A large part of these opinions has also found a scientific basis in the shadow of the minimization of the volume and role of the fwd and the lack of sufficient information about this very important component. If the findings of this research clearly show that the collection and removal of fwd will have a negative impact on soil moisture and organic matter and thus on the richness of plant species. Conducting similar and additional studies by including soil nutritional variables as well as other plant indicators can significantly help in confirming or rejecting this result

Keywords: Decay class, Machin learning, Transect, Understory.

ارزیابی رویکرد فضا برای زمان برای بررسی اثرهای افزایش درجه حرارت بر تجزیه لاشبرگ‌ها

ساناز رمضانی^۱ و فرهاد قاسمی آقباش^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (sanaz.ramezanii73@gmail.com)

۲- استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (ghasemifarhad@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۱۴

چکیده

مقدمه و هدف: در بوم‌سازگان‌های جنگلی، تجزیه لاشبرگ از مهم‌ترین راه‌های ورود عناصر غذایی به خاک است و قابلیت در دسترس بودن عناصر غذایی خاک به مقدار زیاد ناشی از پویایی عناصر غذایی و تجزیه لاشبرگ در جنگل است. تجزیه لاشبرگ کارکردهای بوم‌شناسی مهمی را موجب می‌شود و ترکیب عناصر غذایی درونی درختان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. فرایند تجزیه لاشبرگ بر ذخایر کربن آلی خاک اثر می‌گذارد. درک و فهم این مسئله که چگونه تغییر اقلیم و گرمایش جهانی کره زمین فرایند تجزیه و در نتیجه مقدار کربن ذخیره شده در خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد، لازم و ضروری است. رویکرد فضا برای زمان این امکان را فراهم می‌سازد که تجزیه لاشبرگ در شرایط حاضر و در طبقات ارتفاعی مختلف مورد مقایسه قرار گرفته و اثرهای افزایش درجه حرارت بر تجزیه لاشبرگ‌ها بررسی شود. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در لاشبرگ‌های خالص و ترکیبی انجام شد.

مواد و روش‌ها: در تحقیق حاضر با استفاده از رویکرد فضا برای زمان، نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در سه گونه بلوط ایرانی، بنه و داغداغان در حالت‌های خالص و ترکیبی، در سه طبقه ارتفاعی ۷۵۰، ۹۰۰ و ۱۰۵۰ متر در جنگل‌های دره‌شهر استان ایلام بررسی شد. جنگل‌های منطقه دارای توپوگرافی نسبتاً شدید و دارای کوه‌ها و تپه‌هایی با شیب‌های تند و ملایم است و در بسیاری از قسمت‌های آن بیرون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد. ارتفاع متوسط منطقه ۱۲۰۰ متر و شیب متوسط آن ۱۵ درصد است. متوسط دمای سالیانه ۲۱/۴۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالیانه در این منطقه، ۴۲۶/۳ میلی‌متر گزارش شده است. نوع اقلیم منطقه موردبررسی نیمه‌مرطوب است. در این پژوهش از تکنیک کیسه‌لاشبرگ (با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر با منافذ ۲ میلی‌متر) استفاده شد. برای دستیابی به اهداف تحقیق، لاشبرگ گونه‌های موردبررسی در فصل پاییز سال

۱۴۰۰ به صورت تصادفی و دستی از کف جنگل جمع‌آوری شد. بعد از آماده‌سازی کیسه‌لاشبرگ‌ها، تعداد ۲۴۳ کیسه‌لاشبرگ تک جیه و دو جیه در محل‌های جمع‌آوری لاشبرگ‌ها در روی خاک معدنی نصب و طی ۱۸۰ روز با فواصل زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز مورد انکوباسیون قرار گرفته و نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها وزن اولیه و ثانویه لاشبرگ‌ها یادداشت و از طریق روابط وزنی مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها محاسبه شد. برای تعیین کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها نیز عناصر غذایی لاشبرگ‌ها مانند نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم اندازه‌گیری شدند.

یافته‌ها: بر اساس نتایج مشخص شد که لاشبرگ‌های سه گونه موردبررسی از نظر غلظت‌های منیزیم، فسفر و نیتروژن مشابه هستند. لاشبرگ بلوط ایرانی از نظر غلظت‌های پتاسیم و کربن و لاشبرگ داغداغان نیز از نظر غلظت کلسیم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده بودند. نسبت کیفی C:N در لاشبرگ داغداغان پایین بود که این مسئله نشان‌دهنده کیفیت بالای این لاشبرگ است. نتایج نشان داد که در دوره‌های زمانی موردبررسی نوع لاشبرگ، ارتفاع از سطح دریا (به‌غیر از دوره زمانی ۱۸۰ روز) و اثرهای متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع اثرهای معنی‌داری در نرخ تجزیه داشته‌اند؛ به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع از سطح دریا مقدار تجزیه افزایش یافته است. بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که در دوره زمانی ۳۰ روز بیشترین مقدار تجزیه مربوط به تیمارهای ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) و بلوط ایرانی (بلوط ایرانی+داغداغان) (به‌ترتیب ۱۴/۶۱ و ۱۴/۴۰ درصد) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن مربوط به تیمار بنه خالص (۴/۵۲ درصد) در ارتفاع ۷۵۰ متر بوده است. در دوره زمانی ۶۰ روز نیز بیشترین مقدار تجزیه در تیمار ترکیبی داغداغان (بنه+داغداغان) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن در تیمار بنه خالص در ارتفاع ۷۵۰ متر به‌ترتیب با ۱۵/۴۱ و ۵/۳۱ درصد مشاهده شد. همچنین در پایان دوره انکوباسیون بیشترین مقدار تجزیه متعلق به تیمار ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر (۱۶/۱۲ درصد) و کمترین آن نیز مربوط به لاشبرگ خالص بنه در ارتفاع ۷۵۰ متر (۱۰/۱۲ درصد) است.

نتیجه‌گیری کلی: در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که در طول مدت زمان بررسی، با افزایش ارتفاع از سطح دریا و در نتیجه کاهش درجه حرارت نرخ از دست‌دهی مواد آلی لاشبرگ‌ها نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش معنی‌داری (مخصوصاً در دو ماه اول انکوباسیون) نسبت به طبقات ارتفاعی پایین داشته است. همچنین در پایان دوره زمان مورد بررسی تنها اثر متقابل ارتفاع و نوع لاشبرگ توانسته بود مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها را تحت تأثیر قرار بدهد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های زاگرس، درجه حرارت، کیسه‌لاشبرگ، گرادیان ارتفاعی، وزن ازدست رفته.

مقدمه

بخش مهمی از چرخه عناصر غذایی در بوم‌سازگان‌های جنگلی به‌وسیله آزاد شدن مواد غذایی از لاشبرگ درختی در حال تجزیه تشکیل می‌شود (Bohara et al., 2020). فعل و انفعالات موجود بین ورودی مواد آلی و نرخ تجزیه آن یکی از مهم‌ترین فرایندهای تعیین‌کننده مقدار کربن آلی ذخیره‌شده در خاک است (Moslehi et al., 2018). در جنگل‌های معتدله لاشریزه‌ها در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد ذخایر کربن خاک را تأمین می‌کنند (Faber et al., 2018). لاشبرگ‌ها کارکردهای بوم-شناسی مهمی را فراهم می‌نمایند و بر ترکیب عناصر غذایی درونی درختان اثر می‌گذارند (Berg and McClaugherty, 2020). ارتباطات متقابل بین اقلیم، فعالیت خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کننده‌ها و کیفیت لاشبرگ تنظیم‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ است (Cotrufo et al., 2013). آزادسازی عناصر غذایی و ترکیب شیمیایی لاشبرگ‌ها نقش اساسی در چرخه عناصر غذایی ایفا می‌نماید و بازگشت عناصر غذایی به فرایند تجزیه بستگی دارد که در مقیاس جهانی به‌وسیله اقلیم و عرض جغرافیایی و در مقیاس منطقه‌ای به مشخصه‌های بوم‌شناختی و عوامل فیزیوگرافی وابسته است (Kara et al., 2014). کیفیت لاشبرگ، عموماً با عواملی مانند مقدار نیتروژن، فسفر، پتاسیم، لیگنین، سلولز و همی‌سلولز، نسبت کیفی کربن به نیتروژن و ترکیبات فنلی لاشبرگ‌ها بیان می‌شود (Zhang et al., 2008; Krishna and Mohan, 2017). در بوم‌سازگان‌های جنگلی، هر گونه درختی کیفیت لاشبرگ مخصوص به‌خود را داراست (Kianmehr et al., 2019) و لاشبرگ هم به نوبه خود بر شیمی و میکروبیولوژی خاک اثر می‌گذارد (Berger et al., 2015). خاک و اقلیم به‌طور غیرمستقیم، با تحت تأثیر

قرار دادن فعالیت‌های خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه‌کننده-ها، نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را تنظیم می‌کنند (Patoine et al., 2017; Faber et al., 2018). بیشتر بررسی‌های انجام شده در خصوص اثرهای گرادیان‌های ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ نشان‌دهنده اثرهای منفی افزایش ارتفاع بر نرخ تجزیه بوده‌اند (Dinakaran et al., 2018). پژوهش‌های انجام‌شده در خصوص کیفیت لاشبرگ و نرخ تجزیه آن در طبقات ارتفاعی مختلف کم بوده (Bohara et al., 2019) و بیشتر پژوهش‌ها در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی انجام شده‌اند (Hättenschwiler and Bretscher, 2001; Rouifed et al., 2010). با این حال از پژوهش‌هایی که در شرایط طبیعی انجام شده‌اند؛ می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. Gavazov et al. (2014) با بررسی روی راش اروپایی در سوئیس گزارش دادند که شواهد قابل قبولی در خصوص نقش‌های کنترلی درجه حرارت و رطوبت خاک در تجزیه لاشبرگ‌ها وجود دارد. همچنین در مورد اثرهای غیرمستقیم اقلیم و خاک، به‌واسطه تغییر جوامع میکروبی خاک، نیز چنین شواهدی وجود دارد. ایشان همچنین گزارش دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها به دلیل کاهش رطوبت خاک کاهش می‌یابد. (Paudel et al., 2015) با بررسی عوامل تأثیرگذار بر تجزیه لاشبرگ‌ها در گرادیان‌های مختلف آشفستگی در جنگل‌های تروپیکال گزارش دادند که تغییر میکروکلیم، به‌واسطه حذف تاج‌پوشش، موجب حذف بی‌مهرگان متوسط و بزرگ شده درحالی که اثر کیفیت لاشبرگ در چنین شرایطی کم‌رنگ شده بود. Berger et al. (2015) با بررسی نرخ تجزیه لاشبرگ‌های راش اروپایی و کاج سیاه در گرادیان‌های ارتفاعی مختلف گزارش دادند که با افزایش ارتفاع مقدار درجه حرارت و بارندگی کاهش یافته که این امر منجر به کاهش نرخ تجزیه لاشبرگ و در نتیجه کاهش ذخایر کربن خاک

می‌شود. (Faber et al. (2018 اثرهای افزایش ارتفاع از سطح دریا بر تجزیه لاشبرگ را در شرایط طبیعی بررسی کرده و گزارش دادند که حساسیت تجزیه لاشبرگ‌های با کیفیت پایین در مقایسه با کیفیت بالا نسبت به گرم شدن هوا بیشتر بوده و کمتر تحت تاثیر جوامع میکروبی خاک قرار می‌گیرند. (Bohara et al. (2020 تجزیه لاشبرگ و مقدار آزادسازی عناصر غذایی لاشبرگ را در گرادیان‌های مختلف ارتفاعی در جنگل‌های معتدله بررسی کرده و گزارش دادند که کیفیت لاشبرگ به همراه عوامل اقلیمی (مانند درجه حرارت و بارندگی) بهترین پیش‌بینی‌کننده‌های نرخ تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن هستند. (Izadi et al. (2022 با شبیه‌سازی اثر افزایش دما و کاهش تاج‌بارش بر نرخ تجزیه لاشبرگ گونه‌های ممرز و بلندمازو گزارش دادند که نرخ تجزیه لاشبرگ گونه بلندمازو در شرایط تغییر اقلیم افزایش خواهد یافت که این مسئله منجر به کوتاه‌تر شدن دوره برداشت خواهد شد. در کل نتایج پژوهش‌های این-چنینی می‌تواند برای حفظ تنوع زیستی و ثبات بوم-سازگان و برای کاهش اثرهای تغییرات آب و هوایی ضروری باشد. جنگل‌های موجود در ارتفاعات بالا معمولاً دارای درختانی هستند که لاشبرگ با کیفیت پایین تولید می‌کنند. این درختان لاشبرگ‌هایی تولید می‌کنند که از نظر عناصر غذایی ضعیف بوده ولی حاوی مقدار بالای لیگنین هستند (Vesterdal et al., 2008). به علاوه در جنگل‌های کوهستانی نرخ تجزیه پایین بوده و تجمع و تثبیت کربن در افق‌های سطحی انجام می‌گیرد. اما شرایط در جنگل‌های معتدله متفاوت است؛ به طوری که از ذخایر بالای کربن برخوردار هستند (Zhu et al., 2015). افزایش درجه حرارت کره زمین و اثرهای آن در نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها بستگی به کیفیت لاشبرگ‌ها دارد. معمولاً لاشبرگ‌هایی که از کیفیت پایین برخوردار هستند در برابر درجه حرارت حساسیت

بیشتری دارند؛ زیرا برای تجزیه آنها مراحل زیادی نیاز خواهد بود (Faber et al., 2018). همان‌گونه که قبلاً بیان شد بیشتر پژوهش‌ها در خصوص بررسی اثرهای شرایط محیط‌زیستی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در شرایط آزمایشگاهی انجام شده‌اند. از این‌رو، این پژوهش در نظر دارد که با استفاده از رویکرد فضا برای زمان (Space-For-Time approach) اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را در شرایط طبیعی بررسی کند. در این رویکرد در زمان کنونی می‌توان با افزایش یا کاهش ارتفاع از سطح دریا اثرهای کاهش یا افزایش درجه حرارت بر نرخ تجزیه لاشبرگ را ارزیابی کرد. به عبارتی اثرهای پدیده گرمایش کره زمین در فرایند تجزیه لاشبرگ و پویایی عناصر غذایی آن را می‌توان پیش‌بینی کرد. اطلاعات کمی در مورد ترکیب شیمیایی، تجزیه لاشبرگ و اثرهای آب و هوا بر فرایندهای تجزیه لاشبرگ برای گونه‌های درختی مختلف در امتداد شیب ارتفاعی، به‌ویژه برای جنگل‌های بلوط غرب که در برابر تأثیرات تغییرات جهانی آسیب‌پذیر هستند، وجود دارد. بنابراین پژوهش حاضر سعی دارد اثرهای افزایش یا کاهش درجه حرارت بر فرایند تجزیه لاشبرگ را در گرادیان‌های ارتفاعی مختلف در جنگل‌های دره‌شهر استان ایلام بررسی نماید.

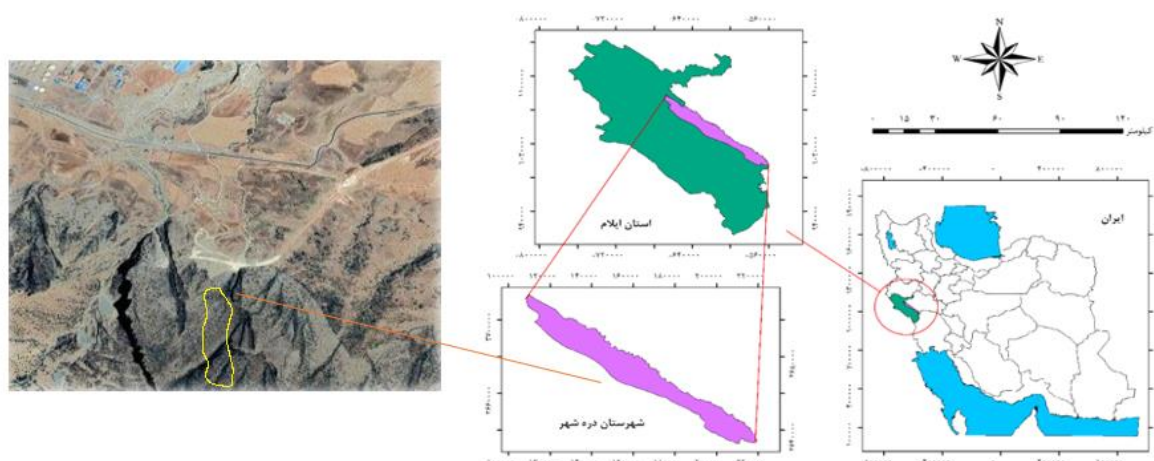
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

برای دستیابی به اهداف پژوهش جنگل‌های واقع در فاصله ۱۶ کیلومتری بخش مرکزی شهرستان دره شهر استان ایلام انتخاب شد. این جنگل‌ها بین طول‌های جغرافیایی $47^{\circ} 32' 47''$ تا $49^{\circ} 29' 44''$ و عرض‌های جغرافیایی $33^{\circ} 2' 49''$ تا $33^{\circ} 6' 28''$ قرار گرفته‌اند. منطقه مورد بررسی دارای توپوگرافی به نسبت شدید بوده

بارندگی سالیانه $426/3$ میلی‌متر و نوع اقلیم منطقه نیمه-مرطوب است. گونه‌های درختی غالب این جنگل‌ها شامل بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، داغداغان (*Celtis australis* L.) و بنه (*Pistacia atlantica* Desf) است. موقعیت منطقه موردبررسی در استان و کشور در شکل ۱ نشان داده شده است.

و در بسیاری از قسمت‌های آن بیرون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد. عمق خاک در بسیاری از قسمت‌ها، به دلیل صخره‌ای بودن، کم بوده (۷-۱۵ سانتی‌متر) و نوع بافت خاک رسی است. کمینه ارتفاع منطقه ۷۵۰ متر و شیب متوسط آن ۱۵ درصد است. بر اساس اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی شهرستان دره‌شهر متوسط دمای سالیانه منطقه $21/40$ درجه سانتی‌گراد، میانگین



شکل ۱- موقعیت منطقه موردبررسی در استان و کشور

Figure 1. Location of the investigated area in the province and country

روش تحقیق

بر اساس بازدیدهای میدانی سه طبقه ارتفاعی ۷۵۰، ۹۰۰ و ۱۰۵۰ متر انتخاب شد. در هر طبقه ارتفاعی قبل از خزان برگ‌ها مناطقی برای جمع‌آوری لاشبرگ‌های تازه پاکسازی شدند. در اواسط آبان ماه ۱۴۰۰ حدود پنج کیلوگرم لاشبرگ به تفکیک گونه‌های درختی (بلوط ایرانی، داغداغان و بنه) و طبقات ارتفاعی جمع‌آوری و در کیسه‌های نایلونی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. لاشبرگ‌ها به مدت ۲۴ ساعت در فضای آزمایشگاه خشک شدند. برای تعیین کیفیت و رطوبت اولیه لاشبرگ‌ها حدود ۱۰ گرم از لاشبرگ‌ها (به تفکیک گونه‌های درختی و تمامی طبقات) انتخاب شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون در دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. در این پژوهش برای بررسی فرایند تجزیه

لاشبرگ‌ها از روش کیسه‌لاشبرگ استفاده شد. لاشبرگ‌های جمع‌آوری شده در داخل کیسه‌لاشبرگ به ابعاد 20×20 و منافذ ۲ میلی‌متر قرار داده شدند (Berg and McClaugherty, 2020). طول دوره آزمایش ۱۸۰ روز بوده و سه دوره زمانی (۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روز) برای برداشت کیسه‌لاشبرگ‌ها انتخاب شد. با توجه به تعداد تکرارهای آزمایش (سه تکرار)، حالت‌های مختلف قرارگیری لاشبرگ‌ها در کیسه‌لاشبرگ‌ها (بلوط خالص، داغداغان خالص و بنه خالص در کیسه‌لاشبرگ‌های تک جیب، بلوط+داغداغان، بلوط+بنه، داغداغان+بلوط، داغداغان+بنه، بنه+بلوط و بنه+داغداغان در کیسه-لاشبرگ‌های دو جیب) 243 کیسه‌لاشبرگ تک جیب (۳ تکرار $3 \times$ دوره زمانی $3 \times$ تیمار خالص $3 \times$ طبقه ارتفاعی) = ۸۱ کیسه‌لاشبرگ تک جیب (۳ جیب و دو جیب ۳)

$$\text{Mass loss (\%)} = [W_0 - W_t / W_0] \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

Mass loss: مقدار وزن ازدست رفته، W_0 : وزن

خشک اولیه، W_t : وزن خشک باقی مانده بعد از جمع-

آوری لاشبرگ

تجزیه و تحلیل آماری

ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-

اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) بررسی شد.

سپس همگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Leven

موردتأیید قرار گرفت. مقایسه کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها

از طریق تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way

ANOVA) برای مقایسه‌های کلی و از طریق آزمون

دانکن برای مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت. از آنالیز

واریانس دو طرفه (Two-way ANOVA) برای بررسی

اثرهای متقابل گونه و ارتفاع از سطح دریا در تجزیه

لاشبرگ‌ها استفاده شد. تمام آزمون‌های آماری با استفاده

از نرم‌افزار آماری SPSS Ver. 22 و در سطوح معنی-

داری یک و پنج درصد انجام شد.

نتایج

کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها

نتایج حاصل از بررسی ترکیبات شیمیایی اولیه

لاشبرگ‌ها نشان داد که لاشبرگ‌های سه گونه

موردبررسی از نظر غلظت‌های منیزیم، فسفر و نیتروژن

مشابه هستند. لاشبرگ بلوط ایرانی از نظر غلظت‌های

پتاسیم و کربن و لاشبرگ داغداغان نیز از نظر غلظت

کلسیم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده‌اند. از

نظر نسبت کیفی C:N بیشترین و کمترین مقدار به

ترتیب در لاشبرگ‌های بنه و داغداغان مشاهده شد که

نشان می‌دهد لاشبرگ داغداغان نسبت به دو لاشبرگ

دیگر از کیفیت به نسبت بالاتری برخوردار است (جدول

۱).

تکرار ۳× دوره زمانی ۶× تیمار ترکیبی ۳× طبقه

ارتفاعی= ۱۶۲ کیسه لاشبرگ دو جیهه) آماده شد. کیسه-

لاشبرگ‌ها در اوایل آذر ماه ۱۴۰۰ در هر یک از طبقات

ارتفاعی موردبررسی، بعد از کنار زدن لاشبرگ‌ها در

روی خاک با استفاده از میخ‌های آهنی ۱۰ سانتی‌متری

نصب شدند. برداشت کیسه لاشبرگ‌ها در سه دوره

زمانی ۳۰ روز (دی ماه ۱۴۰۰)، ۶۰ روز (بهمن ماه

۱۴۰۰) و ۱۸۰ روز (خرداد ماه ۱۴۰۱) انجام گرفت. لازم

به توضیح است که دما و رطوبت خاک نیز در هر دوره

برداشت ثبت می‌شد. دمای خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متر

با استفاده از دماسنج دیجیتال و رطوبت نیز با استفاده از

برداشت نمونه‌های خاکی در همین عمق اندازه‌گیری

می‌شدند. لاشبرگ‌ها در هر دوره پس از انتقال به

آزمایشگاه، پاک شدند و در آون ۶۵ درجه سانتی‌گراد

به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. در مرحله بعد

لاشبرگ‌ها با استفاده از آسیاب خرد شده و در نهایت

آنالیزهای شیمیایی در سه تکرار برای تعیین کیفیت اولیه

لاشبرگ‌ها با سنجش عناصر غذایی لاشبرگ‌ها نظیر

نیتروژن، کربن، فسفر، کلسیم، پتاسیم و منیزیم انجام

گرفت. سنجش نیتروژن لاشبرگ‌ها با استفاده از روش

کجلدال و تعیین درصد کربن آلی نیز با استفاده از روش

احتراق انجام گرفت. برای سنجش عناصر پتاسیم، فسفر،

کلسیم و منیزیم عصاره گیاهی با استفاده از

اسیدکلریدریک تهیه شد. اندازه‌گیری پتاسیم با استفاده

از دستگاه فلیم فتومتر، سنجش فسفر با روش

اسپکتروفتومتری و در طول موج ۴۳۰ نانومتر انجام

گرفت. اندازه‌گیری کلسیم و منیزیم لاشبرگ‌ها نیز با

استفاده از روش طیف‌سنج اتمی و دستگاه طیف‌سنج

اتمی انجام شد. لازم به ذکر است برای محاسبه مقدار

وزن (ماده آلی) ازدست رفته لاشبرگ‌ها از رابطه ۱

استفاده شد:

جدول ۱- ترکیب شیمیایی اولیه لاشبرگ گونه‌های موردبررسی (اشتباه معیار $\pm$ میانگین) (میلی گرم بر گرم)

Table 1. The initially chemical composition of the leaf litters of the studied species (standard error $\pm$ mean) (mg/g)

بنه <i>Pistacia atlantica</i>	داغداغان <i>Celtis australis</i>	بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>	عناصر غذایی Nutrients
16.24 $\pm$ 0.63 ^a	16.82 $\pm$ 0.98 ^a	17.08 $\pm$ 0.71 ^a	منیزیم Magnesium
29.93 $\pm$ 1.54 ^b	26.82 $\pm$ 0.83 ^a	32.09 $\pm$ 1.23 ^a	پتاسیم Potassium
10.01 $\pm$ 0.97 ^b	14.92 $\pm$ 0.82 ^a	7.98 $\pm$ 0.87 ^c	کلسیم Calcium
11.76 $\pm$ 0.88 ^a	11.95 $\pm$ 0.80 ^a	11.81 $\pm$ 1.43 ^a	فسفر Phosphorus
11.15 $\pm$ 0.88 ^a	11.82 $\pm$ 0.28 ^a	12.71 $\pm$ 0.76 ^a	نیتروژن Nitrogen
374.45 $\pm$ 4.52 ^b	345.97 $\pm$ 0.67 ^c	397.33 $\pm$ 4.37 ^a	کربن Carbon
33.58 $\pm$ 0.32 ^b	29.27 $\pm$ 0.82 ^c	31.26 $\pm$ 1.21 ^a	نسبت کربن به نیتروژن C:N ratio

اعداد در هر سطر با حروف متفاوت نشان دهنده اختلاف معنی دار است.

Numbers in each row with different letters indicate significant differences.

میانگین دما و رطوبت خاک در طبقات ارتفاعی

در جدول ۲ میانگین دما و رطوبت خاک در سه طبقه ارتفاعی موردبررسی در دوره‌های زمانی ۳۰، ۶۰ و ۱۸۰ روزه آورده شده است.

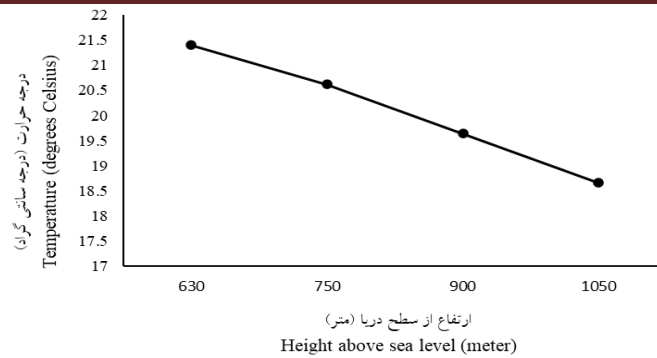
جدول ۲- میانگین دما و رطوبت خاک در تیمارهای موردبررسی

Table 2. The average temperature and moisture of the soil in the studied treatments

دوره زمانی Incubation time						طبقه ارتفاعی (متر) Height class (m)
180	60	30				
دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	دما (درجه) Temperature (°C)	رطوبت (درصد) Moisture (%)	
24.5	44	12.3	74	15.7	73	750
25.3	47.3	11.1	77	14.5	79	900
23.5	48.3	10.5	75	14.3	74	1050

دریای ایستگاه سینوپتیک شهرستان دره شهر (۶۳۰ متر) به طور تقریبی میانگین دما در هریک از طبقات موردبررسی به دست آمد (شکل ۲).

میانگین دمای سالیانه طبقات ارتفاعی موردبررسی با فرض کاهش ۰/۶۵ درجه سانتی گراد به ازای افزایش هر ۱۰۰ متر در ارتفاع و با در نظر گرفتن ارتفاع از سطح



شکل ۲- میانگین درجه حرارت سالیانه در هریک از طبقات ارتفاعی

Figure 2. The average annual temperature in each of the altitudinal gradient

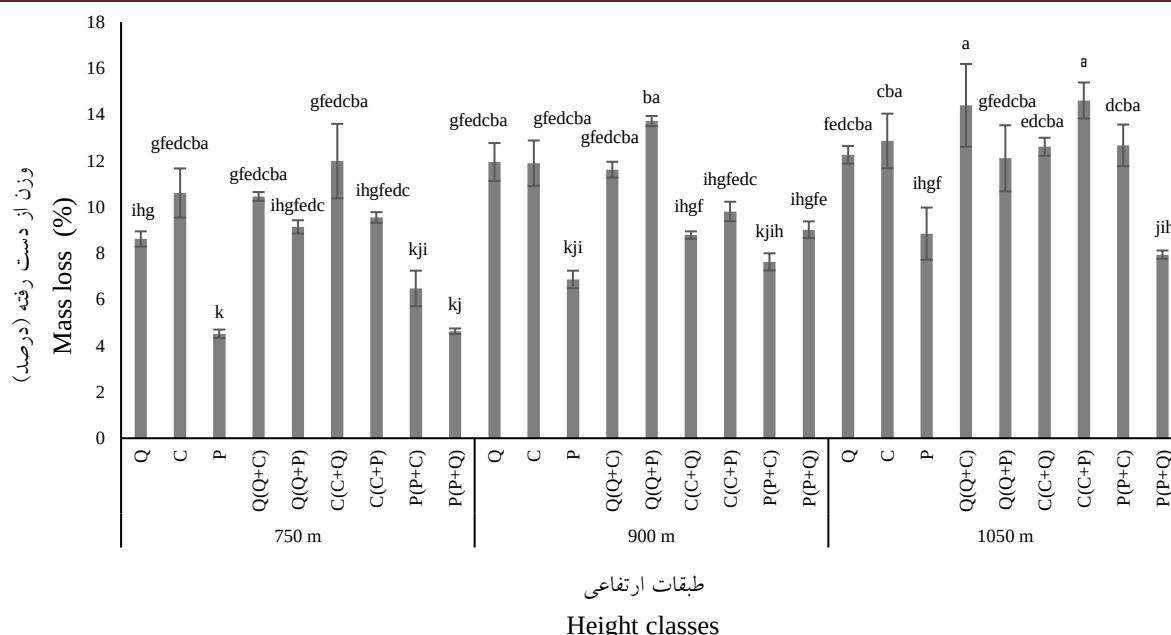
بلوط ایرانی (بلوط ایرانی+داغداغان) به ترتیب ۱۴/۶۱ و ۱۴/۴۰ درصد در ارتفاع ۱۰۵۰ متر است. بر اساس یافته‌های تحقیق کمترین مقدار وزن ازدست رفته بعد از گذشت ۳۰ روز در تیمار بنه خالص به مقدار ۴/۵۲ درصد در ارتفاع ۷۵۰ متر بوده است. در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که بعد از گذشت ۳۰ روز از زمان انکوباسیون، با افزایش ارتفاع از سطح دریا مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) نیز افزایش می‌یابد (شکل ۳).

مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در انکوباسیون ۳۰ روزه نتایج حاصل از تجزیه واریانس دوطرفه نشان می‌دهد که اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع بر مقدار وزن ازدست رفته در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار بوده در حالی که اثر نوع لاشبرگ و ارتفاع از سطح دریا به تنهایی اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داده‌اند (جدول ۳). همان‌طور که نتایج مقایسه میانگین تیمارها نشان می‌دهد بیشترین مقدار وزن ازدست رفته متعلق به تیمارهای ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) و

جدول ۳- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در طبقات مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۳۰ روز

Table 3. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 30 days

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.000	25.732	87.107	2	174.215	ارتفاع Height
0.000	11.208	37.942	8	303.536	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.022	2.098	7.102	16	113.635	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		3.385	54	182.800	خطا Error
			81	92.15.100	کل Total



شکل ۳- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (اشتباه معیار $\pm$ میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۳۰ روز. (بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+Q)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C)).

Figure 3. The amount of mass loss from leaf litters (standard error $\pm$ average) at different altitude levels in a period of 30 days. *Quercus brantii* = Q, *Celtis australis* = C, *Pistacia atlantica* = P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) = P(P+C).

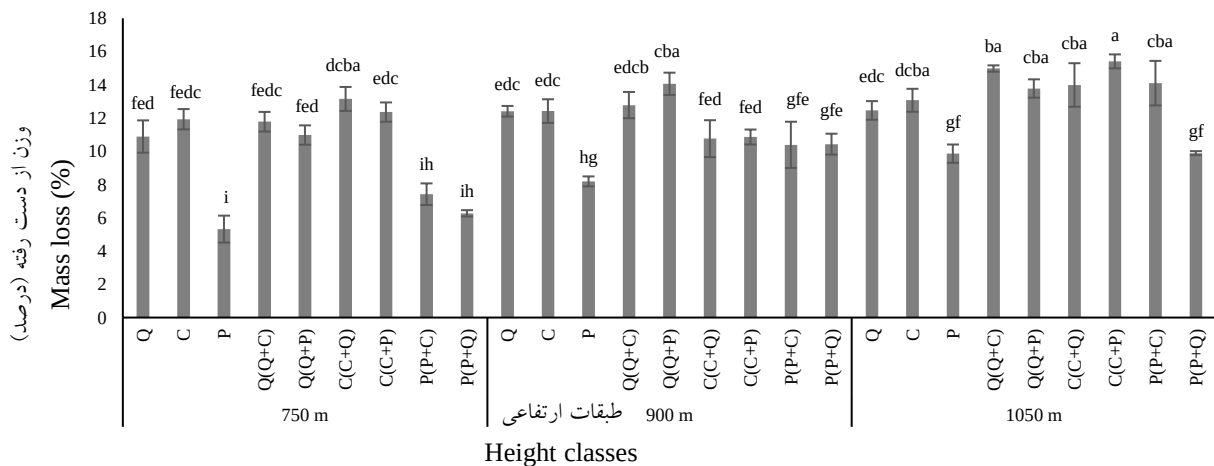
۴). مطابق با نتایج به دست آمده، بیشترین وزن ازدست رفته بعد از گذشت ۶۰ روز در تیمار ترکیبی داغداغان (بنه+داغداغان) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر و کمترین آن در تیمار بنه خالص در ارتفاع ۷۵۰ متر به ترتیب با ۱۵/۴۱ و ۵/۳۱ درصد مشاهده شد (شکل ۴).

مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در انکوباسیون ۶۰ روزه بر اساس آزمون آنالیز واریانس دوطرفه، اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع، نوع لاشبرگ و همچنین ارتفاع از سطح دریا اثرهای معنی داری را بر مقدار وزن ازدست رفته در سطح احتمال یک درصد نشان می‌دهند (جدول

جدول ۴- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در طبقات مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۶۰ روز

Table 4. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 60 days

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.000	38.54889	62.98704	2	125.9741	ارتفاع Height
0.000	21.11655	34.50342	8	276.0274	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.000	3.55465	5.808127	16	92.93003	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		1.633952	54	88.2334	خطا Error
			81	11255.89	کل Total



شکل ۴- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (اشتباه معیار $\pm$ میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۶۰ روز
(بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، داغداغان (داغداغان + بلوط ایرانی) = C(C+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C))

Figure 4. The amount of mass loss from leaf litters (standard error $\pm$ average) at different altitude levels in a period of 60 days.

(*Quercus brantii* = Q, *Celtis australis* = C, *Pistacia atlantica* = P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis* + *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) = P(P+C))

لاشبرگ‌ها و اثر متقابل نوع لاشبرگ و ارتفاع اثرهای معنی‌داری را بر مقدار وزن ازدست رفته به‌ترتیب در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد (جدول ۵). مطابق با نتایج به‌دست آمده بیشترین مقدار وزن ازدست رفته

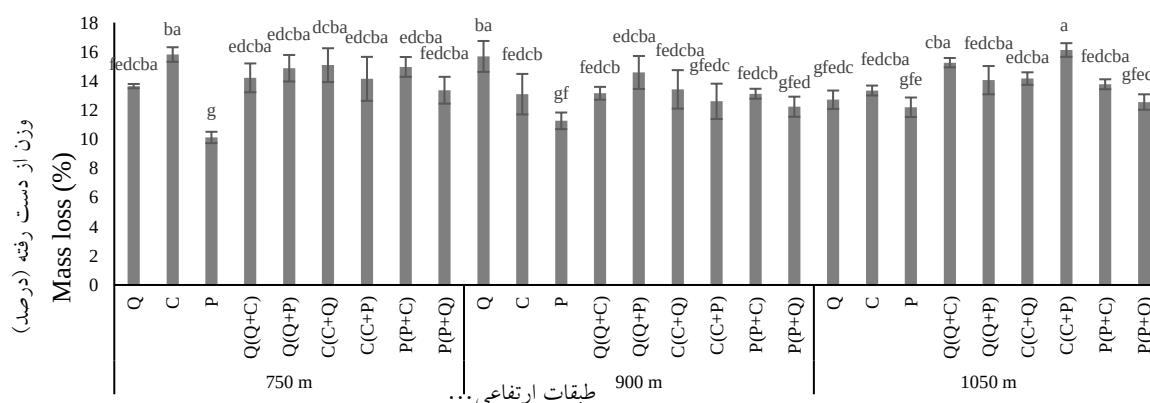
مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها در انکوباسیون ۱۸۰ روزه نتایج حاصل از تجزیه واریانس دوطرفه نشان می‌دهد که در پایان انکوباسیون ۱۸۰ روزه لاشبرگ‌ها فقط نوع

متعلق به تیمار ترکیبی داغداغان (داغداغان+بنه) در ارتفاع ۱۰۵۰ متر (۱۶/۱۲ درصد) و کمترین آن نیز متعلق به لاشبرگ خالص بنه در ارتفاع ۷۵۰ متر (۱۰/۱۲ درصد) است. در کل بر اساس یافته‌های تحقیق مشخص شد که بعد از گذشت ۱۸۰ روز از زمان انکوباسیون، افزایش ارتفاع از سطح دریا، برخلاف دوره‌های ۳۰ و ۶۰ روزه، به تنهایی تاثیر معنی‌داری بر مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها (در هر دو حالت خالص و ترکیبی) نداشته است (شکل ۵).

جدول ۵- آنالیز واریانس دوطرفه وزن ازدست رفته لاشبرگها در طبقات مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۱۸۰ روز

Table 5. Two-way analysis of variance of the mass loss in the leaf litters in different altitude classes in a period of 180 days.

P-value	F-value	میانگین مربعات Mean square	درجه آزادی Degrees of freedom	مجموع مربعات Sum of Squares	منابع تغییرات Source
0.148	1.978	4.096	2	8.192	ارتفاع Height
0.000	4.915	10.177	8	81.417	نوع لاشبرگ Leaf litter type
0.047	1.858	3.848	16	61.570	ارتفاع × نوع لاشبرگ Height × Leaf litter type
		2.071	54	111.816	خطا Error
			81	15404.025	کل Total



شکل ۵- مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگها (اشتباه معیار $\pm$ میانگین) در سطوح مختلف ارتفاعی در دوره زمانی ۱۸۰ روز (بلوط ایرانی = Q، داغداغان = C، بنه = P، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + داغداغان) = Q(Q+C)، بلوط ایرانی (بلوط ایرانی + بنه) = Q(Q+P)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+Q)، داغداغان (داغداغان + بنه) = C(C+P)، بنه (بنه + بلوط ایرانی) = P(P+Q)، بنه (بنه + داغداغان) = P(P+C)).

Figure 5. The amount of mass loss from leaf litters (standard error $\pm$ average) at different altitude levels in a period of 180 days

(*Quercus brantii*= Q, *Celtis australis*= C, *Pistacia atlantica*= P, *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) = Q(Q+C), *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Pistacia atlantica*) = Q(Q+P), *Celtis australis* (*Celtis australis*+ *Quercus brantii*) = C(C+Q), *Celtis australis* (*Celtis australis*+ *Pistacia atlantica*) = C(C+P), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica*+ *Quercus brantii*) = P(P+Q), *Pistacia atlantica* (*Pistacia atlantica*+ *Celtis australis*) = P(P+C))

بحث

با توجه به اینکه در حالت طبیعی در جنگل لاشبرگ چند گونه در کنار همدیگر تجزیه می‌شوند؛ از این رو در پژوهش حاضر این مسئله در نظر گرفته شد تا اثرهای گردایان‌های مختلف ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در هردو حالت خالص و ترکیبی سنجیده شود. برای توصیف نرخ تجزیه لاشبرگ رویکردهای مختلفی وجود دارد: یکی از این رویکردها استفاده از شاخص‌های شیمیایی لاشبرگ نظیر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، نسبت کیفی C:N و غیره است. در این بررسی نیز از این رویکرد استفاده شد. ارزیابی کیفیت اولیه لاشبرگ‌ها نشان داد که لاشبرگ داغداغان در مقایسه با لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه از کیفیت به نسبت بالایی برخوردار است. نسبت کیفی C:N به عنوان بهترین پیش‌بینی‌کننده نرخ تجزیه لاشبرگ در سال اول فرایند تجزیه استفاده می‌شود (Bohara et al., 2020; Zhang et al., 2021). با توجه به پایین بودن این نسبت در لاشبرگ داغداغان مقدار وزن ازدست رفته این لاشبرگ در مقایسه با لاشبرگ‌های بلوط ایرانی و بنه بیشتر بود. با توجه به کیفیت پایین لاشبرگ بنه مقدار حساسیت آن در برابر تغییرات درجه حرارت بیشتر بوده و موافق با نظر Faber et al. (2018) طول دوره تجزیه آن زمان‌بر خواهد بود؛ به‌طوری‌که در پایان دوره بررسی مشاهده شد که این لاشبرگ کمترین مقدار تجزیه (۱۰/۱۲ درصد) را به خود اختصاص داده است. اثر افزایش درجه حرارت، به واسطه افزایش جمعیت میکروبی خاک، بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها متأثر از کیفیت لاشبرگ‌هاست (Faber et al., 2018). بنابراین نقش و اهمیت کیفیت لاشبرگ‌ها در نرخ ازدست‌دهی وزن انکارناپذیر است. هرچند پژوهش‌های اخیر نیز نشان داده‌اند که اثرهای کیفیت لاشبرگ در مقدار وزن ازدست رفته و پویایی عناصر غذایی لاشبرگ‌ها نسبت به تغییرات اقلیمی بیشتر

است (Zhou et al., 2020). در منطقه موردبررسی تفاوت بین درجه حرارت طبقه‌های ارتفاعی، از ۷۵۰ متر تا ۱۰۵۰ متر، در حدود دو درجه سانتی‌گراد است که این مقدار تفاوت می‌تواند در نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها اثرگذار باشد. اما در این پژوهش برخلاف نتایج Izadi et al. (2022) و Faber et al. (2018) این مسئله اتفاق نیفتاد. به‌طوری‌که تا ۶۰ روز اول انکوباسیون مقدار وزن ازدست رفته لاشبرگ‌ها (در هردو حالت خالص و ترکیبی) در طبقه ارتفاعی ۱۰۵۰ متر بیشتر از طبقات ارتفاعی پایین بود. اما در انتهای دوره انکوباسیون در طبقه ارتفاعی پایین مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها (در هردو حالت خالص و ترکیبی) افزایش زیادی نشان داد. بنابراین انتظار می‌رود که با افزایش زمان انکوباسیون اثرهای درجه حرارت بر مقدار وزن ازدست رفته بیشتر آشکار شود. در مرحله اول تجزیه (کمتر از یک سال) کیفیت شیمیایی لاشبرگ‌ها (مخصوصاً غلظت نیتروژن و نسبت کیفی C:N) تأثیرگذار بوده و بعد از گذشت یک سال، در طول مرحله آخر فرایند تجزیه، نقش اقلیم پررنگ‌تر می‌شود (Berg and McClaugherty, 2020). افزایش درجه حرارت محیط به دلیل تأثیری که در افزایش فعالیت جوامع میکروبی و به تبع آن در افزایش کیفیت لاشبرگ دارد (Zhang et al., 2008) در بیشتر موارد منجر به افزایش نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها می‌شود (Kirwan and Blum, 2011). بر اساس نتایج Petraglia et al., 2019 نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها با کاهش مقدار رطوبت خاک کمتر می‌شود و اثر متقابل رطوبت و دمای خاک اثرهای معنی‌داری بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها دارد. در منطقه موردبررسی با اندازه‌گیری دما و رطوبت خاک در سه طبقه ارتفاعی مشخص شد که دمای خاک در سه طبقه ارتفاعی تقریباً برابر و نزدیک به هم بوده ولی رطوبت خاک با افزایش ارتفاع از سطح دریا افزایش یافت (جدول ۲). دما و رطوبت قابل

می‌دهند. در این پژوهش نیز در مرحله اول فرایند تجزیه ارتفاع از سطح دریا از عوامل تاثیرگذار بوده است. باور پژوهشگران بر این است که در یک شرایط مشابه از نظر پوشش گیاهی و سنگ بستر، ارتفاع از سطح دریا می‌تواند حضور شکل‌های مختلف هوموس و مشخصات شیمیایی آنها را کنترل نماید (Berg and McClaugherty, 2020).

در کل نتایج این پژوهش نشان داد که در طول مدت زمان انکوباسیون با افزایش ارتفاع از سطح دریا و در نتیجه کاهش درجه حرارت محیط نرخ از دست‌دهی مواد آلی لاشبرگ‌ها نه تنها کاهش نیافته بلکه افزایش معنی‌داری (مخصوصاً در دو ماه اول انکوباسیون) نسبت به طبقات ارتفاعی پایین داشت. با توجه به محدودیت زمانی در انجام این پژوهش و همچنین متغیر بودن شرایط اثرگذار بر فرایند در طی مرحله اول تجزیه که منجر به حصول نتایج متفاوت در پایان دوره انکوباسیون (در مقایسه با دوره‌های زمانی ۳۰ و ۶۰ روز) شده است، پیشنهاد می‌شود این بررسی در دوره زمانی بیش از یک سال (مرحله آخر فرایند تجزیه) انجام شود. بدون شک نتایج چنین بررسی‌هایی می‌تواند به‌خوبی اثر گردادیان-های مختلف ارتفاعی بر نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها را نمایان سازد.

References

- Berg, B.; McClaugherty, C. Plant litter: Decomposition, Humus Formation, Carbon Sequestration. 4th ed.; Springer Nature: Cham, Switzerland, **2020**; p 332.
- Berger, T.W.; Duboc, O.; Djukic, I.; Tatzber, M.; Gerzabek, M.H.; Zehetner, F., Decomposition of beech (*Fagus sylvatica*) and pine (*Pinus nigra*) litter along an Alpine elevation gradient: Decay and nutrient release. *Geoderma* **2015**, 251-252, 92-104.
- Bohara, M.; Yadav, R.K.P.; Dong, W.; Cao, J.; Hu, C., Nutrient and Isotopic Dynamics of Litter Decomposition from Different Land Uses in Naturally Restoring Taihang

دسترس، مهم‌ترین عوامل محیطی در میان عوامل اقلیمی هستند که تاثیر زیادی در فرایند تجزیه دارند (Berg and McClaugherty, 2020). همان‌طوری‌که پیشتر بیان شد در طول ۶۰ روز اول انکوباسیون نرخ تجزیه لاشبرگ‌ها در طبقه ارتفاعی ۱۰۵۰ متر نسبت به طبقه ۷۵۰ متر بیشتر بود. موافق با نتایج Risch et al. (2007) همیشه افزایش درجه حرارت منجر به افزایش کیفیت لاشبرگ و در نتیجه افزایش نرخ تجزیه نمی‌شود. در منطقه موردپژوهش بیشتر بارش‌ها در ارتفاعات بالا رخ می‌دهد و با توجه به گرمسیری بودن منطقه مقدار تجزیه لاشبرگ‌ها، به‌ویژه در زمان وقوع نزولات آسمانی (در زمان انکوباسیون ۳۰ و ۶۰ روز) در ارتفاعات بالا بیشتر بوده و به‌آرامی با نزدیک‌شدن به انتهای انکوباسیون (خرداد ماه) از مقدار نرخ تجزیه در ارتفاعات بالا کاسته می‌شود. افزایش تاج‌بارش، از طریق کاهش پلی‌فنول‌ها طی فرایند آبشویی، موجب افزایش کیفیت لاشبرگ‌ها و خوش خوراکی آنها برای خرده‌ریزه‌خواران و تجزیه-کنندگان می‌شود (Salamanca et al., 2003). به نظر می‌رسد با افزایش رطوبت خاک و محیط اطراف لاشبرگ‌ها شرایط مناسب‌تری برای تجزیه آنها فراهم می‌شود (Izadi et al., 2022). ویژگی‌های پستی و بلندی مانند ارتفاع از سطح دریا، شیب و جهت از عواملی هستند که آب قابل دسترس را تحت‌تاثیر قرار

- Mountain, North China. *Sustainability* **2019**, 11, 1752.
- Bohara, M.; Acharya, K.; Perveen, S.; Manevski, K.; Hu, C.; Yadav, R.K.P.; Shrestha, K.; Li, X., In situ litter decomposition and nutrient release from forest trees along an elevation gradient in Central Himalaya. *Catea* **2020**, 194, 104698
- Cotrufo, M.F.; Wallenstein, M.D.; Boot, C.M.; Denef, K.; Paul, E., The Microbial Efficiency-Matrix Stabilization (MEMS) framework integrates plant litter decomposition with soil organic matter stabilization: do labile plant inputs form

- stable soil organic matter? *Global Change Biology* **2013**, 19, 988-995.
- Dinakaran, J.; Chandra, A.; Chamoli, K.P.; Deka, J.; Rao, K.S., Soil organic carbon stabilization changes with an altitude gradient of land cover types in central Himalaya, India. *Catea* **2018**, 170, 374-385.
- Faber, J.; Quadros, A.F.; Zimmer, M., A Space-For-Time approach to study the effects of increasing temperature on leaf litter decomposition under natural conditions. *Soil Biology and Biochemistry* **2018**, 123, 250-256.
- Gavazov, K.; Mills, R.; Spiegelberger, T.; Lenglet, J.; Buttler, A., Biotic and Abiotic Constraints on the Decomposition of *Fagus sylvatica* Leaf Litter Along an Altitudinal Gradient in Contrasting Land-Use Types. *Ecosystems* **2014**, 17, 1326-1337.
- Hättenschwiler, S.; Bretscher, D., Isopod effects on decomposition of litter produced under elevated CO₂, N deposition and different soil types. *Global Change Biology* **2001**, 7, 565-579.
- Izadi, M.; Habashi, H.; Shayanmehr, M.; Rahmani, R.; Rafiee, F., Effect of simulation of throughfall exclusion and increasing ambient temperature on the litter decomposition rate of hornbeam and chestnut-leaved oak species. *Forest Research and Development* **2022**, 8 (1), 1-11. (In Persian).
- Kara, O.; Bolat, I.; Cakiroglu, K.; Senturk, M., Litter decomposition and microbial biomass in temperate forests in Northwestern Turkey. *Journal of Soil Science and Plant Nutrient* **2014**, 14 (1), 31-41.
- Kianmehr, A.; Hojjati, S.M.; Koch, Y.; Ghasemi Aghbash, F., Effect of canopy composition on litterfall rate, respiration and some Soil properties in pure and mixed stands of beech and hornbeam. *Forest Research and Development* **2019**, 5 (3), 373-386. (In Persian).
- Kirwan, M.L.; Blum, L.K., Enhanced decomposition offsets enhanced productivity and soil carbon accumulation in coastal wetlands responding to climate change. *Biogeosciences* **2011**, 8 (4), 987-993.
- Krishna, M.P.; Mohan, M., Litter decomposition in forest ecosystems: a review. *Energy, Ecology and Environment* **2017**, 2 (4), 236-249.
- Moslehi, M.; Habashi, H.; Rahmani, R.; Saghebtalebi, Kh., Relationship between soil organic carbon pool and some site variables in the mixed beech-hornbeam stand. *Forest Research and Development* **2018**, 3 (4): 329-342. (In Persian).
- Patoine, G.; Thakur, M.P.; Frieze, J.; Nock, C.; Honing, L.; Haase, J.; Scherer-Lorenzen, M.; Eisenhauer, N., Plant litter functional diversity effects on litter mass loss depend on the macro-detritivore community. *Pedobiologia* **2017**, 65, 29-42.
- Paudel, E.; Dossa, G.G.o.; de Ble'court, M.; Beckscha'fer, P.; Xu, J.; Harrison, R.D., Quantifying the factors affecting leaf litter decomposition across a tropical forest disturbance gradient. *Ecosphere* **2015**, 6 (12), 1-20.
- Petraglia, A.; Cacciatori, C.; Chelli, S., Litter decomposition: effects of temperature driven by soil moisture and vegetation type. *Plant Soil* **2019**, 435, 187-200.
- Risch, A.C.; Jurgensen, M.F.; Frank, D.A., Effects of grazing and soil micro-climate on decomposition rates in a spatio-temporally heterogeneous grassland. *Plant and Soil* **2007**, 298, 191-201.
- Rouified, S.; Handa, I.T.; David, J.F.; Hättenschwiler, S., The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia* **2010**, 163, 247-256.
- Salamanca, E. F.; Kaneko, N.; Katagiri, S., Rainfall manipulation effects on litter decomposition and the microbial biomass of the forest floor. *Applied Soil Ecology* **2003**, 22 (3), 271-281.
- Vesterdal, L.; Schmidt, I.K.; Callesen, I.; Nilsson, L.O.; Gundersen, P., Carbon and nitrogen in forest floor and mineral soil under six common European tree species. *Forest Ecology and Management* **2008**, 255, 35-48.
- Zhang, Y.; Penning, S.C.; Liu, Z.; Li, B.; Wu, J., Consistent pattern of higher lability of leaves from high latitudes for both native *Phragmites australis* and exotic *Spartina alterniflora*. *Functional Ecology* **2021**, 39 (9), 2084-2093.
- Zhang, D.; Hui, D.; Luo, Y.; Zhou, G., Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *Journal of Plant Ecology* **2008**, 1, 85-93.
- Zhou, S.; Butenschoen, O.; Barantal, S.; Handa, I.T.; Makkonen, M.; Vos, V.; Aerts, R.; Berg, M.P.; McKie, B.; Van Ruijven, J.; Hättenschwiler, S.; Scheu, S., Decomposition of leaf litter mixtures across biomes: The role

- of litter identity, diversity and soil fauna. *Journal of Ecology* **2020**, *108*, 2283-2297.
- Zhu, J.X.; Hu, X.Y.; Yao, H.; Liu, G.H.; Ji, C.J.; Fang, J.Y., A significant carbon sink in temperate forests in Beijing: based on 20-year field measurements in three stands. *Science China Life Sciences* **2015**, *58*, 1135-1141.

Evaluation of the Space-For-Time approach to study of the effects of temperature increasing on the leaf litter decomposition

Sanaz Ramezani¹ and Farhad Ghasemi Aghbash^{*2}

1- MSc. Student of Forestry, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (sanaz.ramezani73@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (ghasemifarhad@yahoo.com)

Received: 09 August 2023 Accepted: 05 November 2023

Abstract

Background and objectives: In forest ecosystems, the decomposition of leaf litter is one of the most important ways of entering nutrients into the soil, and the availability of soil nutrients is largely due to the dynamics of nutrients and leaf litter decomposition in the forest. Decomposition of dead leaves enables important ecological functions and affects the composition of the internal nutrients of trees. Decomposition processes influence the formation of soil organic carbon stocks. It is necessary to understand how climate change and global warming affect the decomposition process and thus the amount of carbon stored in the soil. The space-for-time (SFT) approach makes it possible to compare litter decomposition in current conditions and at different altitude levels, and to investigate the effects of increased temperature on litter decomposition. The present research was conducted with the aim of investigating the effects of increasing or decreasing temperature on the decomposition rate of leaf litters in pure and mixed states.

Methodology: In the present research, by using the space-for-time approach, the decomposition rate of leaf litters (in two pure and mixed states) in three tree species (*Quercus brantii*, *Celtis australis* and *Pistacia atlantica*) was carried out in three altitude classes of 750, 900 and 1050 meters in the forests of Dareh Shahr. The forests of this region have relatively severe topography and have mountains and hills with steep and smooth slopes, and there are rocky outcrops in many parts of it. The average height of the area is 1200 meters and the average slope is 15%. The average annual temperature is 21.40°C and the average annual precipitation in this region is 426.3 mm. The climate type of the studied area is semi-humid. To achieve the objectives of the research, the leaf litter of the studied species were randomly and manually collected from the forest floor in the fall season of 2020. After preparing litter bags, a number of 243 single-pocket and double-pocket litter bags were installed on the mineral soil at the litter collection sites and during 180 days with intervals of 30, 60 and 180 days and the decomposition rate of the leaf litters were measured. In order to measure the decomposition rate of the leaf litters, the primary and secondary weight of the leaf litter was recorded and the weight loss of the leaf litter was calculated through the weight relationships. To determine the initial quality of leaf litters, the nutritional elements of leaf litters such as nitrogen, carbon, phosphorus, calcium, potassium and magnesium were measured.

Results: Based on the results, it was found that the studied leaf litters are similar in terms of magnesium, phosphorus and nitrogen concentrations. *Quercus brantii* leaf litters had the highest amount in terms of potassium and carbon concentrations. Also, *Celtis australis* leaf litters had the highest amount in terms of calcium concentration. The quality ratio of C:N in *Celtis australis* litter was low, this issue shows the high quality of this leaf litter. The results showed that in the studied time periods, litter type, height above sea level (except for the period of 180 days) and the interaction effects of litter type and height had significant effects on decomposition rate, so that increasing the altitude above sea level has led to further decomposition process. Based on the findings of the research, it was found that in the period of 30 days, the highest amount of decomposition related to the combined treatments of *Celtis australis* (*Celtis australis*+*Pistacia atlantica*) and *Quercus brantii* (*Quercus brantii* + *Celtis australis*) (14.61% and 14.40% respectively) at the height of 1050 meters and the lowest was related to the treatment of

* Corresponding author

Tel: +989122379717

Pistacia atlantica (4.52%) at the height of 750 meters. In the period of 60 days, the highest amount of decomposition rate was observed in the combined treatment of *Celtis australis* (*Pistacia atlantica* + *Celtis australis*) at the height of 1050 meters (15.41%) and the lowest amount of mass loss was observed in the treatment of *Pistacia atlantica* at the height of 750 meters (5.31%). Also, at the end of the incubation period, the highest amount of decomposition rate belongs to the combined treatment of *Celtis australis* (*Celtis australis*+*Pistacia atlantica*) at the height of 1050 meters (16.12%) and the lowest is related to the pure leaf litter of *Pistacia atlantica* at the height of 750 meters (10.12%).

Conclusion: In general, based on the findings of this research, with the increase in altitude above the sea level, the rate of mass loss not only did not decrease, but also increased significantly (especially in the first two months of incubation) compared to the lower altitude classes. Also, at the end of the study period, only the interaction of height and type of litter was able to affect the amount of decomposition of litter.

Keywords: Altitudinal gradient, litterbag, Mass loss, Temperature, Zagros forests.