

پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل با استفاده از مدل تبدیل زمین (LTM) در جنگل‌های زاگرس شمالی

هادی بیگی حیدرلو^۱، عباس بانج شفیع^{۲*}، مهدی عرفانیان^۳، امین طیبی^۴ و احمد علیجانپور^۵

۱- دکتری علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (hadibeygi@gmail.com)

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

۳- دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (m.erfaniyan@urmia.ac.ir)

۴- پژوهشگر اطلاعات جغرافیایی، شرکت ESRI، ایالات متحده. (amin.tayyebi@gmail.com)

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

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۰۸

چکیده

الگوی تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف زمانی و مکانی به صورت غیرخطی است. از این رو برای پیش‌بینی اثرات بالقوه و منفی این تغییرات بر خدمات اکوسیستمی جنگل‌ها در آینده نیاز به ابزارهای غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی است. در این پژوهش برای پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی شهرستان سردشت برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده از مدل تبدیل زمین یا LTM که یک مدل مبتنی بر شبکه‌های عصبی مصنوعی و GIS است استفاده شد. بدین منظور سه سناریوی مختلف شامل دوره‌های زمانی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۷۶-۱۳۹۶ و ۱۳۸۶-۱۳۹۶ استفاده شد و جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی سردشت با استفاده از ۱۴ متغیر مختلف برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد طی ۲۰ سال دوره زمانی موردبررسی (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶) با وجود ۲۳۷۳/۵۷ هکتار بازیابی جنگل‌های سردشت، ۱۰۳۱۴/۶۳ هکتار جنگل‌زدایی رخ داده است. مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل توسط هر سه سناریو با مقدار ROC بالای ۰/۸ برای همه مدل‌ها نشان‌دهنده افزایش قطعی جنگل‌زدایی در سردشت طی سه دهه آینده بوده است، به طوری که بر اساس سناریوی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، پیش‌بینی شد ۲۲۲۹۶/۲۴ هکتار از جنگل‌های منطقه طی ۳۰ سال آینده تخریب خواهد شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای برنامه‌ریزی‌های حفاظتی صحیح و افزایش برنامه‌های نظارتی در مناطق با پتانسیل تخریبی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بازیابی جنگل، جنگل‌زدایی، سردشت، مدل تبدیل زمین (LTM)، مدل‌سازی.

مقدمه

کاربری اراضی در آینده در بسیاری از نقاط دنیا به کار گرفته شده است (Newman et al., 2016; Pijanowski et al., 2014). مدل مبتنی بر GIS بوده و به عنوان یکی از مدل‌های دقیق تغییرات کاربری و پوشش اراضی مبتنی بر ANN، برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی محبوبیت زیادی داشته است (Newman et al., 2016). این مدل برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی، شبکه عصبی مصنوعی مولتی پرسپترون چندلایه یا MLP (multi-layer perceptron) و GIS را با استفاده از عوامل اقتصادی-اجتماعی و زیستی به یکدیگر مرتبط می‌کند (Pijanowski et al., 2002). MLP از یک الگوریتم یادگیری نظارت‌شده استفاده می‌کند که عملکرد بین داده‌های ورودی و خروجی را بدون آگاهی از شکل عملکردی آنها تخمین می‌زند (Tayyebi et al., 2011; Tayyebi et al., 2014).

(Pijanowski et al., 2001) از مدل LTM برای پیش‌بینی تغییرات شهری و بررسی تأثیر تبعات ناشی از تغییرات آینده شهری برای سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ در شرق دریاچه میشیگان استفاده کردند و نشان دادند دو منطقه Black-Macatawa و Lower Grand بیشترین تغییرات شهری را طی ۲۰ و ۴۰ سال آینده تجربه خواهند کرد. این تغییرات بیشترین تأثیر را بر ظرفیت هیدرولوژیکی این مناطق خواهد داشت که ممکن است سبب کاهش مقدار نیتروژن در دسترس و در نتیجه از دست رفتن مقدار قابل توجهی از زمین‌های کشاورزی اولیه و کاهش پوشش جنگل در این مناطق شود. (Newman et al., 2016) نیز در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی مناطق رها شده کارایی بالای مدل LTM را برای تصمیم‌گیری‌های پیشگیرانه و تنظیم روند این مناطق در آینده نشان دادند. (Tayyebi et al., 2014) مدل LTM را با دو مدل غیر پارامتریک CART و

تغییر در کاربری و پوشش اراضی نتیجه اثرات پیچیده عوامل مختلفی مانند فعالیت‌های انسانی، بهره‌برداری منابع، فعالیت‌های کشاورزی، سیاست‌ها، مدیریت، آشفته‌گی‌های اقتصادی-اجتماعی و محیط‌زیست است (Pijanowski et al., 2002; Hostert et al., 2001, Beygi Heidarlou et al., 2020a; Mahmoudi et al., 2021). این تغییرات سریع و آهسته رخ می‌دهند و نتیجه تبدیل اراضی طبیعی از جمله جنگل‌ها به کاربری‌هایی مانند کشاورزی، مسکونی، صنعتی و غیره است (Houet et al., 2010). فهم چگونگی و چرایی تغییرات کاربری و پوشش اراضی بسیار مهم است، چراکه به واسطه آن بر محیط‌زیست و کارکردهای آن، افزایش فرسایش، رواناب و انتشار CO₂، تغییرات اقلیمی و کاهش تنوع زیستی تأثیرات منفی داشته است (Gessesse et al., 2015). تغییر کاربری اراضی یک فرایند پیچیده بوده و مدل‌سازی این سیستم‌ها همواره چالش‌برانگیز است (Tayyebi and Pijanowski, 2014). (Veldkam and Lambin, 2001) نشان دادند عوامل تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مکانی-زمانی به صورت غیرخطی عمل می‌کنند. از این رو برای شبیه‌سازی پویایی کاربری‌های اراضی نیاز به ابزارهای غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی است (Živković et al., 2009). شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) طی دو دهه گذشته به طور گسترده‌ای توسط مدل‌سازان تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Tayyebi and Pijanowski, 2014; Tayyebi et al., 2011a). مدل تبدیل اراضی یا LTM (Land Transformation Model)، یک مدل شبکه عصبی مصنوعی است و به عنوان یک ابزار پیش‌بینی برای تجزیه و تحلیل پویایی‌های مکانی-زمانی کاربری اراضی، برآورد اثر تغییرات و شبیه‌سازی تغییرات

امر، ضرورت بررسی و برنامه‌ریزی مناسب را برای این بخش از کشور دوچندان کرده است. در راستای همین امر این پژوهش باهدف پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت طی سه دوره زمانی مختلف از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶ و مدل‌سازی این تغییرات برای ۱۰ (۱۴۰۶)، ۲۰ (۱۴۱۶) و ۳۰ (۱۴۲۶) سال آینده با مدل LTM انجام شد.

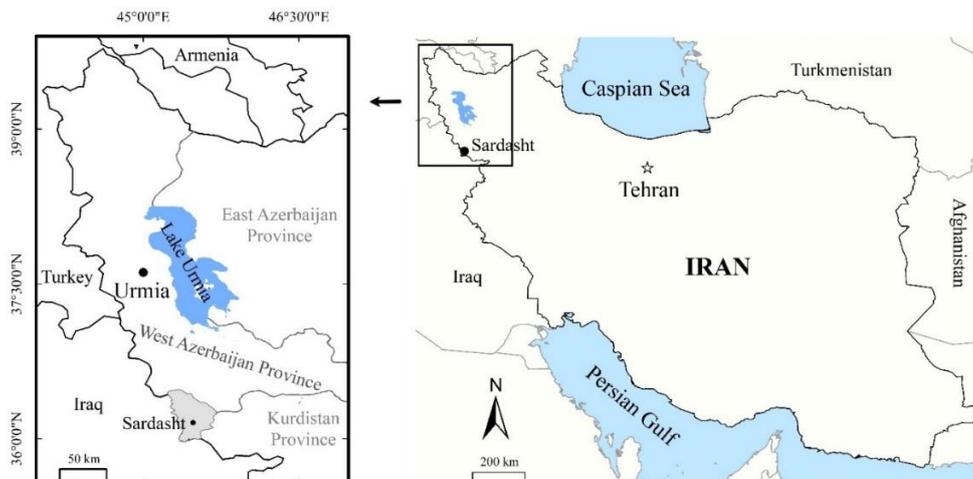
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

شهرستان سردشت با ارتفاع متوسط ۱۵۱۵ متر از سطح دریا در محدوده $35^{\circ}57'36''$ تا $36^{\circ}28'12''$ عرض شمالی و $45^{\circ}13'48''$ تا $45^{\circ}42'00''$ طول شرقی با مساحت $1381/83$ کیلومتر مربع، $3/8$ درصد از سطح استان آذربایجان غربی را در بر گرفته است (شکل ۱). بر اساس آخرین سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵ تعداد جمعیت این شهرستان ۱۱۸۸۴۹ نفر بوده که از این مقدار جمعیت شهری این شهرستان (شامل سه شهر سردشت، ربط و میرآباد) برابر با ۶۸۱۶۲ نفر و جمعیت روستایی (شامل ۳۵۲ روستا و آبادی) آن برابر با ۵۰۶۸۷ نفر بوده است.

MARS برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج مقایسه مقیاس‌های زمانی- مکانی این سه مدل نشان داد که LTM عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های دیگر در فواصل زمانی کوتاه (پنج‌ساله) و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی پایین (یک کیلومتری) داشته است.

منابع طبیعی استان آذربایجان غربی و به‌خصوص جنگل‌های شهرستان سردشت با مساحت ۹۱۱۱۷ هکتار (بر اساس آمار دفتر مهندسی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور) از مناطق مهم و درعین حال نسبتاً بحرانی از نظر تغییر کاربری اراضی و کاهش سطح عرصه‌های جنگلی در این استان به شمار می‌رود و با توجه به پراکنش گسترده جمعیت روستایی در داخل آن، افزایش جمعیت، فقر و نیاز به مواد غذایی، شغل، محیط زندگی، راه و رشد شهرنشینی و غیره از آسیب انسانی مصون نبوده و طی سالیان گذشته دچار تخریب‌های گسترده شده است (Beygi Heidarlou et al., 2020b; Salehi et al., 2020). با توجه به موارد ذکر شده تاکنون هیچ پژوهشی به بررسی تأثیر تبعات ناشی از تغییرات آینده کاربری‌های اراضی این منطقه و پیش‌بینی تغییرات اراضی جنگلی آن نپرداخته است. این



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی (شهرستان سردشت)

Figure 1. Geographical location of study area (Sardasht County)

فرایند مدل LTM

LTM در ابتدا برای شبیه‌سازی الگوهای تغییرات کاربری و پوشش اراضی در مقیاس محلی در دانشگاه پردو (Purdue University) آمریکا توسعه یافت (Pijanowski et al., 2002). مدل‌سازی LTM از چهار مرحله متوالی تشکیل شده است: (۱) پردازش داده‌ها در GIS، (۲) به‌کارگیری اطلاعات مکانی و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده تغییرات، (۳) یکپارچه‌سازی شبکه و (۴) مقیاس زمانی خروجی حاصل از پیش‌بینی (Pijanowski et al., 2002; Newman et al., 2016).

آماده‌سازی داده‌ها و ساخت مدل LTM

فرایند مدل‌سازی در LTM شامل آماده‌سازی داده‌ها، ایجاد شبکه، الگوی یادگیری شبکه، آموزش و تست شبکه، پیش‌بینی تغییرات و در نهایت ارزیابی صحت مدل است. LTM برای آموزش ANN حداقل از داده‌های دو دوره زمانی استفاده می‌کند و پارامترهای یک مدل بهینه LTM، به‌وسیله تکرار ANN در چرخه‌های متوالی تخمین زده می‌شود. یک چرخه آموزشی در LTM به‌عنوان مجموعه‌ای از تمام داده‌های آموزش به شبکه ANN تعریف می‌شود و میانگین مربعات خطا (MSE) برای هر ۱۰۰ چرخه در LTM ثبت می‌شود. میانگین مربعات خطا تفاوت بین داده‌های مرجع و تخمینی خروجی از LTM را ارائه می‌دهد (Tayyebi et al., 2013). تفاوت بین میانگین مربعات خطای چرخه‌ها به‌عنوان شرط توافق آموزش شبکه استفاده می‌شود و آموزش شبکه تا زمانی ادامه می‌یابد که تفاوت میانگین مربعات چرخه‌های متوالی آموزش، پایدار شود. هنگامی که اجرای آموزش متوقف شد، بهترین شبکه برای تست شبکه و برآورد نقشه تناسب و در نهایت برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در آینده استفاده می‌شود (Tayyebi et al., 2014).

مدل LTM در این پژوهش بر اساس الگوهای

تغییرات کاربری اراضی در منطقه سردشت با استفاده از داده‌های مکانی و سنجش‌ازدوری سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ ایجاد شد. داده‌های ورودی به مدل شامل ۱۴ متغیر بوده است که در توصیف تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقه نقش داشته‌اند. برای انتخاب عوامل و داده‌ها از شناخت علمی و کارشناسی از عوامل ایجادکننده تغییرات کاربری اراضی در منطقه موردبررسی و همچنین جنگل‌های غرب کشور استفاده شد. این متغیرها عبارت‌اند از: ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت، فاصله از رودخانه دائمی، فاصله از رودخانه موقت، فاصله از مرکز شهرستان (شهر سردشت)، فاصله از سایر شهرها، فاصله از سایر مناطق مسکونی، فاصله از جاده‌های اولیه، ثانویه و ثالثیه، فاصله از اراضی کشاورزی، تراکم اراضی کشاورزی و تراکم اراضی جنگلی. همچنین کاربری‌هایی که نمی‌توانند توسعه پیدا کنند (کشاورزی، مسکونی و مرتع) به‌عنوان لایه محدودیت (exclusionary zone) تولید شد تا مدل از استفاده از آنها در اختصاص احتمال تغییرات در آینده جلوگیری کند (Tayyebi et al., 2013). با استفاده از داده‌های رستری هر یک از متغیرهای مورد استفاده (متغیرهای ایجادکننده تغییرات کاربری و پوشش اراضی) به‌عنوان عوامل ورودی به مدل، الگوهای کاربری و پوشش اراضی (تغییرات گذشته کاربری‌های اراضی به‌عنوان نقشه‌های پایه) و دو لایه محدودیت (برای مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل)، الگوهای جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت پیش‌بینی شدند (شکل ۲). در این پژوهش سه سناریو و الگوی ورودی متفاوت از ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶، شامل ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ برای پیش‌بینی تغییرات جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت (درمجموع شش مدل) با استفاده از متغیرهای زمان اول

به‌عنوان ورودی مدل (یعنی ۱۳۷۶ و ۱۳۸۶) برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده استفاده شد.

در این پژوهش برای تولید داده‌های ورودی از عملگرهای فاصله و تراکم برای محاسبه فاصله هر سلول از نزدیک‌ترین طبقه کاربری اراضی و تراکم طبقه کاربری‌های کشاورزی و جنگل اطراف سلول مرکزی (با استفاده از تابع neighbourhood در نرم‌افزار ESRI) استفاده شد. برای تولید لایه‌های شیب و جهت نیز (با استفاده از ابزار Spatial Analyst در نرم‌افزار ESRI) از مدل رقومی ارتفاع داده‌های ۳۰ متری ماهواره ASTER استفاده شد. نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی سردشت برای سال‌های ۱۳۷۶، ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ نیز برای تولید نقشه تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان خروجی هر مدل به دو طبقه جنگل و غیر جنگل طبقه‌بندی مجدد شدند (شکل ۳).

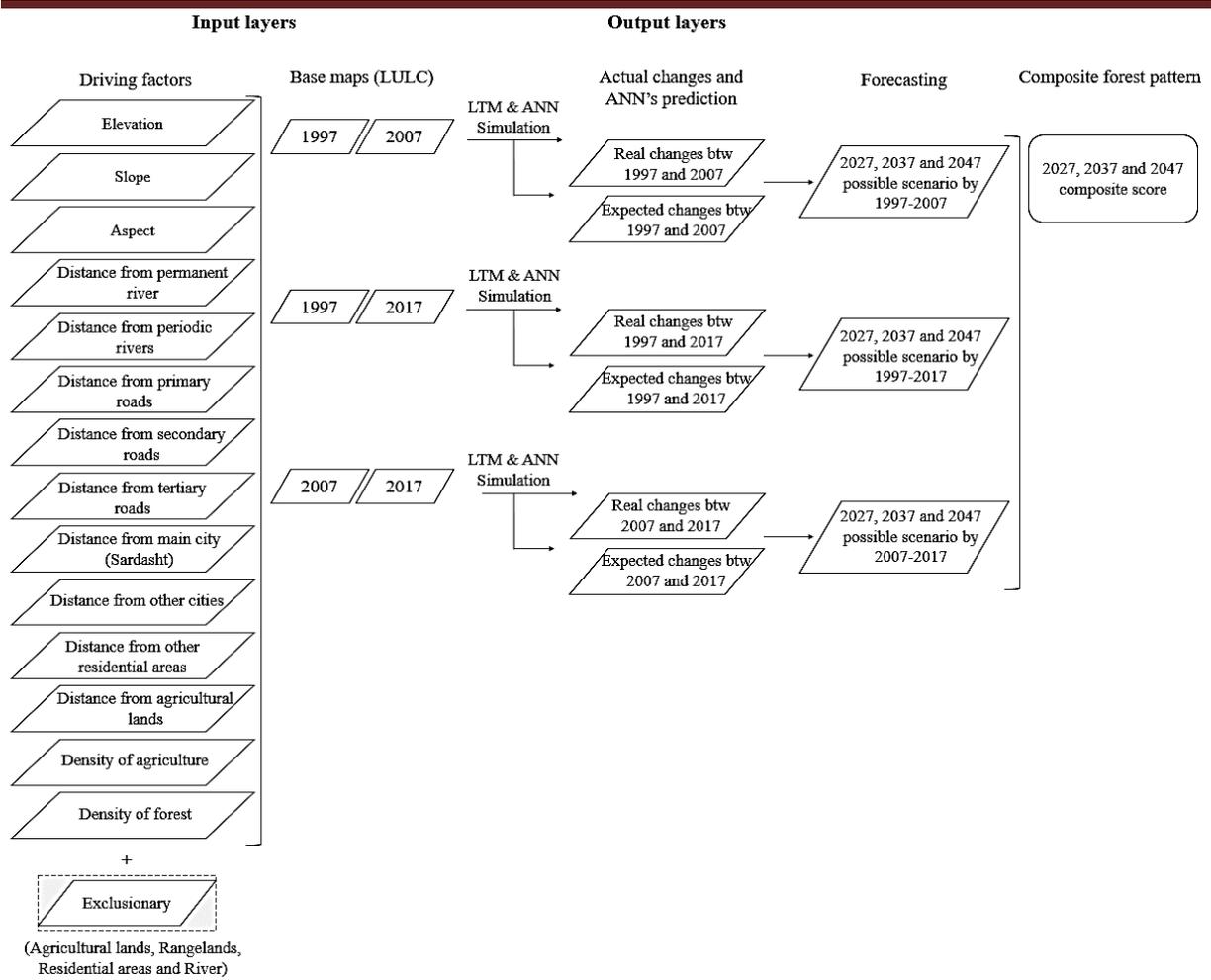
هر شش مدل برای مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت با استفاده از ۱۴ متغیر کاملاً یکسان برای سردشت به‌عنوان لایه‌های ورودی و نقشه تغییرات اراضی جنگلی بین بازه‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۸۶-۱۳۹۶ و ۱۳۷۶-۱۳۹۶ به‌عنوان خروجی توسعه یافتند. پس از آماده‌سازی داده‌ها، شبکه عصبی آموزش داده شد و دوره‌های شبیه‌سازی برای هر کدام از دوره‌های زمانی اجرا شد. آموزش هر کدام از مدل‌های ANN در این پژوهش تا ۱۰۰۰۰۰ دور و در مدت زمان تقریبی یک هفته برای هر مدل انجام شد. پس از آموزش ANN's و تهیه نقشه واقعی تغییرات و محاسبه تعداد سلول‌های تغییر یافته، تست شبکه با توجه به نقشه‌های ورودی مورد سنجش قرار گرفت و بهترین دور با

بالاترین مقدار نرخ تطابق بین تغییرات واقعی رخ داده و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای تولید نقشه تناسب و نقشه احتمال تغییرات و اجرای اعتبار سنجی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در این پژوهش برای ارزیابی صحت ANN's از ترسیم منحنی ROC (یا AUC) حاصل از مقایسه نقشه‌های تغییرات واقعی و احتمال انتقال استفاده شد (Tayyebi et al., 2014; Pijanowski et al., 2006).

نتایج

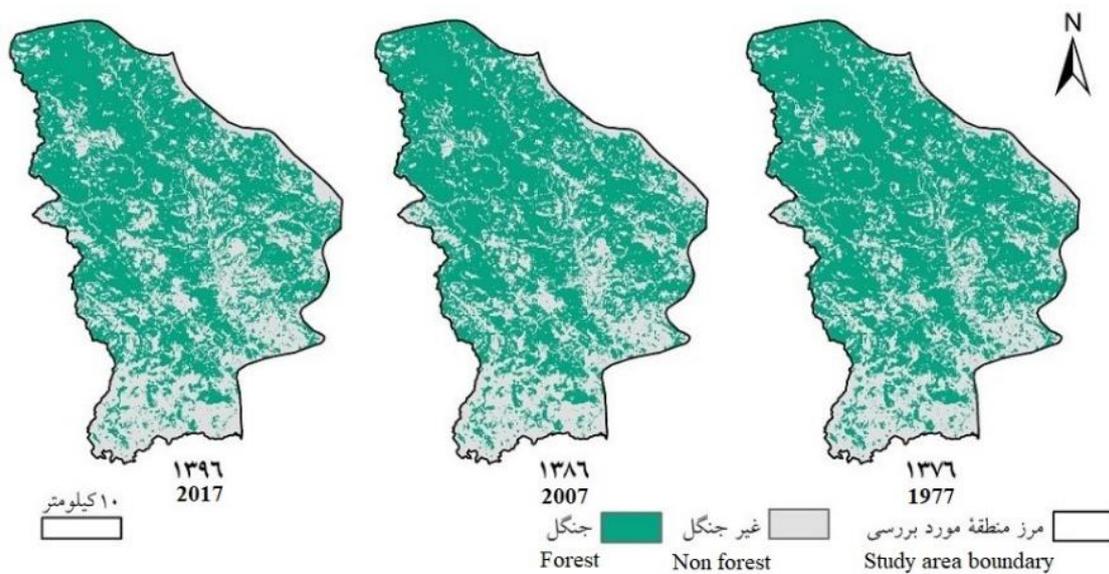
آشکار سازی تغییرات

جدول ۱ روند تغییرات کاربری‌های جنگل و غیر جنگل و مقدار تغییرات واقعی رخ داده در شهرستان سردشت را طی سال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد. طی ۲۰ سال دوره زمانی مورد بررسی (۱۳۷۶ تا ۱۳۹۶) ۷۸۹۸/۵۸ هکتار از اراضی جنگلی کاسته شده و سطح اراضی جنگلی از ۹۱۳۳۵/۱۵ هکتار در سال ۱۳۷۶ به ترتیب به ۸۷۵۶۸/۱۱ و ۸۳۴۳۶/۵۷ هکتار در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۶ کاهش یافته است که با ادامه روند تخریب این اراضی، ۷۹۴۷/۴۵ هکتار به سطح اراضی غیر جنگلی افزوده شده است. نتایج مقدار تغییرات واقعی رخ داده نیز نشان داد به ترتیب ۱۷۶۴/۶۳، ۲۳۷۳/۵۷ و ۲۳۳۱/۹۹ هکتار بازیابی جنگل بین دوره‌های زمانی ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۸۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ رخ داده است. این در حالی است که مقدار تخریب اراضی جنگلی برای این دوره‌ها به ترتیب برابر با ۵۵۷۴/۰۶، ۱۰۳۱۴/۶۳ و ۶۴۶۳/۵۳ هکتار بوده است.



شکل ۲- طرح مدل سازی LTM، شامل لایه های ورودی و خروجی (Newman et al., 2016)

Figure 2. LTM modeling scheme, including input and output layers (Newman et al., 2016)



شکل ۳- نقشه های کاربری و پوشش اراضی شهرستان سردشت طی سال های مورد بررسی

Figure 3. Land use/cover maps of Sardasht County during the studied years

جدول ۱- تغییر سطح اراضی جنگلی و غیر جنگلی و مقدار تغییرات واقعی جنگل‌زدایی و بازیابی رخ داده به هکتار

Table 1. Changes in forest and non-forest lands and the amount of actual changes in deforestation and forest recovery per hectare

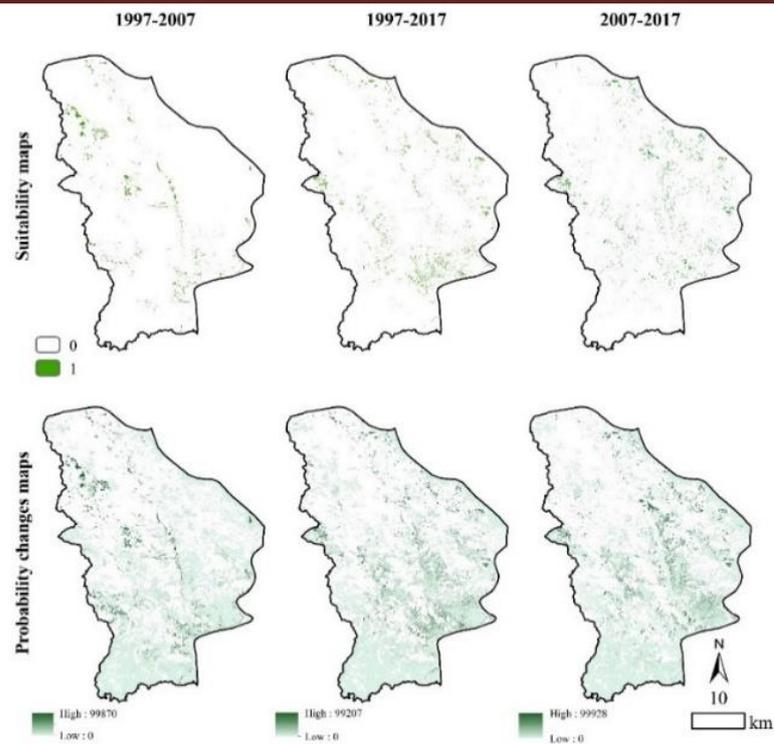
تغییرات واقعی (هکتار) Actual changes (ha)			تغییرات سطح (هکتار) Area changes (ha)				
۱۳۸۶-۹۶	۱۳۷۶-۹۶	۱۳۷۶-۸۶	دوره‌های زمانی	۱۳۹۶	۱۳۸۶	۱۳۷۶	سال
2007-2017	1977-2017	1977-2007	Time periods	2017	2007	1977	Year
2331.99	2373.57	1764.63	بازیابی جنگل Forest recovery	83436.57	87568.11	91335.15	جنگل Forest
6463.53	10314.63	5574.06	جنگل‌زدایی Deforestation	54986.58	50855.85	47039.13	غیر جنگل Non-forest

اجرای مدل LTM

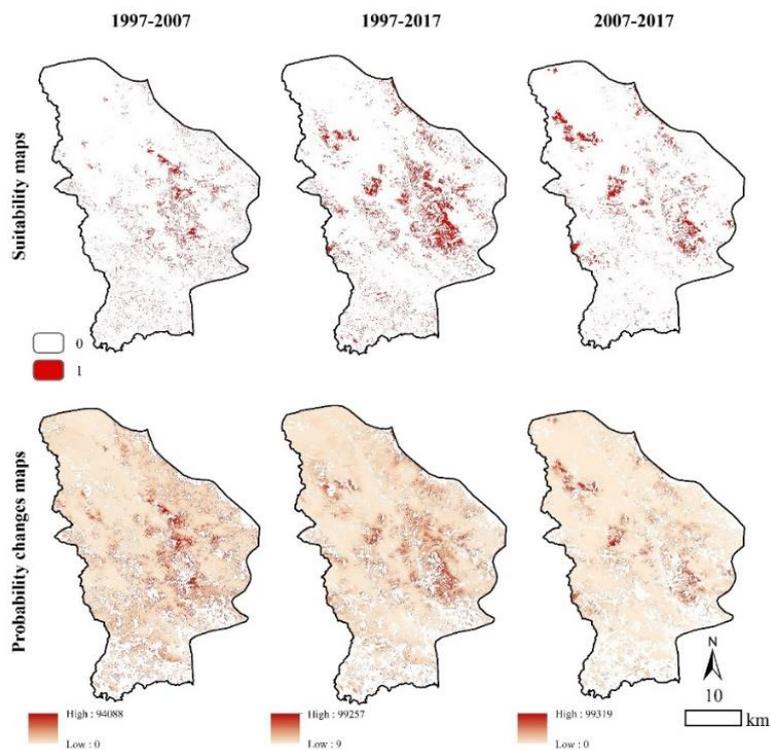
پس از اینکه کلیه عوامل مؤثر در شبیه‌سازی تغییرات اراضی جنگلی برای آموزش شبکه وارد شبکه‌های عصبی مصنوعی شدند، مقدار میانگین مربعات خطا (MSE) در حین آموزش شبکه مورد بررسی قرار گرفت. پس از پایداری MSE در هر شش شبکه، آموزش همه شبکه‌های عصبی مصنوعی در چرخه ۱۰۰۰۰۰ متوقف شد و تست شبکه انجام شد. نتایج به دست آمده از تست شبکه‌های عصبی مصنوعی نشان داد، در مدل‌سازی بازیابی جنگل‌های سردشت به ترتیب دوره‌های ۹۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ و در مدل‌سازی جنگل‌زدایی سردشت دوره‌های ۵۰۰۰۰، ۸۰۰۰ و ۴۵۰۰۰ در سناریوهای اول، دوم و سوم بیشترین نرخ تطابق بین تغییرات واقعی رخ داده و شبیه‌سازی شده را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین این دوره‌ها به عنوان سیکل مناسب شبکه‌ها برای تولید نقشه تناسب، نقشه احتمال تغییرات، شبیه‌سازی و ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفتند. شکل‌های ۴ و ۵ نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات را به ترتیب برای مدل‌سازی بازیابی جنگل و جنگل‌زدایی در منطقه سردشت برای هر یک از دوره‌های زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد.

نتایج به دست آمده از محاسبه مقدار مشخصه عملکرد نسبی (ROC) برای هر یک از مدل‌های جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌ها طی دوره‌های زمانی مختلف نشان از برازش مناسب و عملکرد خوب مدل‌ها داشته است و تمامی مقادیر ROC مدل‌ها بیشتر از ۰/۸ به دست آمدند، به طوری که مدل‌سازی حاصل از سناریوی سوم برای بازیابی جنگل و جنگل‌زدایی بالاترین مقدار ROC را داشته است (به ترتیب ۰/۹۴ و ۰/۸۶) (شکل ۶).

پس از آموزش، تست، شبیه‌سازی تغییرات و بررسی نتایج ارزیابی مدل‌های مورد استفاده، تغییرات جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌های سردشت برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ با استفاده از همه مدل‌ها پیش‌بینی شد (شکل ۷ و ۸). نتایج حاصل از مدل‌های پیش‌بینی بازیابی اراضی جنگلی نشان داد بیشترین بازیابی جنگل در سال ۱۴۰۶ و ۱۴۱۶ توسط سناریوی اول به ترتیب به اندازه ۳۵۲۹/۲۶ و ۵۲۹۳/۸۹ هکتار و در سال ۱۴۲۶ توسط سناریوی دوم به اندازه ۷۱۲۰/۷۱ هکتار تخمین زده شده است (جدول ۲). نتایج حاصل از مدل‌ها در شکل ۸ و جدول ۲ نیز نشانگر افزایش روند جنگل‌زدایی طی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده در سردشت است، به طوری که بالاترین مقدار جنگل‌زدایی توسط سناریوی اول و کمترین مقدار جنگل‌زدایی نیز توسط سناریوی دوم تخمین زده شد.



شکل ۴- نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات مدل‌سازی بازسازی جنگل‌ها در دوره‌های موردبررسی در سردشت
 Figure 4. Suitability and probability changes maps of forest recovery modeling in studied time periods in Sardasht



شکل ۵- نقشه‌های تناسب و احتمال تغییرات مدل‌سازی جنگل‌زدایی در دوره‌های موردبررسی در سردشت
 Figure 5. Suitability and probability changes maps of deforestation modeling in studied time periods in Sardasht

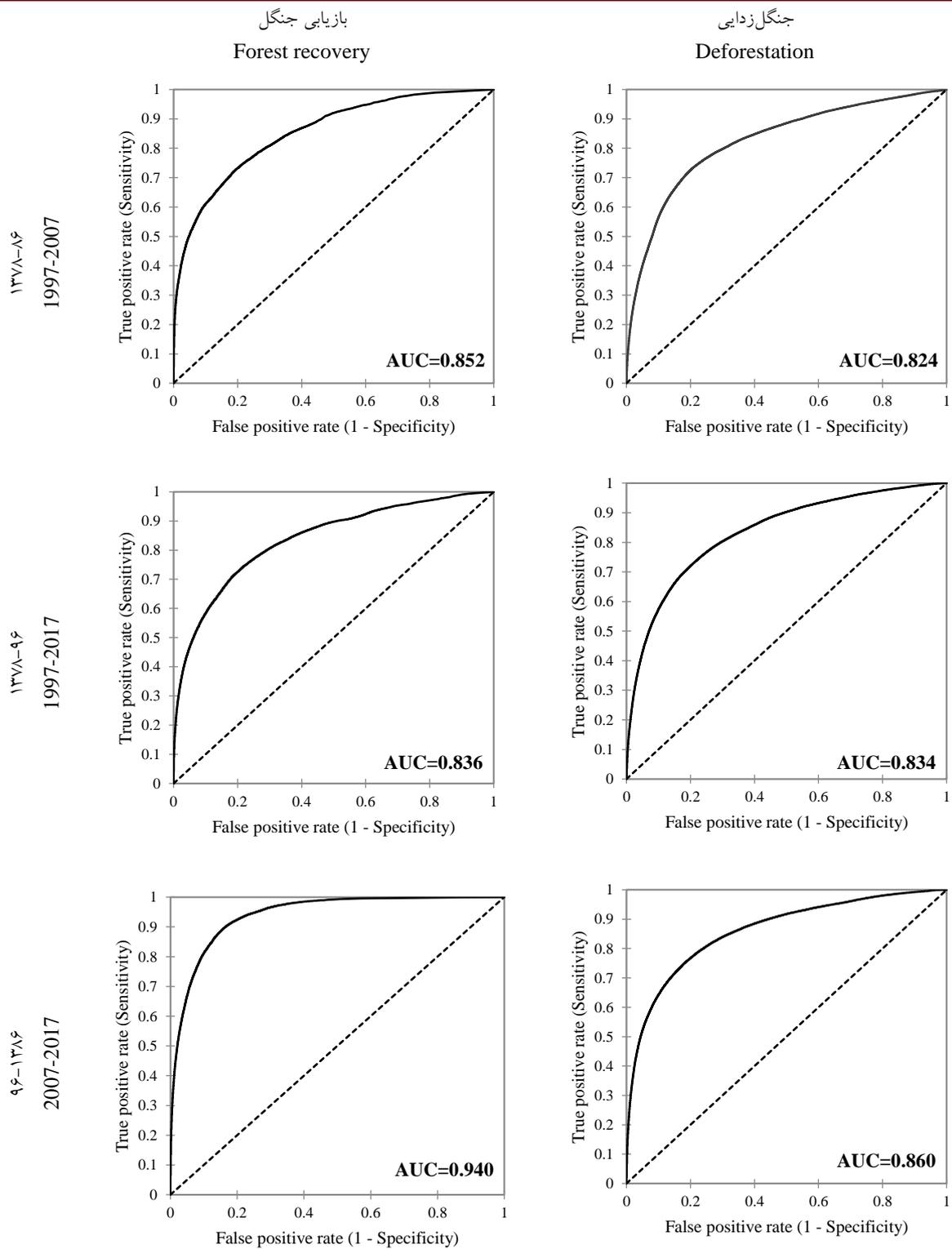
برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶، به ترتیب ۰/۰۲ درصد (۲۳/۴۹ هکتار)، ۰/۰۵ درصد (۶۶/۶۰ هکتار) و ۰/۱۲ درصد (۱۵۹/۷۵ هکتار) از منطقه بین مدل‌سازی دوره‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ مشترک بوده است. در مدل‌سازی جنگل‌زدایی نیز به ترتیب ۱/۰۷ درصد (۱۴۸۲/۹۳ هکتار)، ۲/۵۶ درصد (۳۵۳۲/۵۰ هکتار) و ۷/۴۷ درصد (۶۱۸۱/۹۲ هکتار) از کل منطقه برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ مشترک بوده است (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج مشخص شد همپوشانی ۰/۹۸، ۲/۱۶ و ۳/۴۳ درصدی برای بازیابی جنگل و ۲/۸۴، ۵/۴۰ و ۷/۵۷ درصدی برای جنگل‌زدایی به ترتیب برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ از هر ترکیبی از دو سناریوی احتمال وجود دارد که نشان‌دهنده پتانسیل نسبتاً بالای این مناطق برای بازیابی و جنگل‌زدایی در آینده است (شکل ۹).

به هر سه سناریوی احتمالی ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ دو مقدار یک (برای سلول‌های جنگل‌زدایی یا بازیابی جنگل) و صفر (عدم وجود جنگل‌زدایی یا بازیابی جنگل) اختصاص یافت. برای هر کدام از مدل‌ها در دوره‌های زمانی ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶، این سه سناریو با یکدیگر تلفیق شدند و مناطقی که هر سه سناریوها با یکدیگر همپوشانی داشتند امتیاز سه، مناطقی که دو سناریو همپوشانی داشتند امتیاز دو و مناطقی که تنها یک سناریو وجود داشت امتیاز یک تعلق گرفت. تلفیق موقعیت مکانی نقشه‌های پیش‌بینی مدل‌ها نشان داد مدل‌سازی جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی با توجه به ورودی‌های مدل‌ها در دوره‌های زمانی مختلف تغییر می‌کند. بر اساس نتایج به دست آمده همپوشانی مکانی مشترک کمتری بین مدل‌ها برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ در کل سطح منطقه وجود داشته است. به طوری که در مدل‌سازی بازیابی جنگل

جدول ۲- مقدار سطح جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ در دوره‌های مختلف زمانی

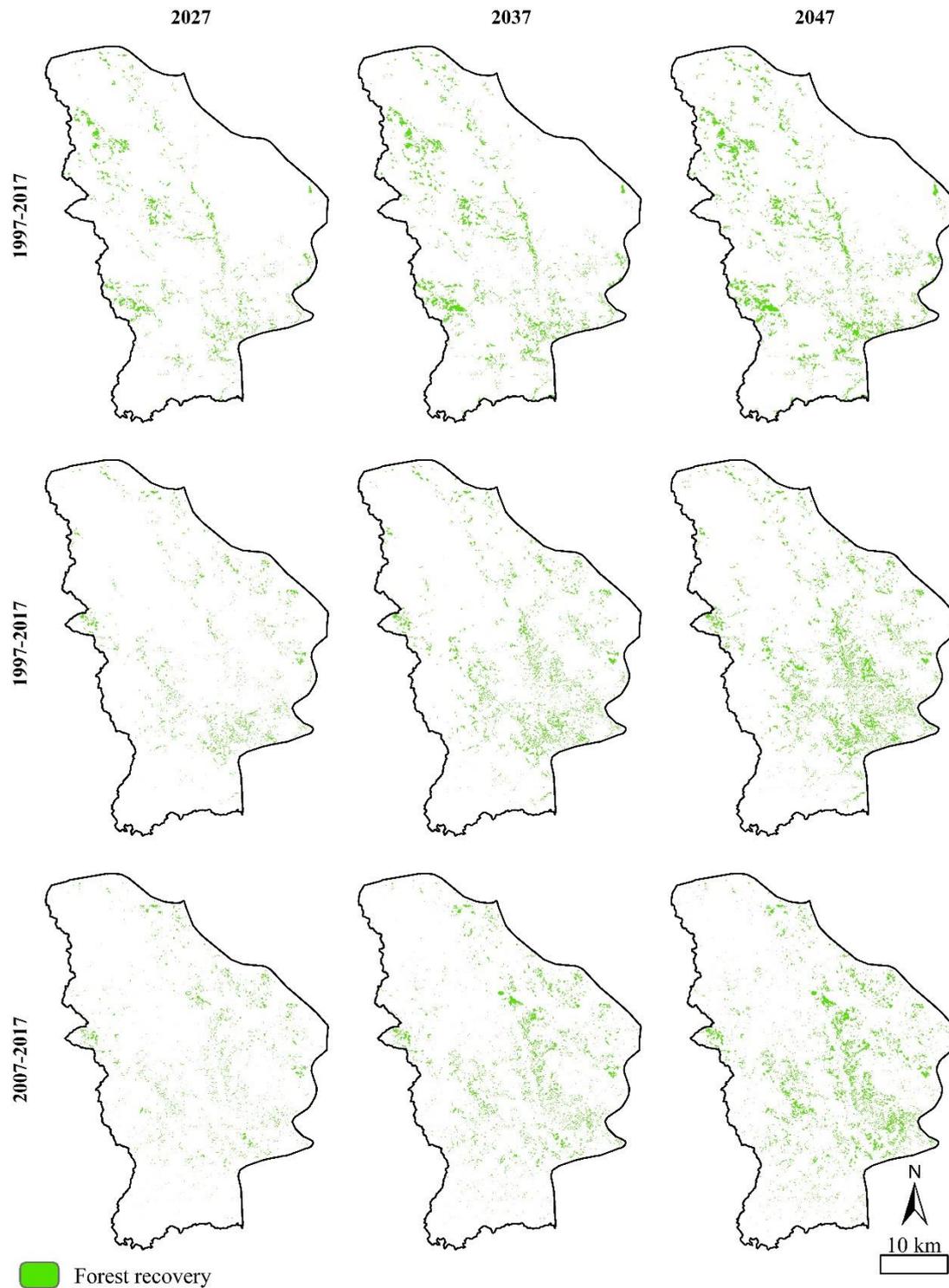
Table 2. Forest recovery and deforestation area (hectare) for 2027, 2037 and 2047 in different time periods

۱۴۲۶	۱۴۱۶	۱۴۰۶	دوره‌های زمانی	مدل
2047	2037	2027	Time periods	
7058.52	5293.89	3529.36	1997-2007	بازیابی جنگل Forest recovery
7120.71	4747.14	2373.57	1997-2017	
6995.97	4663.98	2331.90	2007-2017	
22296.24	16722.18	11148.12	1997-2007	جنگل‌زدایی Deforestation
15471.99	10314.63	5157.36	1997-2017	
19390.59	12927.06	6463.53	2007-2017	



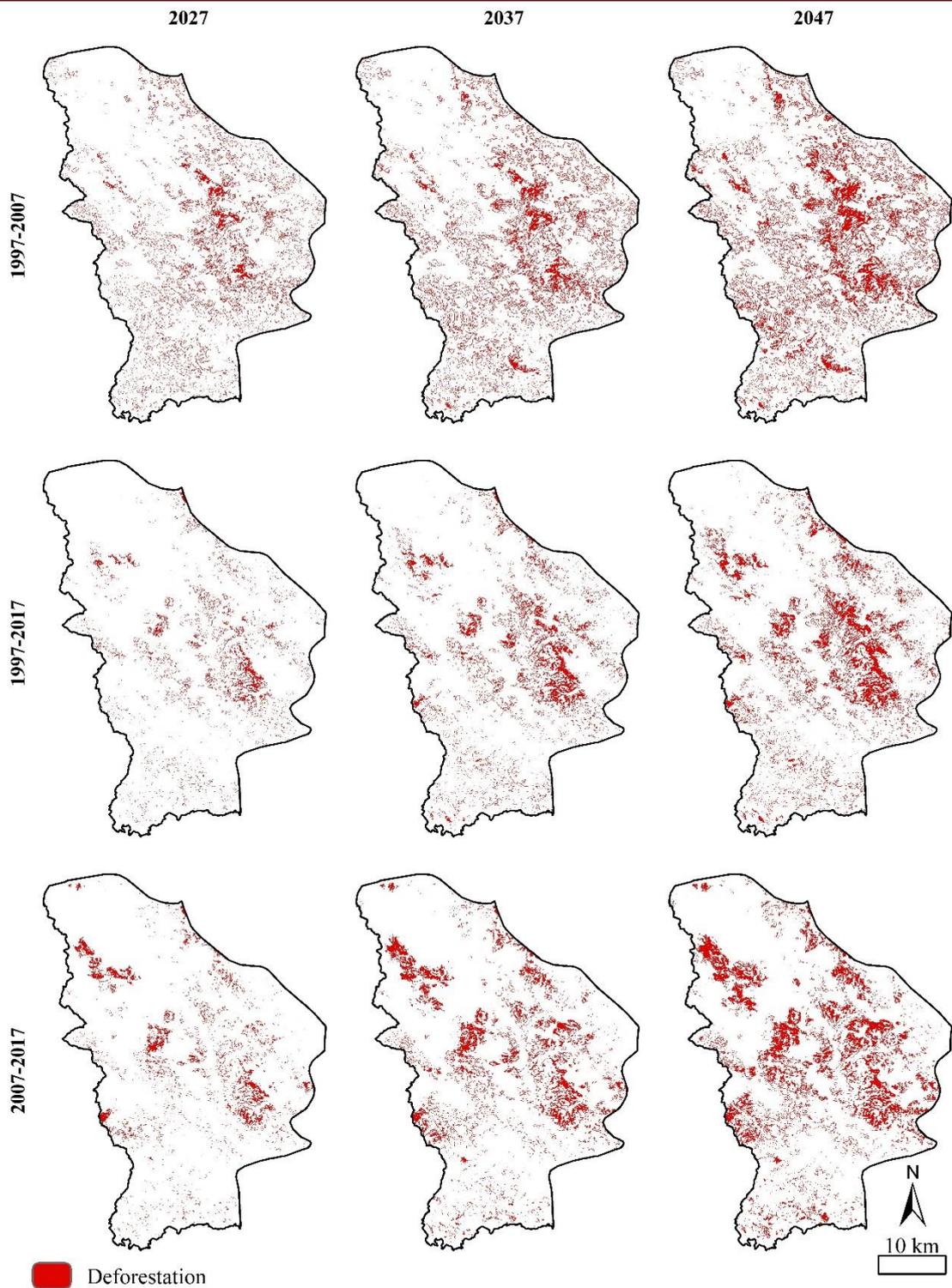
شکل ۶- منحنی‌های مشخصه عملکرد نسبی (ROC) یا مساحت زیر منحنی‌ها (AUC) برای مدل‌سازی بازیابی جنگل‌ها و جنگل‌زدایی در دوره‌های زمانی مورد بررسی

Figure 6. Relative Operating Characteristic (ROC) curves for modeling deforestation and forest recovery in studied time periods



شکل ۷- نقشه‌های سناریوهای احتمالی بازیابی اراضی جنگلی سردشت در سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ بر اساس مدل-سازي سال‌های ۱۳۷۶-۱۳۸۶، ۱۳۷۶-۱۳۹۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶

Figure 6. Possible scenario maps of forest recovery patterns by 2027, 2037 and 2047 in Sardasht based on modeling different time periods



شکل ۸- نقشه‌های سناریوهای احتمالی جنگل‌زدایی سردشت در سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ بر اساس مدل‌سازی سال-های ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۸۶-۱۳۹۶

Figure 8. Possible scenario maps of deforestation patterns by 2027, 2037 and 2047 in Sardasht based on modeling different time periods

جدول ۳- مقدار سطح همپوشانی همه سناریوهای احتمالی ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ برای پیش‌بینی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل

Table 3. Overlap area of all three possible scenarios for 2027, 2037 and 2047 forest recovery and deforestation forecasting

جنگل‌زدایی Deforestation			بازیابی جنگل Forest recovery			سطح Area	ارزش ترکیبی Composite score
۱۴۲۶ 2047	۱۴۱۶ 2037	۱۴۰۶ 2027	۱۴۲۶ 2047	۱۴۱۶ 2037	۱۴۰۶ 2027		
103851.50	112752.50	122300.90	122074.80	126603.80	131345.10	هکتار ha	0
75.15	81.60	88.51	88.34	91.62	95.05	درصد Percentage	
17687.52	14431.05	10479.60	11202.66	8521.74	5466.15	هکتار ha	1
12.8	10.44	7.58	8.11	6.17	3.96	درصد Percentage	
10462.68	7467.57	3920.22	4746.42	2991.51	1348.92	هکتار ha	2
7.57	5.40	2.84	3.43	2.16	0.98	درصد Percentage	
6181.92	3532.50	1482.93	159.75	66.60	23.49	هکتار ha	3
7.47	2.56	1.07	0.12	0.05	0.02	درصد Percentage	

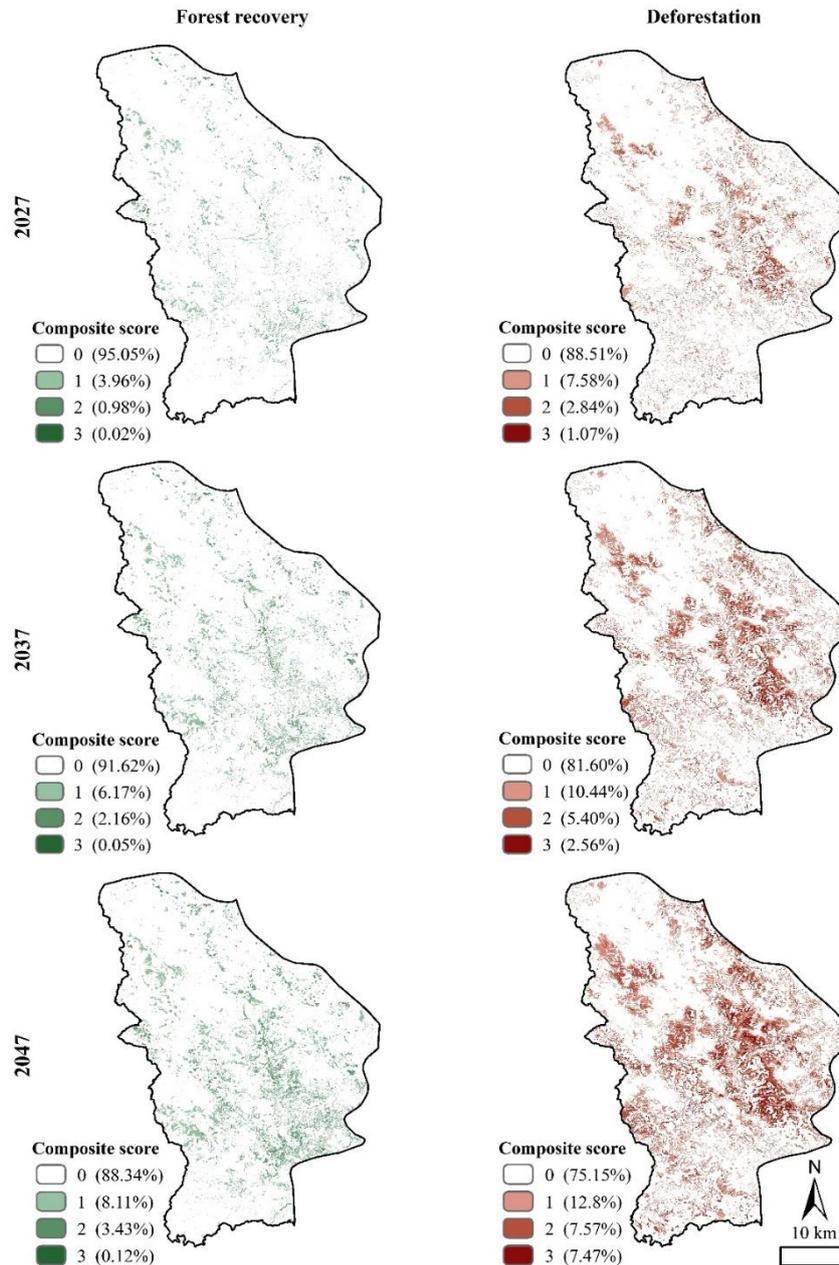
بحث

ادامه این روند و فشارهای ناشی از رشد جمعیت موجب توسعه گسترده اراضی غیرجنگلی مانند اراضی کشاورزی و مسکونی برای پاسخگویی به تقاضا برای غذا و مسکن در داخل زیستگاه‌های طبیعی شده (Kabba and Li, 2011) و این تغییر کاربری‌ها سبب جنگل‌زدایی و تشدید تکه‌تکه شدن زیستگاه‌های جنگلی باقی‌مانده در منطقه خواهد شد (Riutta et al., 2014). برای بررسی و پیش‌بینی روند این تغییرات در اراضی جنگلی شهرستان سردشت از مدل LTM به-عنوان یک مدل مناسب در پیش‌بینی تغییرات آینده (Pijanowski et al., 2002; Newman et al., 2016; Tayyebi et al., 2014) استفاده شد و با انتخاب کلیه

نتایج این پژوهش نشان داد تغییرات چشم‌گیری در پوشش اراضی جنگلی شهرستان سردشت طی ۲۰ سال اخیر (۱۳۷۶-۱۳۹۶) رخ داده است. به‌طوری‌که ۷۸۹۸/۵۸ هکتار از وسعت کاربری جنگل کاسته شده و ۷۹۴۷/۴۵ هکتار بر سطح اراضی غیرجنگلی در منطقه افزوده شده است (جدول ۱). مقایسه تغییرات پوشش اراضی رخ داده (جدول ۱) نیز در منطقه نشان داد طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۶ تنها ۲۳۷۳/۵۷ هکتار از اراضی جنگلی بازیابی و احیا شده است. این در حالی است که طی همین دوره ۱۰۳۱۴/۶۳ هکتار جنگل‌زدایی در منطقه رخ داده و به سایر کاربری‌های منطقه تبدیل شده است.

کاهش خطا در شبکه، تغییرات با استفاده از سه سناریو و دوره‌های زمانی مختلف شامل ۱۳۸۶-۱۳۷۶، ۱۳۹۶-۱۳۷۶ و ۱۳۹۶-۱۳۸۶ برای ۱۰ (۱۴۰۶)، ۲۰ (۱۴۱۶) و ۳۰ (۱۴۲۶) سال آینده در سردشت پیش‌بینی شد

عوامل مؤثر در جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل در گذشته و عواملی که می‌توانند این تغییرات را در آینده نیز تحت تأثیر قرار دهند، پس از انجام فرایندهای یادگیری، تست شبکه‌های عصبی مصنوعی و شبیه‌سازی تغییرات با



شکل ۹- همپوشانی هر سه سناریو برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی بازیابی و جنگل‌زدایی جنگل‌ها در سردشت

Figure 9. Overlap of all three scenarios for 2027, 2037 and 2047 forest recovery and deforestation predictions in Sardasht

از منطقه برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ توسط هر سه سناریو همپوشانی مکانی مشترک داشته‌اند (جدول ۳). این نتایج به این معنی است که توسط هر سه سناریوی احتمالی پیش‌بینی، ۷/۴۷ درصد از جنگل‌های سردشت در موقعیت‌های یکسان و مشابه طی ۳۰ سال آینده تخریب خواهند شد و این مناطق پتانسیل بالایی را برای جنگل‌زدایی نشان می‌دهند. از این‌رو افزایش برنامه‌های نظارتی در این مناطق می‌تواند باعث توقف و یا کاهش هرچه بیشتر تخریب اراضی جنگلی شوند.

مدل‌های کاربری و پوشش اراضی به درک الگوهای موجود در تغییرات سیستم‌های کاربری اراضی کمک می‌کنند و می‌توانند برای پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی در آینده مورد استفاده قرار گیرند (Tayyebi and Pijanowski, 2014). طیف گسترده‌ای از مدل‌های کاربری و پوشش اراضی برای فرایندها و مقیاس‌های مختلف توسعه پیدا کرده‌اند (Matthews et al., 2007). مدل LTM که از قابلیت‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره‌مند است، توانایی یادگیری الگوهای جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل و در نتیجه پیش‌بینی مناسب آنها را بر اساس پارامترهای مؤثر توسعه دارد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی مدل‌های ANN با استفاده از آماره ROC برای هر یک از مدل‌های جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل‌ها طی سناریوهای زمانی مختلف، نشان از برازش مناسب و عملکرد مطلوب مدل‌های ANN در دوره‌های زمانی کوتاه‌تر و نزدیک به سال‌های انتهایی دوره زمانی مورد پژوهش داشته است. پژوهش‌های دیگری نیز اجرای مناسب ANNs در مدل‌سازی در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت را نشان داده‌اند (Tayyebi and Pijanowski, 2014; Tayyebi et al., 2014). در فواصل زمانی کوتاه‌مدت ممکن است محرک‌های مکانی

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های جنگل‌زدایی و بازیابی اراضی جنگلی با مقدار ROC بالای ۰/۸ برای همه مدل‌ها نشان‌دهنده افزایش قطعی تخریب اراضی جنگلی و فعالیت‌های جنگل‌زدایی در سردشت طی سه دهه آینده است. به‌طوری‌که توسط سناریوی اول، به ترتیب ۱۱۱۴۸/۱۲، ۱۶۷۲۲/۱۸ و ۲۲۲۹۶/۲۴ هکتار، توسط سناریوی دوم، ۵۱۵۷/۳۶، ۱۰۳۱۴/۶۳ و ۱۵۴۷۱/۹۹ هکتار و توسط سناریوی سوم، ۶۴۶۳/۵۳، ۱۲۹۲۷/۰۶ و ۱۹۳۹۰/۵۹ هکتار جنگل‌زدایی در مقایسه با ۳۵۲۹/۲۶، ۵۲۹۳/۸۹ و ۷۰۵۸/۵۲ هکتار توسط سناریوی اول، ۲۳۷۳/۵۷، ۴۷۴۷/۱۴ و ۷۰۵۸/۵۲ هکتار توسط سناریوی دوم و ۲۳۳۱/۹۰، ۴۶۶۳/۹۸ و ۶۹۹۵/۹۷ هکتار بازیابی جنگل توسط سناریوی سوم برای سال‌های ۱۴۰۶، ۱۴۱۶ و ۱۴۲۶ پیش‌بینی شد (شکل‌های ۷ و ۸، جدول ۲). حداکثر و حداقل مقدار پیش‌بینی شده جنگل‌زدایی تا ۳۰ سال آینده (۱۴۲۶)، به ترتیب به‌اندازه ۲۲۲۹۶/۲۴ و ۱۵۴۷۱/۹۹ هکتار، نشان‌دهنده کاهش ۱۸/۵۴ تا ۲۶/۷۲ درصدی اراضی جنگلی شهرستان سردشت و تبدیل آن به اراضی غیرجنگلی نسبت به سال ۱۳۹۶ داشته است. این نتایج عواقب بالقوه تغییرات در آینده را پیش‌بینی کرد، بنابراین می‌توان سیاست‌های حفاظتی را به‌گونه‌ای توسعه داد که اثرات منفی این تغییرات کاهش پیدا کنند. به‌کارگیری و توسعه مناسب این سیاست‌ها باعث افزایش کارایی تصمیم‌گیری و توانایی پاسخ دادن به‌موقع به تغییرات می‌شود (Heathcote, 1998). پژوهش Pijanowski et al. (2002) نیز نشان داد به‌واسطه توسعه شهری در آینده (به‌عنوان مهم‌ترین محرک تغییرات)، اراضی جنگلی شرق دریاچه میثیگان با بیشترین میزان کاهش سطح روبرو خواهد شد.

نتایج همپوشانی مکانی مدل‌های پیش‌بینی جنگل‌زدایی نیز نشان داد به ترتیب ۱/۰۷، ۲/۵۶ و ۷/۴۷ درصد

برای کشف مناطقی که ریسک بالایی از تبدیل را به سایر کاربری‌های اراضی دارند به دست آید. ANNs ابزار مهمی برای مدل‌سازی ساختارهای غیرخطی بوده چراکه در آن تمام اطلاعات و محرک‌های زیست‌محیطی و اقتصادی - اجتماعی در منطقه که در آن فعالیت‌های جنگل‌زدایی رخ می‌دهد، یکپارچه می‌شوند و به‌طور مستقیم ارتباط غیرخطی بین متغیرهای توضیحی و مستقل را در نظر می‌گیرد (Mas et al., 2004; Beygi et al., 2019). این مورد می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیرندگان منابع طبیعی در سازمان‌های مربوطه نسبت به اتخاذ تصمیم‌های هوشمندانه در جهت پیشگیری از تخریب اراضی کمک کند تا با اتخاذ استراتژی‌های مدیریتی مناسب در جلوگیری از افزایش روند تخریب و حفاظت از این منابع نقش بسزایی داشته باشند. بدین ترتیب پیش‌بینی تغییرات سطح اراضی جنگلی، مسائل و مشکلات فراروی منابع طبیعی را برای مدیران یادآوری می‌کند و بایستی برای کاهش تخریب اراضی جنگلی، گسترش بیش‌ازحد اراضی مسکونی و کشاورزی محدود شوند.

References

- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Armed conflict and land-use changes: Insights from Iraq-Iran war in Zagros forests. *Forest Policy and Economics* **2020a**, *118*, 102246.
- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Underlying driving forces of forest cover changes due to the implementation of preservation policies in Iranian northern Zagros forests. *International Forestry Review* **2020b**, *22* (2), 241-256.
- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Effects of preservation policy on land use changes in Iranian Northern Zagros forests. *Land use policy* **2019**, *81*, 76-90.
- Gessesse, B.; Bewket, W.; Bräuning, A., Model-based characterization and monitoring of

و روابط متقابل کمتری بین آنها وجود داشته باشد که بر تغییرات کاربری اراضی تأثیرگذار باشند، درحالی‌که در دوره‌های زمانی بلندمدت، ممکن است محرک‌های بالقوه بیشتری در تغییرات کاربری اراضی وجود داشته باشند که توسط مدل موردتوجه قرار نگرفته باشند (Tayyebi et al., 2014). این نتایج مطابق با پژوهش‌های دیگری است که عملکرد ANN را نسبت به روش‌های سنتی‌تر مانند مدل‌های رگرسیون، به‌طور مکرر گزارش داده‌اند (Lek-Ang et al., 1999; Mas et al., 2004).

نتیجه‌گیری کلی

اگرچه پیش‌بینی تغییرات با استفاده از مدل‌های جنگل‌زدایی تجربی موجب ایجاد عدم اطمینان کامل از وقوع آنها در آینده می‌شود، اما نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش برای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سال آینده نشان داد که ANN قادر به کشف تغییرات و روند احتمالی جنگل‌زدایی و بازیابی جنگل در آینده است و با دقت بالایی می‌تواند توسط توسعه ANNs در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت نه برای کشف و استخراج موقعیت مکانی دقیق جنگل‌زدایی‌ها و بازیابی جنگل در آینده، بلکه

- runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land degradation & development* **2015**, *26* (7), 711-724.
- Heathcote, I. W., Integrated watershed management: Principles and practices. John Wiley & Sons, Inc. New York **1998**.
- Hostert, P.; Kuemmerle, T.; Prishchepov, A.; Sieber, A.; Lambin, E. F.; Radeloff, V. C., Rapid land use change after socio-economic disturbances: the collapse of the Soviet Union versus Chernobyl. *Environmental Research Letters* **2011**, *6* (4), 045201.
- Houet, T.; Loveland, T. R.; Hubert-Moy, L.; Gaucherel, C.; Napton, D.; Barnes, C. A.; Saylor, K., Exploring subtle land use and land cover changes: a framework for future landscape studies. *Landscape Ecol.* **2010**, *25* (2), 249-266.

- Kabba, V. T. S.; Li, J., Analysis of land use and land cover changes, and their ecological implications in Wuhan, China. *Journal of Geography and Geology* **2011**, 3 (1), 104-118.
- Lek-Ang, S.; Deharveng, L.; Lek, S., Predictive models of collembolan diversity and abundance in a riparian habitat. *Ecol. Model.* **1999**, 120 (2-3), 247-260.
- Mahmoudi, M.; Alijanpour, A.; Banj Shafiei, A.; Zargharan, M. R.; Mansouri, A., Effects of preservation plan on quantitative and qualitative characteristics of the mature stand, regeneration and extension of *Loranthus europaeus* in Salas-e Babajani County Forest. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, 7(2), 183-197.
- Mas, J.-F.; Puig, H.; Palacio, J. L.; Sosa-López, A., Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks. *Environ. Model. Software* **2004**, 19 (5), 461-471.
- Matthews, R. B.; Gilbert, N. G.; Roach, A.; Polhill, J. G.; Gotts, N. M., Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecol.* **2007**, 22 (10), 1447-1459.
- Newman, G.; Lee, J.; Berke, P., Using the land transformation model to forecast vacant land. *Journal of Land Use Science* **2016**, 11 (4), 450-475.
- Pijanowski, B. C.; Brown, D. G.; Shellito, B. A.; Manik, G. A., Using neural networks and GIS to forecast land use changes: a land transformation model. *Computers, environment and urban systems* **2002**, 26 (6), 553-575.
- Pijanowski, B. C.; Hyndman, D.; Shellito, B. A. In *The application of the land transformation, groundwater flow and solute transport models for michigan's grand traverse bay watershed*, Proceedings of the National American Planning Association Meeting, New Orleans, LA, USA, 2001.
- Pijanowski, B. C.; Tayyebi, A.; Doucette, J.; Pekin, B. K.; Braun, D.; Plourde, J., A big data urban growth simulation at a national scale: configuring the GIS and neural network based land transformation model to run in a high performance computing (HPC) environment. *Environ. Model. Software* **2014**, 51, 250-268.
- Pijanowski, B.; Alexandridis, K.; Mueller, D., Modelling urbanization patterns in two diverse regions of the world. *Journal of Land Use Science* **2006**, 1 (2-4), 83-108.
- Riutta, T.; Slade, E. M.; Morecroft, M. D.; Bebber, D. P.; Malhi, Y., Living on the edge: quantifying the structure of a fragmented forest landscape in England. *Landscape Ecol.* **2014**, 29 (6), 949-961.
- Salehi, P.; Banj Shafiei, A.; Barin, M.; Khezri, Kh., Effect of surface fire on dynamic of some chemico-physical properties of forest soil, Sardasht, West Azarbayjan. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6(3), 395-410.
- Tayyebi, A. H.; Tayyebi, A.; Khanna, N., Assessing uncertainty dimensions in land-use change models: using swap and multiplicative error models for injecting attribute and positional errors in spatial data. *Int. J. Remote Sens.* **2014**, 35 (1), 149-170.
- Tayyebi, A.; Pekin, B. K.; Pijanowski, B. C.; Plourde, J. D.; Doucette, J. S.; Braun, D., Hierarchical modeling of urban growth across the conterminous USA: developing meso-scale quantity drivers for the Land Transformation Model. *Journal of Land Use Science* **2013**, 8 (4), 422-442.
- Tayyebi, A.; Pijanowski, B. C., Modeling multiple land use changes using ANN, CART and MARS: Comparing tradeoffs in goodness of fit and explanatory power of data mining tools. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **2014**, 28, 102-116.
- Tayyebi, A.; Pijanowski, B. C.; Tayyebi, A. H., An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An application to Tehran, Iran. *Landscape Urban Plann.* **2011**, 100 (1-2), 35-44.
- Veldkamp, A.; Lambin, E. F., Predicting land-use change. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2001**, 85, 1-11.
- Živković, Ž.; Mihajlović, I.; Nikolić, D., Artificial neural network method applied on the nonlinear multivariate problems. *Serbian journal of management* **2009**, 4 (2), 143-155.

Forecasting deforestation and forest recovery using Land Transformation Model (LTM) in Iranian Zagros forests

H. Beygi Heidarlou¹, A. Banj Shafiei^{*2}, M. Erfanian³, A. Tayyebi⁴ and A. Alijanpour⁵

1- Phd. of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (hadibeygi@gmail.com)

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

3- Associate Professor, Department of Rangelands and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, I. R. Iran. (m.erfanian@urmia.ac.ir)

4- Geospatial Data Scientist, ESRI, Redland, CA 92373, United States. (amin.tayyebi@gmail.com)

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

Received: 19.09.2021 Accepted: 30.10.2021

Abstract

Land use changes and its patterns in spatial and temporal scales occur in a non-linear way. Therefore, to predict the potential and negative effects of these changes on forest ecosystem services in future, nonlinear tools such as Artificial Neural Networks (ANNs) are needed. In this study for forecasting deforestation and recovery of Sardasht forests for 10, 20 and 30 years later, Land Transformation Model (LTM) based on ANNs and GIS was used. For this purpose, three different scenarios including time periods of 1997-2007, 1997-2017 and 2007-2017 were used, and deforestation and forest recovery of Sardasht using 14 variables for 2027, 2037 and 2047 were predicted. Results showed that over 20-year studied time period (1997 to 2017) despite 2372.57 ha recovery of Sardasht forests, 10314.63 ha deforestation occurred. Deforestation and forest recovery modeling by all three scenarios with good Receiver Operating Characteristic curve (or ROC curve) (more than 0.8) for all scenarios, show a definite and increasing deforestation process in Sardasht over the next three decades, so based on the 1997-2007 scenario, it is anticipated that 22296.24 ha of forests in the region will be destroyed over the next 30 years. The results of this research can be used for proper conservation planning and increasing regulatory programs in areas with high degradation potential.

Keywords: Forest recovery, Deforestation, Sardasht, Land Transformation Model (LTM), Modeling.

* Corresponding author

Tel: +984431942388

تعیین الگوی مکانی و رقابت بین گونه‌ای توده آمیخته سرخدار در جنگل‌های افراتخته علی‌آبادکتول

عارف حسابی^۱، سیدجلیل علوی^{۲*} و امید اسماعیل‌زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. (aref.hesabi@modares.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. (j.alavi@modares.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه علوم و مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران. (oesmailzadeh@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۰/۱۵

چکیده

الگوی پراکنش و نحوه اجتماع‌پذیری درختان گونه‌های مختلف ارتباط مستقیمی با پویایی و روابط بین گونه‌ای درختان در بوم‌سازگان‌های طبیعی جنگل دارد. هدف از این پژوهش، تعیین الگوی مکانی درختان سرخدار، ممرز و لور و همچنین تحلیل رقابت بین درختان سرخدار با دو گونه دیگر در ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته شهرستان علی‌آبادکتول بود. پس از جنگل‌گردشی، توده مورد نظر انتخاب شده و موقعیت مکانی گونه‌ها با استفاده از دستگاه فاصله‌یاب لیزری، TP360 به روش فاصله و آزیموت ثبت شد. در مجموع ۳۶۶ پایه سرخدار، ۴۷ پایه ممرز و ۷۱ پایه لور مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج تابع تک متغیره همبستگی جفتی نشان داد که پراکنش مکانی سه گونه از الگوی تصادفی پیروی می‌کند. بررسی رقابت بین گونه‌ها با استفاده از تابع دو متغیره همبستگی جفتی نشان داد که بین درختان سرخدار با درختان ممرز و لور رقابتی وجود نداشته یا بسیار کم است. میانسال‌بودن توده و رسیدن به مرحله بلوغ از عوامل مهم شکل‌گیری الگوی تصادفی برای سه گونه سرخدار، ممرز و لور است. سرشت نوری درختان جنگلی، وجود تغذیه متفاوت درختان گونه‌های مختلف و رشد درختان در عرصه‌های پرشیب و کم‌شیب با بسترهای مختلف خاکی هم می‌تواند دلیلی بر نبود رقابت منفی بین گونه‌ها باشد. بنابراین برای احیاء این گونه با ارزش باید تلاش شود که سرخدار در عرصه‌های کم‌شیب و با عمق زیاد خاک استقرار پیدا کند.

واژه‌های کلیدی: اجتماع‌پذیری، پراکنش، تابع همبستگی جفتی $g(r)$ ، لور، ممرز.

مقدمه

همان‌طور که اشاره شد یکی از عوامل مؤثر بر الگوهای مکانی درختان، رقابت است. رقابت یک فرآیند بوم-شناختی بنیادی است که پویایی، زنده‌مانی و رشد گونه-های یک جمعیت را تنظیم می‌کند. الگوی پراکنش درختان در توده جنگلی نیز یکی از تبعات و اثرات رقابت در جنگل است (Harvey et al., 2002). در واقع، تحلیل الگوی مکانی و نحوه اجتماع‌پذیری درختان در جنگل‌های طبیعی اطلاعات مناسبی در ارتباط با فرآیندهای مختلف بوم‌شناختی مانند روند رویش، مقدار زی‌توده، رقابت و مرگ و میر برای شبیه-سازی، احیاء و توسعه جنگل‌ها در اختیار قرار می‌دهد (Kazempour Larsary et al., 2017). تحلیل الگوی پراکنش درختان یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های ارزیابی و پیش‌بینی ویژگی‌های آتی جنگل بوده که در ارتباط تنگاتنگ با رقابت، کانون زادآوری و پراکندگی درختان در بوم‌سازگان‌های طبیعی جنگل است (Harvey et al., 2002). با استفاده از تحلیل‌های الگوی مکانی و اجتماع-پذیری، توزیع مکانی درختان هر یک از گونه‌های مختلف، ویژگی‌های آشیان‌های بوم‌شناختی و فیزیولوژیکی و سهم عوامل مختلف رویشگاهی در ارتباط با الگوی پراکنش و نحوه اجتماع‌پذیری درختان شناسایی خواهد شد.

سرخدار (*Taxus baccata* L.) معروف به English yew یا common yew متعلق به خانواده Taxaceae بوده که جزء بازدانگان همیشه‌سبز بدون مجاری رزین است (Thomas and Polwart, 2003). سرخدار در جنگل‌های شمال ایران در ارتفاعات نسبتاً زیاد دیده می‌شود که اغلب به‌صورت پراکنده است ولی در بعضی نقاط مانند جنگل‌های ترک‌جهان نما، افراخته و سیاه‌رودبار واقع در دره زرین‌گل علی‌آباد کتول به‌صورت انبوه و تقریباً خالص دیده می‌شود (Esmailzadeh, 2003). سرخدار در گذشته گسترش

بدون شک یکی از اولین مراحل دست‌یابی به یک برنامه‌ریزی جامع در خصوص مدیریت جنگل، بررسی نحوه پراکنش گونه‌ها و الگوی مکانی آن‌ها است. الگوی مکانی یکی از شاخص‌های کمی جمعیت‌ها بوده و مهم‌ترین شاخص برای تشریح ساختار توده جنگلی است. موقعیت مکانی یک گونه حاصل عوامل مختلف زیستی و غیرزیستی یک توده جنگلی است و این ویژگی نه تنها یک مشخصه مهم مکانی بوده، بلکه یکی از مشخصات کمی اصلی درختان در جنگل نیز محسوب می‌شود. الگوی مکانی و روابط متقابل میان درختان نشان‌دهنده یکپارچگی ساختار جوامع جنگلی، پویایی و پایداری آن‌ها است که ممکن است در مراحل مختلف رشد درختان متفاوت باشد (Xu et al., 2014). شناخت ساختار مکانی یکی از مراحل مهم در درک فرآیندهای بوم‌شناختی است که پراکنش و الگوی مکانی درختان در جنگل را به‌وجود می‌آورد. تحلیل الگوی مکانی درختان یکی از راه‌های مناسب در بررسی ساختار افقی آن‌ها و درک نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر است. همچنین از نتایج این تحلیل می‌توان به فرآیندهایی پی‌برد که با مشاهدات میدانی قادر به شناسایی نیستند و چنین دستاوردی در رویشگاه‌ها و گونه‌هایی که داده‌های اندکی در مورد آن‌ها وجود دارد، بسیار باارزش است (Xu et al., 2014).

بررسی‌ها نشان داده‌اند که الگوی مکانی و اندازه درختان در جوامع جنگلی به‌هم وابسته بوده و به‌طور معمول تحت تأثیر رقابت و ناهمگنی رویشگاه هستند (Chen et al., 2011). از مسائل مهمی که ذهن پژوهشگران این حوزه را به‌خود مشغول کرده این است که چگونه رقابت سبب تعیین الگوی مکانی گونه‌ها خواهد شد و تغییرات توزیع مکانی درختان در طول فرآیند توالی در جنگل به چه صورتی خواهد بود.

Kazempour Larsary et al. در بررسی الگوی پراکنش، رقابت و اجتماع‌پذیری در مراحل تحولی مختلف درختان راش و ممرز نشان داد که الگوی مکانی این توده در مراحل اولیه، بلوغ و پوسیدگی به‌ترتیب کپه‌ای شدید، کپه‌ای ضعیف و تصادفی معرفی شد. همچنین تفاوت در ساختار، تنوع سرشت اکولوژیکی و تفاوت در واکنش گونه‌های مختلف نسبت به متغیرهای محیطی از عوامل مؤثر بر رقابت بین درختان راش و ممرز معرفی شد. در بررسی Miao et al. (2018) مشخص شد که اثرات فاصله درختان از هم و اندازه و ابعاد آن‌ها نقش مهمی در تعیین الگوی مکانی درختان ایفا می‌کند. در پژوهشی Hesabi et al. (2019) با بررسی اثر متقابل درون گونه‌ای سرخدار با استفاده از آماره O-ring در جنگل‌های افراخته به این نتیجه رسیدند که اثر متقابل منفی بین درختان بالغ و زادآوری سرخدار وجود دارد به‌طوری که امکان زادآوری سرخدار بسیار کم و غیر-ممکن شده است که از عوامل مؤثر این رقابت اثرات سمی تاکسول موجود در درختان سرخدار که موجب سمی شدن زیرآشکوب و محیط اطراف درختان سرخدار شده است. Omidvar Hosseini et al. (2015) با استفاده از آماره O-ring رقابت درون گونه‌ای درخت بلندمازو (*Quercus castaneifolia* C.A.Mey) را در جنگل‌های نکا تعیین کردند. مشخص شد که درختان بلندمازو دارای اثرات رقابتی مثبت و منفی متفاوتی در طبقه‌های مختلف قطری نسبت به هم هستند که در فاصله‌های متفاوتی با توجه به اندازه درختان اتفاق می‌افتد که متأثر از نورپسندی، محدودیت پراکنش بذر و رقابت درون گونه‌ای این گونه است. در پژوهشی Vahedi et al. (2016) الگوی مکانی درختان سفیدپلت را در پارک جنگلی نور مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیل الگوی مکانی با استفاده از تابع او-رینگ نشان داد که الگوی پراکنش درختان سفیدپلت در مرحله

وسعی در نیمکره شمالی داشته است اما متاسفانه امروزه رویشگاه‌های طبیعی آن بسیار کوچک و کم شده است. درخت سرخدار به‌دلیل دیرزیستی بسیار بالای آن همانند یک فسیل زنده بوده و تمامی ویژگی‌های رویشگاه خود را نشان می‌دهد. این درخت به‌دلیل داشتن ماده‌ای در اندام‌های خود به نام تاکسول که از آن برای درمان سرطان استفاده می‌شود بسیار حائز اهمیت بوده و در چندین کشور در فهرست گونه‌های قرمز و بسیار باارزش قرار دارد (Thomas and Polwart, 2003).

در پژوهشی Ebady andomidvar (2011) اثر برخی از عوامل اکولوژیکی در چگونگی پراکنش درختان سرخدار در جنگل‌های ارسباران را مورد پژوهش قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که سرخدار دامنه ارتفاعی ۱۲۰۰-۱۳۰۰ متری، شیب‌های ۵۱-۷۲ درصد و جهت‌های شمالی را بیشتر ترجیح می‌دهد. Ghanbari et al. (2019) ویژگی‌های ساختاری و ترکیب جوامع جنگلی سرخدار در سه توده در جنگل-های ارسباران را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ۴ گونه ممرز، افرا، سرخدار و بلوط سیاه حدود ۸۸ درصد از تراکم درختان موجود در توده‌ها را تشکیل می‌داد، همچنین پایه‌های سرخدار تعداد در هکتار و سطح مقطع پایینی نسبت به دیگر گونه‌ها در توده‌های مورد بررسی داشتند. Jafari Afrapoly et al. (2019) در پژوهشی که در جنگل‌های افراخته انجام دادند به این نتیجه رسیدند که الگوی پراکنش درختان سرخدار با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت و کلارک ایوانز به-صورت تصادفی است. همچنین با استفاده از شاخص آمیختگی دریافتند که سرخدار با دیگر گونه‌ها به‌صورت آمیخته درآمده است. شاخص فاصله و شاخص تمایز قطر و ارتفاع نیز نشان دهنده اختلاف کم در قطر و ارتفاع این گونه بود. نتایج پژوهش (2017)

در دو ذخیره‌گاه افراخته و گزو به ترتیب در طبقات ارتفاعی ۱۲-۱۶ و ۱۸-۲۴ متر بودند. در رویشگاه گزو بیشترین فراوانی درختان قطور و بلند تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری از سطح دریا و در دامنه‌های متوسط با شیب ۴۰ تا ۵۰ درصد بود. درحالی‌که در افراخته درختان قطور و بلند در ارتفاع ۱۶۰۰-۱۶۲۰ متر از سطح دریا و در مناطق رو به شرق با شیب ۵۵-۶۵ بودند. همچنین نرخ مرگ و میر در کلاسه‌های سنی اول بیشترین مقدار را داشته است. نتایج این پژوهش نشان داد که باید از زادآوری گروهی سرخدار به وسیله عملیاتی مانند تنک کردن، برداشت برخی درختچه‌ها و حذف گونه‌های دیگر درختان حمایت کرد. هر چند در پژوهش‌های گذشته، از توابع و آماره‌های متعددی برای تحلیل الگوهای مکانی گونه‌های درختی و اثرات متقابل آن‌ها انجام شده است، با این وجود پژوهش‌های اندکی روی الگوی پراکنش و رقابت بین گونه‌ای گونه سرخدار انجام شده است؛ از این رو این پژوهش با تحلیل الگوی مکانی و اثرات متقابل گونه‌های همراه و سرخدار می‌تواند اطلاعات مناسبی را در خصوص این گونه با ارزش ارائه دهد.

با توجه به این که گونه سرخدار جزء گونه‌های در معرض خطر انقراض است، کسب اطلاعات کمی مناسب در شرایط طبیعی به منظور حفظ و گسترش این گونه کاملاً ضروری به نظر می‌رسد (Alavi et al., 2020). بنابراین بررسی الگوی مکانی درختان و اثرات متقابل آن‌ها در توده جنگل، ابزار مناسبی برای درک صحیح‌تر رویدادهایی است که در گذشته توده اتفاق افتاده و از این رو می‌تواند گامی مؤثر در مدیریت توده‌های جنگلی باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند در برنامه‌ریزی برای احیا و گسترش این گونه و همچنین جلوگیری از انقراض آن در آینده مورد استفاده محققین و سازمان‌های مربوطه قرار گیرد. تعیین الگوی پراکنش

صعودی و اوج در برخی فواصل محدود به صورت کپه-ای و در بقیه فواصل با توجه به تراکم پراکنش در محدوده مونت کارلو به صورت تصادفی است. در پژوهشی دیگر (Zabiolahi et al. 2015) الگوی پراکنش مکانی گونه‌های درختی در جنگل‌های هواره-خول شهرستان بانه را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج این بررسی نشان داد که الگوی پراکنش درختان به صورت کپه‌ای است، از دلایل شکل‌گیری این الگو می‌توان به شغل اصلی جنگل‌نشینان که دامداری است و فعالیت‌های آنان مانند سرشاخه زنی، چرای دام و... اشاره کرد که الگو را از حالت طبیعی خارج کرده و به سمت کپه‌ای برده است. در پژوهشی (Kang et al. 2017) الگوی مکانی و وضعیت رقابت درون و بین گونه‌ای دو جنگل بلوط را در مراحل رویشی مختلف مورد پژوهش قرار دادند. در این پژوهش از تابع تک و دومتغیره O-ring استفاده شد. نتایج نشان داد که رقابت شدیدی بین درختان کاج و بلوط، وجود دارد که متأثر از سنگینی بذور دو گونه است. (Erfanifard et al. 2018) رقابت بین درختان نر و ماده گونه بنه، را در یک توده ۳۵ هکتاری با استفاده از توابع همبستگی جفتی و همبستگی نشان‌دار مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در فواصل کم درختان یکدیگر را جذب می‌کنند به عبارتی درختان بنه بدون هیچگونه رقابتی در کنار هم رشد می‌کنند و با افزایش فاصله این حالت جذب رفته‌رفته کم می‌شود. این ممکن است به دلیل شرایط ناهمگن محیط باشد. همچنین (Ahmadi et al. 2020) در پژوهشی ساختار رویشگاه سرخدار در دو منطقه گزو و افراخته را مورد بررسی قرار دادند، در این پژوهش سه ویژگی نام گونه، قطر برابر سینه و ارتفاع تمامی درختان اندازه‌گیری شد. مقایسه توزیع قطر در کلاسه‌های قطری در دو ذخیره‌گاه نشان داد که هیچ اختلاف آماری بین دو جمعیت وجود ندارد. بیشترین تعداد درختان سرخدار

معدود رویشگاه‌های سرخدار جنگل‌های شمال است که در آن درختان سرخدار قطور و تنومند به‌طور انبوه یافت می‌شوند. این ویژگی، رویشگاه سرخدار افراخته را در زمره یکی از رویشگاه‌های منحصراً به‌فرد قرار داد، تا اینکه در سال ۱۳۷۱ به‌عنوان ذخیره‌گاه معرفی شد (Javanshir, 1999).

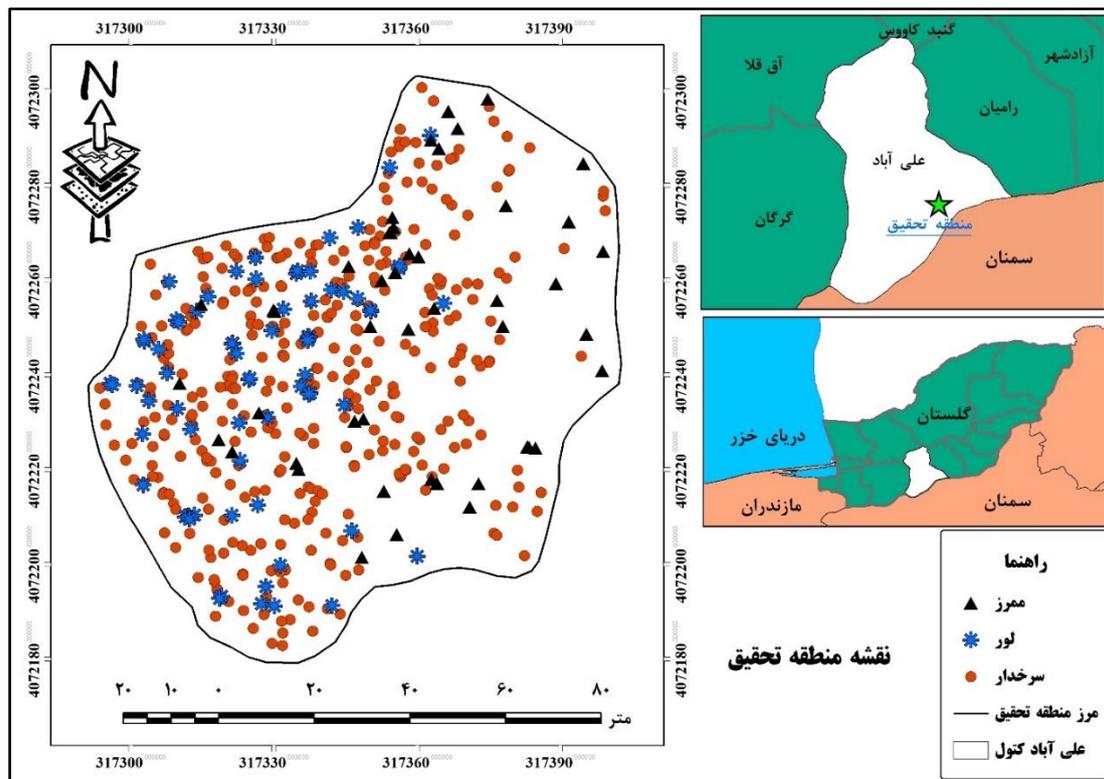
جنگل‌های افراخته در ۲۹ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان علی‌آباد کتول در استان گلستان به مساحت ۳۵۲ هکتار قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه حدود ۱۰۰۰ میلی‌متر و متوسط دما سالانه ۱۰/۵ درجه سانتی-گراد برآورد شده، همچنین محدوده ارتفاعی منطقه ۱۳۵۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا است، شیب عمومی منطقه ۷۵ درصد و جهت جغرافیایی آن عمدتاً شرقی، شمال‌شرقی و شمال‌غربی است (Esmailzadeh, 2003) (شکل ۱).

گونه سرخدار، و رقابت بین دیگر گونه‌ها با گونه سرخدار، که یکی از معدود سوزنی برگان بومی جنگل-های کشورمان بوده و درخطر انقراض است می‌تواند کمک شایانی به کشف روابط بین درختان و جلوگیری از انقراض این گونه با ارزش بکند. از این‌رو هدف این پژوهش شناخت الگوی مکانی گونه‌های سرخدار، ممرز و لور و تحلیل رقابت بین درختان سرخدار با دو گونه مذکور است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در جنگل‌های آمیخته سرخدار واقع در روستای افراخته شهرستان علی‌آباد کتول در مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 46' 41''$ تا $36^{\circ} 46' 46''$ درجه عرض شمالی و $54^{\circ} 57' 22''$ تا $54^{\circ} 57' 08''$ درجه طول شرقی، انجام شده است. رویشگاه سرخدار افراخته از



شکل ۱- منطقه پژوهش

Figure 1. Study area

جمع‌آوری داده

در این پژوهش، پس از جنگل‌گردشی، توده جنگلی مورد نظر (آمیخته‌بودن و تعداد کافی درختان سرخدار، ممرز و لور برای تعیین الگوی مکانی و رقابت بین درختان سرخدار با دو گونه دیگر و همچنین کمترین مقدار دست‌خوردگی ناشی از عوامل انسانی و غیر-انسانی) انتخاب و مرز منطقه مورد بررسی بر اساس عوارض طبیعی جنگل بسته شد (در حدود ۲ هکتار). پس از تعیین محدوده منطقه پژوهش، مختصات اولین درخت با استفاده از دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) برداشت شد این نقطه نسبت به منطقه در موقعیت شمال‌شرقی قرار داشت. به دلیل اینکه در جنگل‌های شمال کشور فاصله درختان از یکدیگر زیاد نیست و دقت GPS هم در بهترین حالت حدود ۴ متر است؛ از این‌رو برای دقت بیشتر در تعیین موقعیت مکانی، از دستگاه TP360B (TruePulse 360 B Rangefinder) و از روش (Laser Rangefinder, Laser Technology) و از روش فاصله-آزیموت استفاده شد. در این روش موقعیت مکانی درختان ممرز و لور با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر و درختان سرخدار با قطر بیش از ۲/۵ سانتی-متر به صورت آماربرداری صددرصد اندازه‌گیری شد (Casals et al, 2015).

تابع همبستگی جفتی $g(r)$

روش‌های مختلفی برای تعیین و نشان دادن الگوی مکانی درختان در توده‌های جنگلی وجود دارد. از توابعی که برای تشریح الگوی مکانی می‌توان از آن‌ها بهره جست توابع K رایپلی، همبستگی جفتی $g(r)$ و O-ring هستند که در پژوهش‌های متعددی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. تابع K رایپلی و شکل خطی آن یعنی تابع L به صورت تجمعی هستند، یعنی بیشتر ماهیت کپه‌ای داشته و در مقیاس کم تفسیر الگو دشوار می‌شود. برای بهبود کار دو آماره همبستگی جفتی و O-

ring توسعه پیدا کردند. این تابع یکی از مشتقات تابع K رایپلی است که بیانگر تراکم نقاط در دایره به شعاع r و مرکز تصادفی در محدوده مورد بررسی است.

$$g(r) = \frac{dK(r)}{(2\pi r)(dr)} \quad \text{رابطه ۱}$$

در رابطه ۱، dr و $dK(r)$ مشتق تابع r و K هستند. به ترتیب اگر مقدار تابع بیشتر از یک، برابر یک و کمتر از یک شود، الگوی مکانی کپه‌ای، تصادفی و پراکنده خواهد شد (Illian et al., 2008). در پژوهش‌های قبل به توانایی این تابع در تشخیص درست الگوی مکانی اشاره شده است (Omidvar Hosseini et al, 2015; Chen et al, 2011). در پژوهش‌ها فرض صفر برای تحلیل الگوی مکانی را الگوی تصادفی کامل قرار می‌دهند. برای تحلیل‌های دومتغیره از فرض صفر مستقل-بودن دو گروه نسبت به یکدیگر یا به بیان دیگر نبود اثر متقابل استفاده می‌شود. برای آزمون فرض صفر و بررسی اختلاف معنی‌داری نتایج حاصل از تابع همبستگی جفتی $g(r)$ ، از آزمون مونت-کارلو استفاده شد. در صورتی که مقادیر تابع همبستگی جفتی تک و دو متغیره در داخل محدوده مونت-کارلو قرار گیرند، در آن فاصله فرض صفر تأیید و در صورتی که این مقادیر خارج از محدوده مونت-کارلو قرار گیرد، فرض صفر رد می‌شود. در حالت رد شدن فرض صفر، الگوی مکانی تنها دو حالت کپه‌ای و پراکنده را می‌تواند داشته باشد. با توجه به این که شکل قطعه مورد بررسی نامنظم است در این پژوهش برای رفع اثر حاشیه‌ای که به دلیل کاهش تعداد درختان در نزدیکی مرز منطقه مورد بررسی رخ می‌دهد از روش تصحیح حاشیه "Plants are not allowed to fall outside" به‌طور خودکار در نرم افزار Programita فعال می‌شود استفاده شد (Wiegand, 2006). در این پژوهش فاصله مورد عمل برای تابع تک و دو متغیره همبستگی جفتی ۵۰ متر در

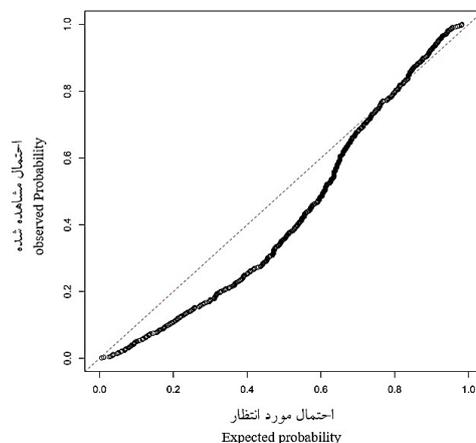
معنی‌دار با توزیع تصادفی در قطعه نمونه‌های آماربرداری شده انتخاب شد. اگر مقدار تابع خارج از محدوده مونت-کارلو باشد معنی‌داری نتیجه در سطح ۰/۰۵ از نظر آماری تأیید می‌شود و اگر مقدار تابع در داخل محدوده مونت-کارلو باشد، از نظر آماری با حالت تصادفی در سطح ۰/۰۵ معنی‌داری ندارد. تمامی محاسبات مربوط به تعیین مقادیر تابع تک متغیره و دو متغیره همبستگی جفتی $g(r)$ در بررسی حاضر و حدود مونت‌کارلو با ۱۹۹ بار شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار Programita نسخه ۲۰۱۴ انجام شد.

نتایج

بررسی همگنی توزیع درختان

نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف به منظور بررسی همگنی پراکنش درختان سرخدار، ممرز و لور نشان داد که درختان از توزیع پواسون ناهمگن ($D=0.163, p < 0.05$) پیروی می‌نمایند (شکل ۲). بنابراین در تحلیل الگوی پراکنش از شکل ناهمگن توابع استفاده خواهد شد. در این پژوهش به منظور تعیین الگوی مکانی سه گونه مذکور و بررسی رقابت بین درختان سرخدار با دو گونه دیگر از تابع تک و دو متغیره همبستگی جفتی $g(r)$ استفاده شده است.

نظر گرفته شد، چرا که بر اساس پژوهش‌های گذشته انتظار می‌رود که اثر متقابل درختان در فاصله ۵۰ متر به حداقل برسد (Moer, 1993; Salas et al, 2006). لازم به ذکر است در بررسی حاضر به دلیل شکل نامنظم منطقه از قطعات نمونه ثابت با ابعاد مشخص استفاده نشده و کل منطقه به صورت کلی مورد تحلیل قرار گرفته است. همچنین نرم‌افزار مورد استفاده با توجه به فاصله درختان از هم و محدوده منطقه به صورت هوشمند فاصله مورد عمل را انتخاب می‌کند. به منظور جلوگیری از بروز خطا در تحلیل الگوی پراکنش، نیاز است همگنی پراکنش درختان، مورد بررسی قرار گیرد؛ چرا که همگن یا ناهمگن بودن پراکنش داده‌ها، انتخاب نوع تابع برای تحلیل الگوی مکانی را تحت الشعاع قرار می‌دهد. در این پژوهش برآزش توزیع آماری پواسون همگن بر توزیع مکانی درختان انجام شد و معنی‌داری اختلاف این دو توزیع در سطح اطمینان ۹۵ درصد از طریق آزمون نیکویی برآزش کولموگروف-اسمیرنوف ارزیابی شد (Gelfand et al., 2010). برای بررسی صحت نتایج در سطح ۵ درصد، از ۱۹۹ بار تکرار محاسبات آزمون مونت-کارلو استفاده شد. پنجمین حد بالا و پنجمین حد پایین تکرارها به عنوان محدوده بدون اختلاف



شکل ۲- نمودار آزمون نیکویی برآزش کولموگروف-اسمیرنوف برای بررسی همگنی پراکنش

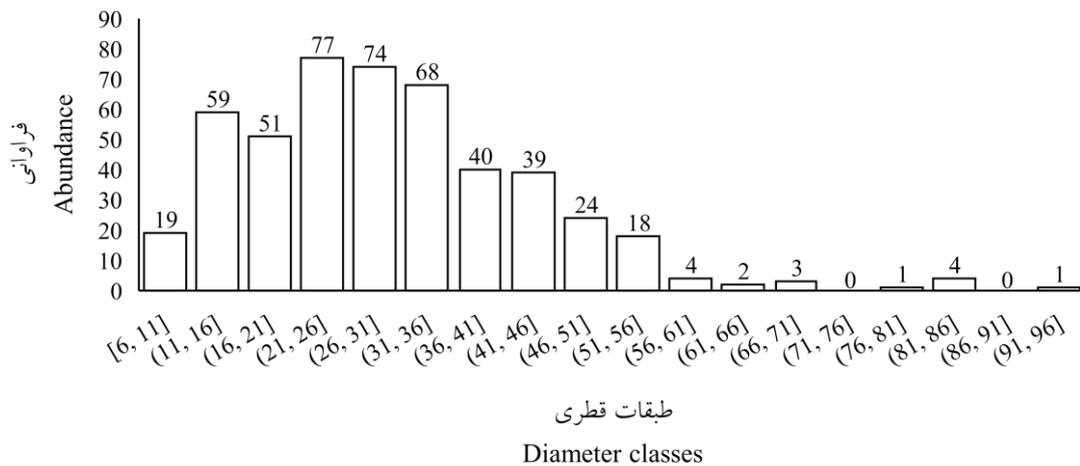
Figure 2. Kolmogorov-Smirnov Goodness of fit test for Investigation of distribution homogeneity

در جدول ۱ مشخصات کمی توده و در شکل ۳ سینه ۳۶۶ درخت سرخدار، ۴۷ پایه ممرز و ۷۱ پایه لور نیز فراوانی قطر درختان منطقه پژوهش آورده شده است. همچنین در مجموع موقعیت مکانی و قطر برابر

جدول ۱- مشخصات کمی توده

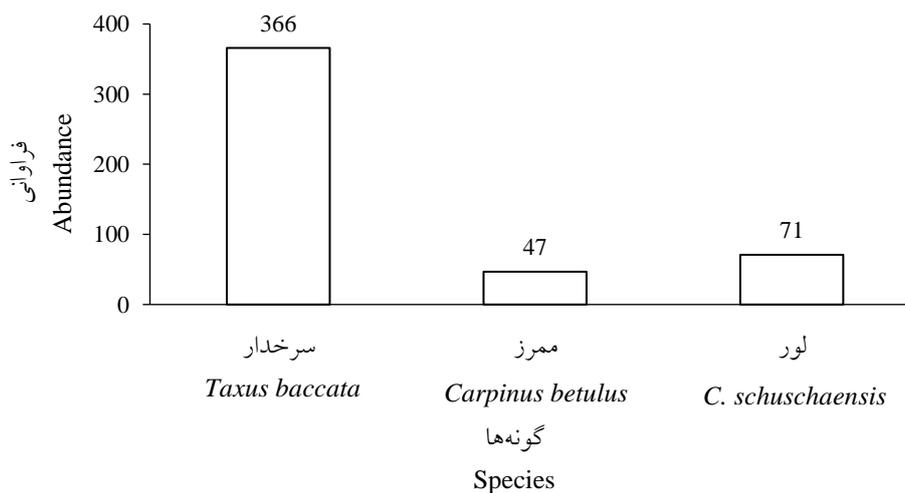
Table 1. Quantitative Specifications of the stand

ضریب تغییرات قطر Coefficient of variation diameter	انحراف معیار قطر Standard deviation diameter	بیشینه قطر (cm) Maximum diameter (cm)	متوسط قطر (cm) Medium diameter (cm)	کمینه قطر (cm) Minimum diameter (cm)
0.45	13.78	95	30.4	6



شکل ۳- فراوانی در طبقات قطری درختان منطقه پژوهش

Figure 3. Frequency at DBH classes in the study area



شکل ۴- نمودار فراوانی گونه‌ها

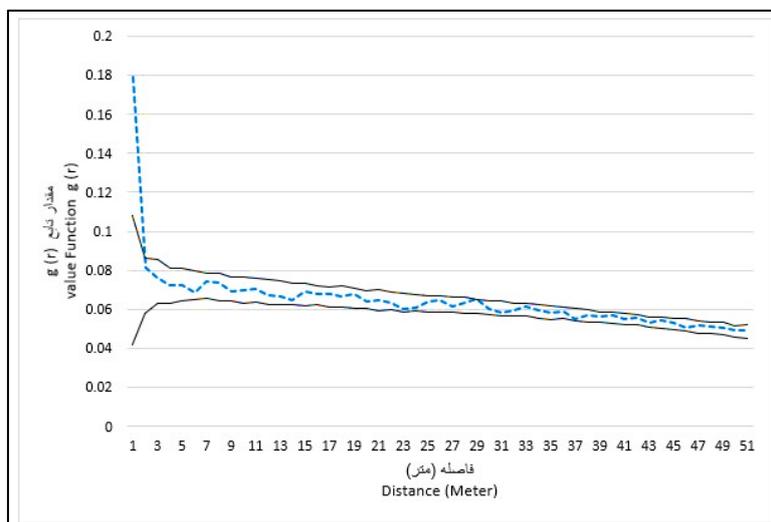
Figure 4. Chart of species abundance

که از شکل پیداست منحنی تابع در تمامی فواصل کاملاً در محدوده مونت-کارلو قرار گرفته است که نشان‌دهنده

در شکل ۵ نتیجه الگوی مکانی درختان سرخدار با استفاده از تابع همبستگی جفتی آمده است. همان‌طور

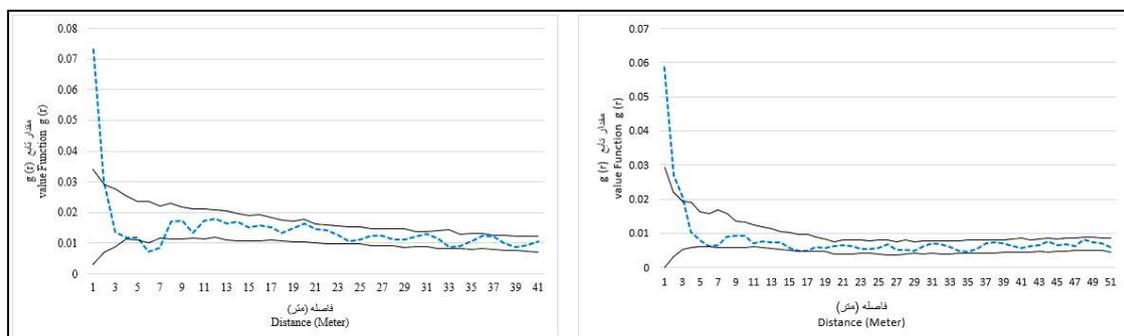
می‌توان نتیجه گرفت که الگوی پراکنش دو گونه در منطقه پژوهش به صورت تصادفی بوده، زیرا منحنی کاملاً در محدوده مونت-کارلو قرار گرفته است.

الگوی تصادفی برای درختان سرخدار است. همچنین در شکل ۶ الگوی مکانی درختان ممرز و لور با استفاده از تابع تک-متغیره همبستگی جفتی آورده شده است، با توجه به منحنی الگوی مکانی درختان ممرز و لور



شکل ۵- الگوی مکانی درختان سرخدار با بهره‌گیری از تابع تک متغیره همبستگی جفتی $g(r)$

Figure 5. Spatial pattern of yew trees using univariate pair correlation function $g(r)$

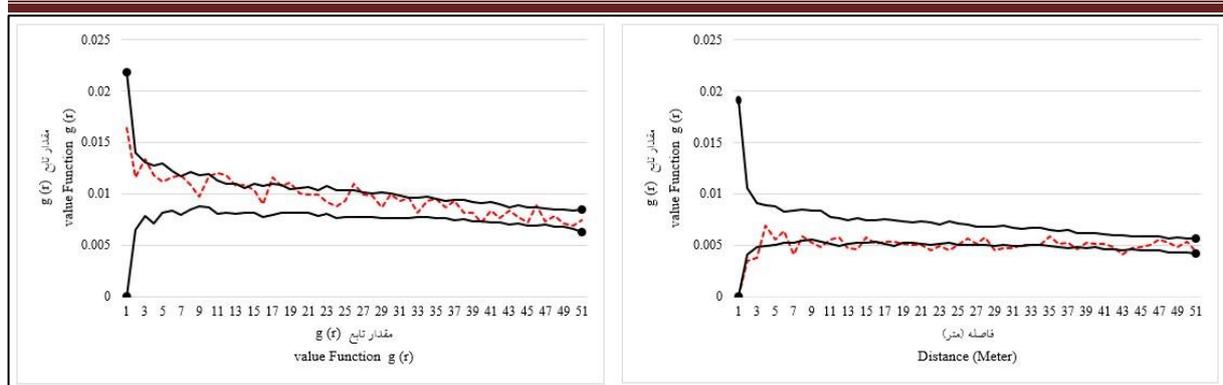


شکل ۶- الگوی مکانی درختان ممرز (سمت راست) و لور (سمت چپ) با بهره‌گیری از تابع تک متغیره همبستگی جفتی $g(r)$

Figure 6. Spatial pattern of hornbeam trees (right) and Oriental hornbeam (left) using univariate pair correlation function $g(r)$

محدوده مونت کارلو است. اما با بررسی نتیجه رقابت درختان سرخدار با درختان لور در منطقه پژوهش می‌توان گفت که این دو گونه در محدوده بررسی بدون رقابت با یکدیگر هستند، زیرا منحنی کاملاً در محدوده مونت کارلو قرار گرفته است.

نتایج رقابت بین درختان سرخدار با درختان ممرز و لور در منطقه پژوهش در شکل ۷ نشان داده شده است. با تحلیل نتیجه رقابت بین درختان سرخدار با ممرز می‌توان نتیجه گرفت که رقابت ضعیفی بین این دو وجود دارد، زیرا منحنی در محدوده مونت-کارلو قرار نگرفته است و مقداری متمایل به حد پایین



شکل ۷- منحنی رقابت درختان سرخدار با ممرز (سمت راست) و لور (سمت چپ) با بهره‌گیری از تابع دو متغیره همبستگی جفتی $g(r)$

Figure 7. Figure 7. Competition curve of yew trees with hornbeam (right) and Oriental hornbeam (left) using bivariate pair correlation function $g(r)$

یکنواختی رویشگاه، محدودیت پراکنش بذر، و یا رقابت بین گونه‌ای اشاره کرد (Hao et al., 2007). رقابت بین گونه‌ای از عوامل مهم در تعیین نوع الگوی است و به‌طور معمول الگوی مکانی پایه‌های جوان نسبت به دیگر سنین کپه‌ای است، به‌طوری که با افزایش قطر یا سن پایه‌ها از میزان کپه‌ای بودن کاسته می‌شود که در راستای نتایج پژوهش حاضر است، زیرا توده مورد پژوهش اغلب از درختان میانسال و مسن تشکیل شده بود و الگو نیز تصادفی معرفی شد (Salas et al., 2006). یکی دیگر از دلایلی که سبب ایجاد الگوی تصادفی می‌شود رسیدن به مرحله بلوغ و عدم نیاز به پایه‌های مادری است که درختان پس از بلوغ برای به‌دست آوردن مواد غذایی با درختان مادری و بعضاً با دیگر درختان رقابت می‌کنند (Hesabi et al., 2019). این رقابت سبب می‌شود که هریک از درختان محیط مشخصی برای خود احاطه کرده و نیازهای خود را تأمین کند بدین ترتیب سبب پراکنش تصادفی درختان در جنگل خواهد شد، که با نتایج این پژوهش سازگار است. در پژوهشی (Fowler et al., 1986) به این نتیجه رسیدند که اثر متقابل منفی بین درختان سبب ایجاد الگوی تصادفی می‌شود، به این صورت که پس از

بحث

نتایج تابع تک‌متغیره همبستگی جفتی نشان داد که پراکنش مکانی سه گونه سرخدار، ممرز و لور از الگوی تصادفی پیروی می‌کند. عوامل مختلفی در شکل‌گیری الگوهای پراکنش درختان اکوسیستم جنگل دخالت دارند. در منطقه پژوهش بیش از ۸۰ درصد درختان در مرحله رویشی تنومند بودند، با توجه به این موضوع که متوسط سالیانه رویش قطری سرخدار ۰/۲۸ تا ۱/۵۶ میلی‌متر است (Lesani, 1999)، همچنین توزیع درختان در طبقات قطری مختلف نشان دهنده یک جنگل ناهمسال و مسن است (Ahmadi et al, 2020). بررسی در مورد پراکنش درختان در طبقات قطری در توده مورد بررسی نشان دهنده این است که سرخدارهای مورد بررسی همسال هستند که با نتایج Afrapoly (2019) et al. مطابقت دارد. همچنین با بررسی ترکیب و آمیختگی گونه‌ها می‌توان نتیجه گرفت که درختان در مراحل اولیه رویشی نبوده به‌همین دلیل رقابت‌شان بر سر نور، شرایط اکولوژیک و مواد غذایی کم شده و به صورت تصادفی در کنار یکدیگر محیط مشخصی را هرکدام برای خود احاطه کرده‌اند. از عوامل دیگر در شکل‌گیری الگوی پراکنش درختان می‌توان به عدم

بیشتری که از یکدیگر دارند اثر رقابتی آن‌ها کاهش می‌یابد (Salas et al., 2006). سرخدار با لور در شیب‌های تند منطقه با عمق کم خاک حضور می‌یابد (Esmailzadeh and Hosseini, 2007). درختان لور همراه با درختان سرخدار که از تراکم آن‌ها کاسته شده در کنار هم بدون اثر متقابل رشد می‌یابند. شیب تند و پایین بودن عمق خاک و در نتیجه سخت شدن شرایط بوم‌شناختی رویشگاه (فقر عناصر غذایی خاک و کاهش رطوبت خاک) نه تنها سبب می‌شود تا از تراکم درختان سرخدار کاسته شود، بلکه زمینه کاهش مشخصات کمی درختان (قطر و ارتفاع) سرخدار را نیز منجر می‌شود که این مسئله سبب می‌شود تا از غلبه درختان سرخدار و اثر رقابتی آن‌ها در سطح منطقه کاسته شود. کاهش اثر رقابتی سرخدار سبب می‌شود تا نور و فضای کافی برای دیگر گونه‌های همراه سرخدار در این منطقه فراهم شود. لور در شیب‌های تند جنگل‌های هیرکانی به دلیل بردباری به شرایط رویشگاهی سخت (عمق کم خاک و شیب بالا) با تراکم قابل توجه حضور می‌یابد (Esmailzadeh and Nour, 2017). حضور بالای گونه‌های زیراشکوب همیشک، خاس و کوله خاس به همراه انواع مختلف گونه‌های سرخس، بالابودن رطوبت هوا در توده‌های لور-سرخدار مستقر در شیب‌های تند شمالی ذخیره‌گاه سرخدار افراتخته را دلالت می‌کند (Esmailzadeh et al., 2007). بالا بودن رطوبت و در نتیجه مطلوبیت رویشگاهی برای درختان لور سبب شد تا درختان به نسبت قطور از این گونه در سطح منطقه قابل مشاهده باشد. کاهش تراکم درختان سرخدار به دلیل شیب تند از یک سو و از سوی دیگر استقرار درختان قطور و کهن سال لور در توده لور-سرخدار سبب شده است تا مقدار رقابت بین این دو گونه نیز بسیار اندک گزارش شود.

رسیدن درختان به مرحله بلوغ هر پایه به طور مستقل به صورت تصادفی در منطقه قرار می‌گیرد. همچنین در پژوهشی دیگر (Wang and Liu, 2011) به این نتیجه رسیدند که الگوی مکانی کپه‌ای با افزایش قطر گونه‌ها کاهش می‌یابد.

نتایج تحلیل رقابت گونه سرخدار با گونه‌های ممرز و لور با استفاده از تابع دو متغیره همبستگی جفتی نشان داد سرخدار با گونه ممرز رقابت ضعیفی داشته و با گونه لور بدون اثر متقابل است. در یک بررسی که بر روی چندین گونه درختی توسط (Da Silva et al., 2015) انجام شد به این نتیجه رسیدند که درخت سرخدار تأثیر بسیار منفی روی تجدید حیات خود و دیگر گونه‌ها دارد که به دلیل سایه‌اندازی شدید درختان سرخدار و جلوگیری از نفوذ نور در زیراشکوب جنگل است. سایه شدید و کمبود نور نه تنها یک عامل بازدارنده در جوانه‌زنی بذور درختان پهن‌برگ منطقه و حتی بذور سرخدار می‌شود بلکه از رشد و استقرار معدود نونهال‌های رویش یافته نیز جلوگیری می‌شود (Hesabi et al., 2019). نتایج پژوهش حاضر همچنین تصریح می‌کند از آنجایی که طبقات قطری میان سال و جوان درختان ممرز در سطح منطقه بسیار اندک بوده و اغلب درختان ممرز در طبقه قطری بالا و مرحله سنی کهن‌سالی قرار دارند از این رو می‌توان اظهار داشت که بین درختان ممرز و سرخدار در منطقه مورد بررسی کنش رقابت وجود ندارد. نتایج این پژوهش از این نظر با نتایج پژوهش (Afrapoly et al., 2019) که در آن رقابت شدیدی بین درختان سرخدار و ممرز گزارش شد، مغایرت دارد. در پایه‌های جوان که در مرحله پایین‌تر از مرحله رویشی تیر هستند، رقابت بین گونه‌ای بیشتر برای جذب نور، دسترسی به منابع آب و عناصر غذایی است؛ این در حالی است که در مراحل رویشی بالاتر از تیر، پایه‌های درختی در سطح منطقه مستقر شده و به دلیل فاصله

رویشگاه برای درختان سرخدار شده و تراکم سرخدار کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه درختان لور همراه با درختان سرخدار که از تراکم آن‌ها کاسته شده در کنار هم بدون اثر متقابل رشد می‌یابند. عوامل بوم‌شناختی زیستگاه در مواردی سبب کنترل رقابت بین درختان جنگل شده و درختان به این دلیل نمی‌توانند تمامی حفره‌های موجود در توده را تصاحب کنند (Nguyen et al., 2018). نتایج این پژوهش و مقایسه آن با دیگر پژوهش‌های انجام گرفته در این ذخیره‌گاه نشان داد که سرخدار بیشتر عرصه‌های با شیب کم و عمق زیاد خاک را می‌طلبد، همچنین درختان قطور و تنومند سرخدار در شیب‌های زیاد و عمق خاک کم مشاهده نشدند. برای احیاء این گونه باید سعی شود که بیشتر در شیب‌های کم و با عمق زیاد خاک استقرار پیدا کند.

References

- Ahmadi, K.; Jalil Alavi, S.; Zahedi Amiri, G.; Mohsen Hosseini, S.; Serra-Diaz, J. M.; Svenning, J. C., Patterns of density and structure of natural populations of *Taxus baccata* in the Hyrcanian forests of Iran. *Nordic Journal of Botany* **2020**, *38* (3), 1-10.
- Alavi, S.; Ahmadi, K.; Hosseini, S.; NOURI, Z., Modeling the potential habitat of English yew (*Taxus baccata* L.) in the Hyrcanian forests of Iran. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, *5*(4), 513-525. (In Persian)
- Casals, P.; Camprodon, J.; Caritat, A.; Rios, A. I.; Guixé, D.; Garcia-Marti, X.; Martin-Alcon, S.; Coll, L., Forest structure of Mediterranean yew (*Taxus baccata* L.) populations and neighbor effects on juvenile yew performance in the NE Iberian Peninsula. *Forest Systems* **2015**, *24* (3), e042-e042.
- Chen, J.; Liu, J.; Yang, X.; Wang, Y.; Yu, X., The structure and spatial patterns of three desert shrub communities in the western Ordos Plateau: implications for biodiversity conservation. *Journal of Food, Agriculture & Environment* **2011**, *9* (3/4 part 2), 714-722.

(2016) Nguyen et al. دریافتند که رقابت بین درختان در فاصله‌های کمتر از ۳۰ متر اتفاق می‌افتد. یکی دیگر از دلایل نبود رقابت بین سرخدار و لور وجود تغذیه متفاوت و احتیاجات بوم‌شناختی آن‌ها است. گونه لور جزو گونه‌های بردبار به نور بوده و معمولاً در اشکوب دوم جنگل ظاهر می‌شوند، اما درخت سرخدار برخلاف لور با توجه به اینکه بردبار به سایه بوده می‌تواند در اشکوب اول و جزو درختان آشکوب تاج‌پوشش نیز قرار گیرد، که در نتیجه طبق مشاهدات ما در منطقه، سرخدار جزو درختان آشکوب تاج‌پوشش توده بوده و لور در زیراشکوب سرخدار قرار گرفته بود که نشان می‌دهد این دو گونه رقابتی با هم ندارند (Kazempour Larsary et al., 2017). لور در عرصه‌های پر شیب و با حجم کم خاک رشد پیدا می‌کند، اما پر شیب بودن عرصه سبب کاهش مطلوبیت

- da Silva, J. A. T.; Karimi, J.; Mohsenzadeh, S.; Dobranszki, J., Allelopathic potential of select gymnospermous trees. *Journal of Forest and Environmental Science* **2015**, *31* (2), 109-118.
- Ehady, A.; Omidvar, A., Relationship between some ecological factors and distribution of yew tree (*Taxus baccata* L.) in Arasbaran forests (Case study: Ilganechay and Horand regions). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2011**, *19* (3), 327-339.
- Erfanifard, Y.; Nguyen, H. H.; Schmidt, J. P.; Rayburn, A., Fine-scale intraspecific interactions and environmental heterogeneity drive the spatial structure in old-growth stands of a dioecious plant. *Forest Ecology and Management* **2018**, *425*, 92-99.
- Esamailzadeh, O. Ecological assessment of Afratakhteh yew habitat using GIS. Master Thesis in Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University **2003**, 173p. (In Persian)
- Esamailzadeh, O., Hoseini, S.M., Tabari Kockaksaraie, M. A phytosociological study of English yew (*Taxus baccata* L.) in Afratakhteh reserve. *Iranian Journal of Research and construction* **2007**, *74* (1), 17-24. (In Persian)

- Esamailzadeh, O., Nour mohammadi, k. Introduction of total indicator value model (TIVM) in vegetaion classification. *Iranian Journal of Plant Researches* **2017**, 30(2), 244-258. (In Persian)
- Esmailzadeh, O. and Hosseini, S. A phytosociological study of English yew (*Taxus baccata* L.) in Afratakhteh reserve. *Journal of Pajouhesh Sazandegi* **2007**, 68, 75-66. (In Persian)
- Fowler, N., The role of competition in plant communities in arid and semiarid regions. *Annual review of ecology and Systematics* **1986**, 17 (1), 89-110.
- Gelfand, A. E.; Diggle, P.; Guttorp, P.; Fuentes, M., *Handbook of spatial statistics*. CRC press: 2010.
- Ghanbari, S.; Sefidi, K.; Fathizadeh, O., Composition and structure of English yew forest stands (*Taxus baccata* L.) in different conservation systems of Arasbaran forests, Iran. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2019**, 26 (2), 31-49. (In Persian)
- Hao, Z.; Zhang, J.; Song, B.; Ye, J.; Li, B., Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management* **2007**, 252 (1-3), 1-11.
- Harvey, B. D.; Leduc, A.; Gauthier, S.; Bergeron, Y., Stand-landscape integration in natural disturbance-based management of the southern boreal forest. *Forest ecology and management* **2002**, 155 (1-3), 369-385.
- Hesabi, A., Alavi, S.J., Esmailzadeh, O. Studying the interaction between English yew (*Taxus baccata* L.) adult trees and its regeneration in Afratakhteh Forest Reserve, Golestan province. *Iranian Journal of Forest* **2019**, 11 (2), 165-177. (In Persian)
- Illian, J.; Penttinen, A.; Stoyan, H.; Stoyan, D., *Statistical analysis and modelling of spatial point patterns*. John Wiley & Sons: 2008; Vol. 70.
- Jafari Afrapoly, M., Sefidi, K., Varamesh, S. and Waez-Mousavi, S.M. Structural Characteristic of English Yew (*Taxus baccata* L.) Stands in the Afratakhteh Forests Reserve. *Journal of Ecology of Iranian Forests* **2019**, 7 (13), 11-19. (In Persian)
- Javanshir, K. History of Natural Resources Sciences of Iran. Agricultural Research, Education and Extension Organization, 1999, P 470. (In Persian)
- Kang, H.; Zheng, Y.; Liu, S.; Chai, Z.; Chang, M.; Hu, Y.; Li, G.; Wang, D., Population structure and spatial pattern of predominant tree species in a pine-oak mosaic mixed forest in the Qinling Mountains, China. *Journal of Plant Interactions* **2017**, 12 (1), 78-86.
- Kazempour, L. M., Taheri, A. K., Akhavan, R., Pourbabaei, H., & Amanzadeh, B. Spatial patterns, competition and spatial association of trees from different development stages in mixed beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands. *Journal of Forest and Wood Products* **2017**, 70 (2), 303-314. (In Persian)
- Lesani, M. *Taxus baccata*. Published by Research Institute of Forests and Rangelands **1999**. (In Persian)
- Miao, N.; Xu, H.; Moermond, T. C.; Li, Y.; Liu, S., Density-dependent and distance-dependent effects in a 60-ha tropical mountain rain forest in the Jianfengling Mountains, Hainan Island, China: Spatial pattern analysis. *Forest Ecology and Management* **2018**, 429, 226-232.
- Moeur, M., Characterizing spatial patterns of trees using stem-mapped data. *Forest science* **1993**, 39 (4), 756-775.
- Nguyen, H. H.; Erfanifard, Y.; Pham, V. D.; Le, X. T.; Petritan, I. C., Spatial Association and Diversity of Dominant Tree Species in Tropical Rainforest, Vietnam. *Forests* **2018**, 9 (10), 615.
- Nguyen, H. H.; Uria-Diez, J.; Wiegand, K., Spatial distribution and association patterns in a tropical evergreen broad-leaved forest of north-central Vietnam. *Journal of vegetation science* **2016**, 27 (2), 318-327.
- Omidvar Hosseini, F., Akhavan, R., Kia-Daliri, H., & Mataji, A. Spatial patterns and intra-specific competition of Chestnut-leaved oak (*Quercus castanifolia* CA Mey.) using O-ring statistic (Case study: Neka Forest, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2015**, 23 (2), 294-306. (In Persian)
- Salas, C.; LeMay, V.; Núñez, P.; Pacheco, P.; Espinosa, A., Spatial patterns in an old-growth *Nothofagus obliqua* forest in south-central Chile. *Forest ecology and management* **2006**, 231 (1-3), 38-46.
- Thomas, P.; Polwart, A., *Taxus baccata* L. *Journal of Ecology* **2003**, 91 (3), 489-524.
- Vahedi, A., Bijani, A., Khatib-Nia, E. Spatial analysis and long-term dynamics for above-ground biomass of Caspian poplar (*Populous capsica* Bornm.) in developmental stages of

- natural stands in Nour Forest Park. *Journal of Forest Research and Development* **2016**, 2 (3), 257-271. (In Persian)
- Wang, G.; Liu, F., The influence of gap creation on the regeneration of *Pinus tabuliformis* planted forest and its role in the near-natural cultivation strategy for planted forest management. *Forest Ecology and Management* **2011**, 262 (3), 413-423.
- Wiegand, T.; Kissling, W. D.; Cipriotti, P. A.; Aguiar, M. R., Extending point pattern analysis for objects of finite size and irregular shape. *Journal of Ecology* **2006**, 94 (4), 825-837.
- Xu, G.; Yu, D.; Xie, J.; Tang, L.; Li, Y., What makes *Haloxylon persicum* grow on sand dunes while *H. ammodendron* grows on interdune lowlands: a proof from reciprocal transplant experiments. *Journal of Arid Land* **2014**, 6 (5), 581-591.
- Zabiolahi, S., Shabaniyan, N., Namiranian, and M., Heudari, M. Spatial distribution of wooden species in Northern Zagros forests (Case study: Havare-khol forests). *Journal of Forest Research and Development* **2015**, 1 (1), 17-29. (In Persian)

Determination of spatial pattern and Interspecific competition in mixed yew stand in Afratakhteh Forest of Aliabad

A. Hesabi¹, S. J. Alavi^{*2} and O. Esmailzadeh³

1- MSc Student of Forest Management, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nur, Mazandaran, I. R. Iran. (aref.hesabi@modares.ac.ir)

2- Associate Professor, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nur, Mazandaran, I. R. Iran. (j.alavi@modares.ac.ir)

3- Associate Professor, Department of Forest Science, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Nur, Mazandaran, I. R. Iran. (oesmailzadeh@modares.ac.ir)

Received: 04.01.2021 Accepted: 11.05.2021

Abstract

The distribution pattern and the association of trees of different species have a direct correlation with the dynamics and tree species relationships in the forest ecosystems. The purpose of the present Research was to determine the spatial pattern of Yew, Hornbeam and Oriental Hornbeam trees and also to analyze the competition between Yew trees with two other species in Afratakhteh yew reserve of Aliabad katul city. After forest surveying, intended stand selected and the location of the species was recorded using the TP360 Laser Rangefinder machine by distance and azimuth method. Overall, of 366 yews, 47 hornbeams and 71 Oriental Hornbeams were measured. The results of Single variable pair correlation function showed that spatial distribution of three species follows a random pattern. Investigating the competition between species using a bivariate pair correlation function showed that there was no or a little difference between yew trees with hornbeam and Oriental Hornbeams competition. Middle aged stand, Intra-specific competition and reaching the stage of puberty are important factors for the formation of a random pattern for three species of Yew, Hornbeam and Oriental Hornbeam. The optical nature of forest trees, the existence of different nutrition of different species trees and the growth of trees in steep and sloping arenas with different soil beds can be a reason for the absence of negative competition between species. Therefore, in order to revive this valuable species, must be tried the yew will be established in low-slope areas with great soil depth.

Keywords: Association, Distribution, hornbeam, Oriental Hornbeam, Pair correlation function $g(r)$.

* Corresponding author

Tel: +989111580097

تأثیر نانولوله‌های کربنی بر رشد ارتفاعی، جذب عناصر غذایی برگ و خاک در نهال‌های بلوط ایرانی در محیط گلخانه

فرهاد قاسمی آقباش^{۱*}، ایمان پژوهان^۲ و زهرا رستمی^۳

- ۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (f.ghasemi@malayeru.ac.ir)
۲- استادیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (imanpazhouhan@gmail.com)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران. (zahrarostami1994@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۶/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۱۹

چکیده

با وجود به‌کارگیری وسیع و روبه رشد فناوری نانو به‌ویژه در علوم گیاهی هنوز بسیاری از اثرها و کارکردهای نانوذرات بر عملکردهای گیاهان ناشناخته است. این پژوهش حاضر برای بررسی اثر نانولوله‌های کربنی، کلرید کلسیم یک‌درصد و نیترات پتاسیم یک‌درصد بر عناصر غذایی برگ و رشد ارتفاعی نهال بلوط ایرانی انجام شد. این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ملایر انجام شد. به این منظور بذور در تیمار اول شامل پنج سطح غلظت نانولوله‌های کربنی (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به مدت شش ساعت، تیمار دوم کلرید کلسیم یک‌درصد به مدت ۴۸ ساعت و تیمار سوم نیترات پتاسیم به مدت ۲۴ ساعت و تیمار شاهد بدون استفاده از هیچ‌گونه موادی پرآیم شدند. در انتهای یک دوره شش ماهه مقدار رشد ارتفاعی و مقادیر عناصر غذایی سدیم، پتاسیم، فسفر و کربن برگ و خاک تحت نهال‌ها اندازه‌گیری شدند. براساس نتایج، بیشترین غلظت عناصر غذایی خاک در غلظت‌های پایین نانوذرات مشاهده شد. همچنین در مقایسه با دیگر تیمارها، نیترات پتاسیم یک درصد بیشترین اثر را در افزایش کربن خاک داشت. مقادیر عناصر غذایی برگ‌ها با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی روند کاهشی داشتند. همچنین، استفاده از نانولوله‌های کربنی با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر شرایط خوبی در افزایش غلظت عناصر غذایی برگ‌ها داشته است و به‌کارگیری غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی موجب افزایش رشد ارتفاعی نهال‌های بلوط شد.

واژه‌های کلیدی: رشد نهال، بلوط ایرانی، عناصر غذایی، نانوذرات، نیترات پتاسیم.

مقدمه

فیزیولوژیک و متابولیک گیاهان ناشناخته است. استفاده از فناوری نانو در دهه‌های اخیر توانسته است تحولات وسیعی در تمام زمینه‌های علوم ایجاد کند (Peyvandi et al., 2011). استفاده از نانوذرات و نانوکودها برای تغذیه گیاهان، به‌خاطر نفوذ سریع و راحت آن‌ها به درون غشای سلولی از کاربردهای نانو در زمینه‌های مختلف کشاورزی است. استفاده از نانوذرات موجب افزایش کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، کمینه کردن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حد کود و کاهش تعداد دفعات کاربرد عنصر می‌شود (Peyvandi et al., 2011). به‌دلیل اثرهای مضر که کودهای شیمیایی مرسوم بر محیط‌زیست دارند، مدت‌هاست که استفاده از آن‌ها مسئله‌ساز بوده و با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای موجود، عناصر غذایی به‌صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌شوند (Naderi and Danesh Sharaki, 2012). داشتن ویژگی‌هایی مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل شدن، تأثیرگذاری بالا و ثبات و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه سبب افزایش کارایی کودهای نانو و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان شده است (Subramanian KS and Thirunavukkarasu, 2017). نانوذراتی که از سطح ویژه بالایی برخوردار هستند قابلیت و پتانسیل بالایی در نگهداری و حفظ عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (Navarro et al., 2008). همچنین مواد آلی در خاک یا آب موجود در خاک می‌توانند نانوذرات را جذب، پوشانده یا تثبیت کنند و بر تحرک قابلیت دسترسی گیاه به آن‌ها، سمیت و واکنش‌پذیری آن‌ها تأثیر بگذارند (Li et al., 2008). در بین نانوذرات موجود در علوم گیاهی، نانولوله‌های کربنی بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار دارند، زیرا دارای ویژگی‌های منحصر به‌فرد مانند ساختار شیمیایی، ابعاد ویژه و انعطاف‌پذیری بالا هستند (Tiwari et al.,

بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl) که با اسامی بلوط غرب و بلوط زاگرس نیز شناخته می‌شود از جنس *Quercus* (خانواده Fagaceae) است که با داشتن ۳۵۰ تا ۵۰۰ گونه یکی از فراوان‌ترین و از نظر اقتصادی، اکولوژیکی و اجتماعی یکی از مهم‌ترین جنس‌های گیاهی در نیمکره شمالی است (Mozaffarian, 2010). بلوط ایرانی درختی کوتاه با ارتفاع ۸ تا ۱۰ متر است که در جهت‌های مختلف جغرافیایی، عموماً خاک‌هایی با منشا آهکی و قلیایی فاقد آب‌شویی استقرار می‌یابد (Bazgir et al., 2014). گیاه دارویی بلوط با عمری طولانی و گستردگی زیاد از دیرباز به‌خاطر استفاده غذایی انسان و دام از اهمیت بالایی برخوردار است (Ghaderi Gahfarokhi., 2001). میوه بلوط حاوی مقدار زیاد سدیم و منیزیم بوده و در تنظیم فشار خون نقش مهمی دارد. علاوه بر این دارای انواع ویتامین‌ها و کربوهیدرات‌ها بوده و ارزش غذایی بسیار بالایی دارد (Rix and Kirkham, 2009). همچنین میوه بلوط به‌خاطر ترکیبات فنلی و تانن خاصیت مهار پراکسیداسیون چربی‌ها و خاصیت آنتی‌اکسیدانی دارد (Khenouf, 2010). از آنجا که گیاهان پایه و اساس تمام اکوسیستم‌های زمینی هستند، نقش اساسی در چرخه و انتقال نانوذرات در محیط را از طریق جذب و تجمع زیستی ایفا می‌کنند (Thakkar, 2009)، بررسی کاربرد و اثرهای نانوذرات بر آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. در سال‌های اخیر استفاده از نانوذرات و به‌کارگیری موآب آن در جنبه‌های مختلف علوم زیستی مورد توجه پژوهشگران بیشماری قرار گرفته است (Sayedena et al., 2019, Dehghan et al., 2016). فناوری نانو در علوم گیاهی یکی از موضوع‌های روز دنیاست که پژوهش‌ها در این زمینه در ابتدای راه بوده و هنوز بسیاری از اثرها و کارکردهای نانوذرات بر عملکردهای

کربنی بر رشد ارتفاعی نهال‌ها و جذب عناصر غذایی برگ نهال‌های بلوط ایرانی را مورد ارزیابی قرار داده و نتایج آن را با نتایج دیگر تیمارهای مورد استفاده مانند نیترات پتاسیم و کلرید کلسیم یک‌درصد مورد مقایسه قرار دهد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی اثر نانولوله‌های کربنی و دیگر تیمارهای مدنظر بر مقدار رشد ارتفاعی نهال‌ها و جذب عناصر غذایی برگ گونه بلوط ایرانی، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در محیط گلخانه و آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه ملایر در سال ۱۳۹۷ اجرا شد. لازم به ذکر است بذور مربوطه از رویشگاه‌های طبیعی این گونه واقع در جنگل‌های استان ایلام، شهرستان دره‌شهر جمع‌آوری شد. تیمارهای آزمایش شامل سه تیمار پرایمینگ بذر با پنج غلظت نانولوله‌های کربنی (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) به مدت شش ساعت، پرایم با تیمار کلرید کلسیم یک درصد به مدت ۴۸ ساعت، نیترات پتاسیم یک درصد به مدت ۲۴ ساعت و تیمار شاهد بدون افزودن هیچ‌گونه ماده‌ای انجام شد. نانولوله‌های کربنی ساخت کشور ایران بوده و از مهم‌ترین مشخصات آن‌ها می‌توان به میانگین ابعاد ۱۰-۲۰ نانومتر، درجه خلوص ۹۵ درصد و سطح ویژه ۲۰۰ مترمربع بر گرم و چگالی ۱/۲ گرم در مترمکعب اشاره کرد. برای تهیه غلظت‌های مورد نظر نانو کربن، ابتدا مقدار لازم از نانوذرات توزیع و در آب مقطر قرار داده و سپس به همراه بذرها به مدت شش ساعت روی دستگاه لرزاننده قرار داده شدند (Mohammadpour et al., 2020). سپس تعداد مورد نیازی از بذرها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در محلول نیترات پتاسیم در تاریکی قرار گرفتند. در ادامه بذرها حاوی کلرید کلسیم یک درصد به مدت ۲۴ ساعت در

2014). اعتقاد بر این است که نانولوله‌های کربنی می‌توانند ویژگی‌های مورفولوژی و فیزیولوژی سلول‌های گیاهی را تغییر دهند (Lahiani et al., 2013) و در نهایت سبب تنظیم رشد گیاه و نهال (Haghighi and Da Silva, 2014) و همچنین موجب افزایش رشد محصول شوند (Nel et al., 2013). در حال حاضر نقش مثبت نانولوله‌های کربنی در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان مورد توجه قرار گرفته است (Lahiani et al., 2015; Pazhouhan et al., 2016). توانایی نفوذ نانولوله‌های کربنی تک‌جداره را به داخل دیواره سلولی و غشای سلولی، سلول‌های توتون و تنباکو گزارش کردند. برای اولین بار استفاده از نانولوله‌های کربنی در علوم گیاهی با پژوهش Khodakovskaya et al. (2009) شروع شد. آن‌ها گزارش کردند که نانولوله‌های کربنی چند جداره (MWCNT) با نفوذ در بذور گوجه فرنگی سبب افزایش ۹۰ درصدی سرعت جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد می‌رسد. (Lopez et al., 2010) با بررسی اثرات نانوذرات بر عملکرد سویا گزارش دادند که اگرچه نانوذرات بر جوانه‌زنی بذر سویا تأثیری نداشته ولی اثرهای متفاوتی بر رشد گیاهان و جذب عناصر غذایی داشتند.

در سال‌های اخیر نحوه تأثیر تغذیه عناصر مورد نیاز به شکل نانوذرات بر رشد و نمو گیاهان مورد توجه قرار گرفته است و نتایج مثبتی در این رابطه گزارش شده است. اما نکته مهم در کاربرد نانوذرات این است که چه غلظتی از آن‌ها می‌تواند بیشترین عملکرد را در گیاهان پدیدار سازد. بنابراین لازم است که این مسئله مورد بررسی قرار گیرد چه بسا که غلظت‌های بالا از نانوذرات نه تنها اثر مثبتی بر عملکرد گیاهان نداشته بلکه سبب سمیت آن‌ها نیز بشود. از این‌رو این پژوهش بر آن است که اثرهای غلظت‌های مختلف نانولوله‌های

کربن برگ‌ها و خاک تحت نهال‌های رشد یافته از بذر-های پرایم شده با استفاده از دستورالعمل‌های استاندارد انجام شد. ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط‌کش سانتی-متری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. بدین منظور مقدار ارتفاع از محل یقه تا رأس آخرین برگ به‌عنوان ارتفاع منظور شد. سرانجام به‌منظور تجزیه و تحلیل آماری با رعایت همگنی واریانس‌ها و نرمال بودن داده‌ها از آنالیز واریانس یک‌طرفه برای مقایسه‌های کلی و از آزمون دانکن نیز برای مقایسه میانگین گروه‌ها در نرم‌افزار آماری spss نسخه ۱۶ استفاده شد.

محلول قرار داده شدند. پس از اعمال تیمارها، بذرهای پرایم شده با تیمارهای مختلف به گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد ۲۵×۱۵ سانتی‌متر با گنجایش حدود دو کیلوگرم خاک پر شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در جدول ۱ نشان داده شده است. سپس در هر گلدان سه عدد بذر کشت و به‌طور مرتب آبیاری شدند. در ادامه بذرهای پرایم شده با تیمارهای مختلف به گلخانه تحقیقاتی با شرایط دمایی 10 ± 25 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 10 ± 35 درصد انتقال داده شدند. سرانجام پس از شش ماه از کاشت بذرها، اندازه‌گیری مقدار غلظت عناصر فسفر، پتاسیم، سدیم، کلسیم و

جدول ۱- خصوصیات خاک استفاده شده برای تیمارهای مختلف

Table 1. Soil characteristics used for different treatments

وزن مخصوص ظاهری	اسیدیته خاک	هدایت الکتریکی خاک	بافت خاک
Soil Bulk Density (g/cm ³)	Soil pH	Soil Ec (ms)	Soil texture
1.276	8.78	0.3	Sand

داد. با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی مورد استفاده تا غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر ارتفاع نهال‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در غلظت بالای نانولوله‌های کربنی (۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) نیز ارتفاع نهال‌ها نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت ولی نسبت به غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر کاهش یافته بود (جدول ۳).

نتایج

رویش ارتفاعی

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد بین تیمارهای مختلف از نظر رشد ارتفاعی اختلاف معنی-داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود داشت (جدول ۲). کاربرد غلظت ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی مورد استفاده بیشترین اثر را از این جهت نشان

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر رشد ارتفاعی گیاهچه

Table 2. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on seedling height growth

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییر	متغیر
	Mean of squares	Degrees of freedom	Source of variation	Variable
6.019*	44.826	7	تیمار	رشد ارتفاعی
	7.448	72	خطا	Height growth
			Error	

Table 3. Comparison of the mean effect of different treatments on seedling height growth

متغیر Variable	تیمارها Treatments					نیتрат پتاسیم ۱ درصد Potassium nitrate 1%	کلرید کلسیم ۱ درصد Calcium chloride 1%	شاهد Control
	نانو لوله‌های کربنی Carbon nanitubes							
	10	25	50	75	100			
رشد ارتفاعی Height growth	7.901±1.059 ^{bcd}	9.481±0.509 ^{bc}	10.39±0.67 ^{ab}	12.42±0.673 ^a	8.7±0.99 ^{bc}	7.27±0.83 ^{cd}	7.2±1.08 ^{cd}	5.67±0.9 ^d

اعداد درون جدول به ترتیب نشان‌دهنده میانگین ± اشتباه معیار هستند. حروف مشابه در هر ردیف نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد است.

The numbers in the table show the mean ± standard error, respectively. Similar letters in each row indicate no significant difference in 95% confidence level.



شکل ۱- تصاویر تهیه شده از وضعیت ارتفاعی نهال‌های تحت تیمار نانولوله‌های کربن ۷۵ میلی‌گرم در لیتر (A) و تیمار شاهد (B)

Figure 1. Images of the height status of seedlings under Carbon nanitubes 75 mg / l (A) and Control treatment (B)

نشان داد که با افزایش غلظت نانولوله‌های کربنی از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر تا ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار غلظت پتاسیم به‌طور قابل توجهی نسبت به غلظت ۱۰ میلی‌گرم کاهش پیدا کرد. کاربرد غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر موجب افزایش غلظت پتاسیم نسبت به تیمار شاهد و تمام غلظت‌ها شد. با این حال غلظت‌های بالای مورد استفاده موجب کاهش غلظت پتاسیم شد (شکل ۲ B). نتایج اثر غلظت‌های مختلف نانوذرات و تیمارهای مختلف بر تغییرات فسفر نشان داد که کاربرد غلظت ۵۰

عناصر غذایی برگ
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد در ارتباط با غلظت تمامی عناصر بررسی شده برگ بین تیمارهای مختلف اثر معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد وجود دارد (جدول ۴). یافته‌های پژوهش نشان داد که غلظت سدیم به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد نانولوله‌های کربنی قرار گرفت. به‌طوری که کمترین و بیشترین غلظت سدیم به ترتیب در تیمارهای نیترات پتاسیم یک‌درصد و غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر نانولوله‌های کربنی بود (شکل ۲ A). در خصوص پتاسیم نتایج این پژوهش

غلظت نانولوله‌های کربنی چند جداره تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، غلظت کربن به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. به‌طوری‌که بیشترین مقدار کربن مربوط به تیمار ۵۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در حالی‌که بین تیمارهای دیگر تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نشد (شکل ۲ E).

میلی‌گرم در لیتر نانو، غلظت فسفر را در مقایسه با دیگر تیمارها به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲ C). طبق نتایج، بیشترین غلظت کلسیم برگ در غلظت ۵۰ میلی‌گرم ثبت شد و همچنین کمترین کلسیم برگ در تیمار شاهد و غلظت ۲۵ میلی‌گرم در لیتر غلظت نانو مشاهده شد (شکل ۲ D). همچنین نتایج نشان داد که با افزایش

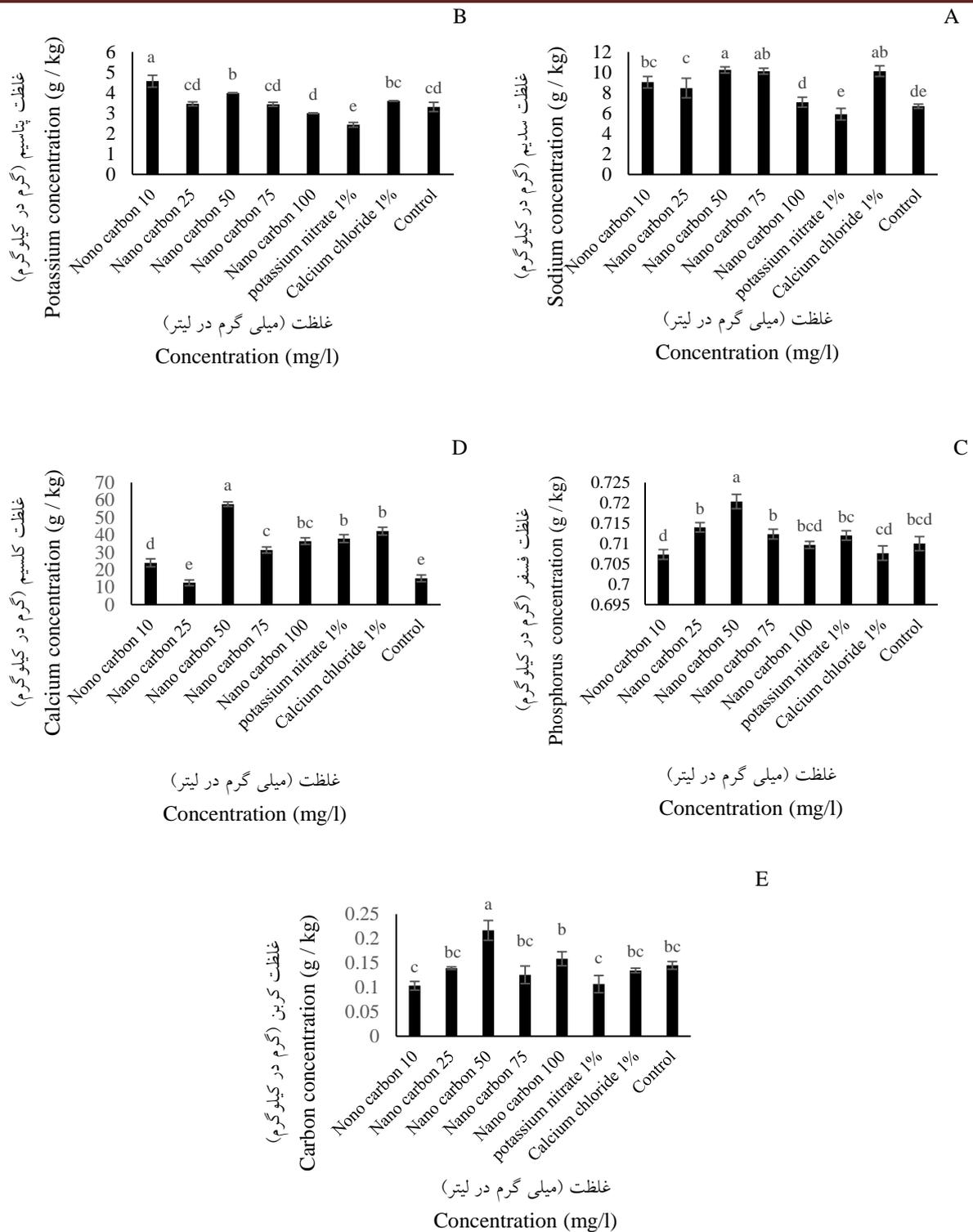
جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ

Table 4. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on nutrient uptake of leaves

F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییر Source of variation	متغیر Variable
24.260*	8.823	7	تیمار Treatment	سدیم sodium
	0.364	16	خطا Error	
19.884*	1.210	7	تیمار Treatment	پتاسیم Potassium
	0.061	16	خطا Error	
9.012*	0.002	7	تیمار Treatment	فسفر Phosphorus
	0.001	16	خطا Error	
7.170*	0.004	7	تیمار Treatment	کربن Carbon
	0.001	16	خطا Error	
58.929*	660.791	7	تیمار Treatment	کلسیم Calcium
	11.213	16	خطا Error	

*: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد.

*: Significant at five percent probability levels.



شکل ۲- اثر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی، پتاسیم نترات یک درصد و کلرید کلسیم یک درصد بر غلظت سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم و کربن برگ

Figure 2. Effect of different concentrations of carbon nanotubes, potassium nitrate 1% and calcium chloride 1% on the concentrations of sodium, potassium, phosphorus, calcium and carbon of leaves

عناصر غذایی خاک

غلظت فسفر خاک مشاهده شد که نانوذرات با غلظت - های ۱۰ و ۲۵ میلی گرم بر لیتر بیشترین اثر را در افزایش غلظت فسفر خاک داشتند (شکل ۳ C). همچنین نتایج حاصل از اندازه گیری غلظت عنصر کلسیم خاک نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی داری در سطح ۵ درصد وجود دارد به طوری که بیشترین غلظت کلسیم در تیمار ۱۰ و ۲۵ میلی گرم در لیتر نانو ذرات کربن مشاهده شد (شکل ۳ D). نتایج مربوط به غلظت کربن خاک نیز نشان داد که تیمارهای مختلف اثرات معنی - داری در سطح ۵ درصد داشتند. به طوری که بیشترین غلظت کربن در تیمار نیترا پتاسیم یک درصد مشاهده شد (شکل ۳ E).

تجزیه واریانس عناصر غذایی خاک نشان داد اختلاف معنی داری در ارتباط با عناصر سدیم، کربن و کلسیم بین تیمارهای مختلف وجود دارد، در حالی که این تیمارها تأثیر معنی داری در غلظت عناصر فسفر و پتاسیم نداشت (جدول ۵). بیشترین مقدار غلظت سدیم خاک در تیمار ۱۰ میلی گرم در لیتر نانوذرات ملاحظه شد. بین تیمار شاهد با تمامی تیمارهای به کار رفته اختلاف معنی داری وجود داشت (شکل ۳ A). براساس نتایج مشاهده شد که غلظت پتاسیم خاک در تمامی تیمارها یکسان بوده و هیچ اختلاف معنی داری باهم نداشتند (شکل ۳ B). درخصوص اثرهای تیمارهای مختلف بر

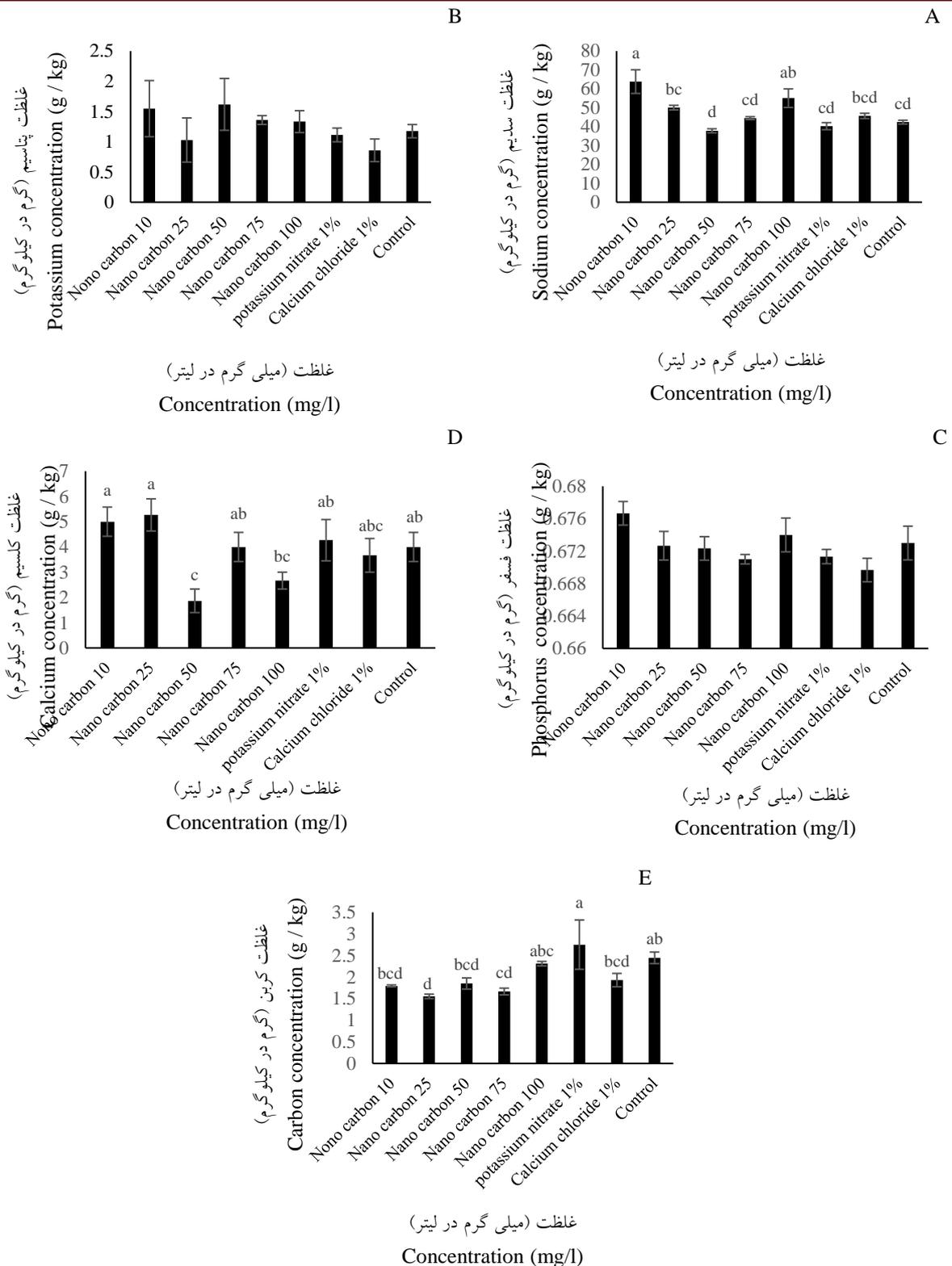
جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی خاک

Table 5. Results of analysis of variance of the effect of different treatments on nutrient uptake of soils

F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Degrees of freedom	منبع تغییر Source of variation	متغیر Variable
8.048*	220.969	7	تیمار Treatment	سدیم sodium
	27.458	16	خطا Error	
0.851 ^{ns}	0.201	7	تیمار Treatment	پتاسیم Potassium
	0.236	16	خطا Error	
1.873 ^{ns}	0.002	7	تیمار Treatment	فسفر Phosphorus
	0.001	16	خطا Error	
3.536*	0.526	7	تیمار Treatment	کربن Carbon
	0.149	16	خطا Error	
3.576*	3.821	7	تیمار Treatment	کلسیم Calcium
	1.068	16	خطا Error	

*: معنی دار در سطح احتمال پنج درصد؛ ns: غیر معنی دار.

*: Significant at 5% probability levels; ns: non significant.



شکل ۳- اثر غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربن، پتاسیم نیترات ۱ درصد و کلرید کلسیم ۱ درصد بر غلظت سدیم، پتاسیم، فسفر، کلسیم و کربن خاک

Figure 3. Effect of different concentrations of carbon nanotubes, potassium nitrate 1% and calcium chloride 1% on the concentrations of sodium, potassium, phosphorus, calcium and carbon of soil

بحث

پژوهش هم‌خوانی دارد. افزایش ارتفاع گیاه ذرت نیز در اثر کاربرد نانولوله‌های کربن توسط Taha et al. (2016) گزارش شد. همچنین پژوهش آن‌ها بیانگر این موضوع است که اگر غلظت مشخصی از نانولوله‌های کربنی در کنار سلول‌های برخی گونه‌های گیاهی قرار داده شود، رشد سلولی در آن‌ها افزایش می‌یابد. گزارشات Agrawal and Rathore (2014) بیانگر این مورد است که نانولوله‌های کربنی سبب افزایش رشد سلولی در برخی از گونه‌های گیاهی می‌شود و به‌نظر می‌رسد که نانولوله‌های کربنی چند جداره می‌توانند به‌عنوان کانال، مسیر عبور آب به درون سلول را فراهم کنند که این کار موجب رشد سریع‌تر و تقسیم سلول خواهد شد. بررسی مقدار عناصر غذایی برگ نیز حاکی از این بود که بین تیمارهای مورد استفاده تفاوت معنی‌داری وجود داشت. نتایج این بررسی به‌طور خاص نشان داد که استفاده از نانولوله‌های کربن با غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم در لیتر موجب کاهش عناصر غذایی برگ شده بود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که هر چه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد ویژگی‌ها و فعالیت‌های جدید و متفاوتی از خود نشان می‌دهند (Sosa et al., 2003). در این پژوهش نانوذرات کربن در غلظت متوسط (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) موجب افزایش عناصر غذایی برگ نسبت به تیمار شاهد شد. یافته‌های پژوهشگران نیز از اثرهای مثبت و منفی نانوذرات بر رشد و توسعه گیاهان گزارش دادند. اثرهای نانوذرات مهندسی شده بر گیاهان به غلظت، اندازه، ترکیب، خواص فیزیکی و شیمیایی و همچنین گونه‌های گیاهی بستگی دارد (Ma et al., 2013). نتایج پژوهش Jiang et al. (2013) روی برنج نشان داد کاربرد نانولوله‌های کربن تا غلظت متوسط ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر سبب افزایش طول و وزن تر و خشک ریشه می‌شود و استفاده از غلظت‌های بیشتر از ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر اثر منفی بر ویژگی‌های رشدی ریشه داشته

پژوهشگران از نیترات پتاسیم، جیبرلیک اسید، کلرید کلسیم به‌عنوان محرک‌های رشدی نام می‌برند که می‌توانند به دورن جنین نفوذ و تحریک فعالیت‌های متابولیکی را انجام دهند و در تحریک جوانه‌زنی و رشد گیاه مؤثر باشند (Hashemi Dezfoli, 1999). در این پژوهش نتایج نشان داد که استفاده از نانولوله‌های کربنی تأثیر محسوس و بیشتری نسبت به دیگر تیمارها بر رشد ارتفاعی نهال‌ها و عناصر غذایی برگ‌ها داشت. همچنین براساس نتایج پژوهش غلظت‌های پایین نانولوله‌های کربنی موجب افزایش غلظت عناصر غذایی خاک شده بود. از آنجا که اثر نانوذرات بستگی به غلظت ماده دریافتی داشته و از گیاهی به گیاهی دیگر متفاوت است، با این حال آن‌ها نقش قابل‌توجهی در رشد و توسعه گیاهان ایفا می‌کنند (Siddiqui et al., 2015). بررسی نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه تغییرات ارتفاعی نهال‌ها نشان داد که بین تیمارهای نانولوله‌های کربنی با غلظت‌های مختلف، نیترات پتاسیم یک‌درصد و کلرید کلسیم یک‌درصد و شاهد اختلاف معنی‌داری وجود داشت و تمامی تیمارها وضعیت بهتری نسبت به تیمار شاهد داشتند. وجود مواد مغذی در ترکیبات نانوذرات به‌علت داشتن سطح ویژه بالا ممکن است روی برخی از خواص محصولات گیاهی مؤثر واقع شوند، برای مثال می‌تواند با کنترل دریافت کود یا مواد شیمیایی در تنظیم رشد گیاه و دیگر ویژگی‌های مرتبط با رشد مؤثر باشند (Nair et al., 2010). نتایج بررسی Khodakovskaya et al. (2009) درخصوص اثر نانولوله‌های کربن بر درصد جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گوجه‌فرنگی نشان داد که استفاده از نانوذرات سبب افزایش جوانه‌زنی و رشد و توسعه گیاه گوجه‌فرنگی شد که دلیل آن نفوذ نانوذرات در دیواره بذر و جذب بیشتر آب است که در نهایت موجب افزایش ارتفاع گیاه شد که با نتایج این

است. همچنین Zhang et al. (2005) در پژوهش خود اظهار داشتند که در غلظت ۲/۵ هزار نانو، سرعت فتوسنتز اسفناج ۳/۱۳ برابر افزایش می‌یابد در صورتی که با افزایش غلظت بیشتر نانو سرعت فتوسنتز کاهش می‌یابد. احتمالاً نانوذرات موجب افزایش جذب عناصر غذایی، ساخت کلروفیل و تحریک فتوسنتز و تجمع مواد آلی در گیاهان می‌شود (Behdad, 2010). بنابراین به نظر می‌رسد که تیمار نانولوله‌های کربنی با جذب آب و تقسیم سلولی و تحریک فتوسنتز موجب انتقال مواد و جذب عناصر غذایی شده و در نهایت موجب افزایش زی توده گیاهی می‌شود. این موضوع با یافته‌های Tiwari et al. (2014) که گزارش دادند نانولوله‌های کربنی موجب افزایش جذب آب و عناصر ضروری مانند کلسیم، آهن و ذی توده گیاهیچه ذرت می‌شوند، هم‌خوانی دارد. نانولوله‌های کربنی با ایجاد منافذ جدید در دیواره سلولی و غشای پلاسمایی موجب افزایش جذب آب به درون سلول و توسعه و بهبود آن می‌شود (Liu et al., 2010). Ghodsi et al. (2012) با بررسی اثر نانو اکسید آهن بر مقدار جذب عناصر غذایی در آفتابگردان، به این نتیجه رسیدند که نانو اکسید آهن با افزایش محتوای کلروفیل برگ و تأثیر بر مسیرهای متابولیکی و هورمونی و در پی آن افزایش فتوسنتز و افزایش جذب عناصر غذایی مانند فسفر، پتاسیم و نیتروژن می‌شود. همچنین گزارش Tiwari et al. (2014) نشان داد که نانولوله‌های کربنی با ایجاد منافذ در ساختارهای غشایی و افزایش نفوذپذیری ریشه گیاهان به عناصر ضروری برای رشد گیاه مانند پتاسیم، کلسیم، سدیم، آهن و منگز می‌شود. داشتن ویژگی‌هایی مانند غلظت مؤثر، قابلیت حل شدن، تأثیرگذاری بالا و ثبات و رهاسازی تدریجی عناصر غذایی در طول دوره رشد گیاه سبب افزایش کارایی کودهای نانو و جذب بهتر آن‌ها توسط گیاهان شده است (Subramanian and Thirunavukkarasu, 2017).

بنابراین می‌توان گفت از اثرهای مثبت نانوذرات بر گیاهان، تجمع عناصر غذایی بر سطح خود است. نانوذراتی که سطح ویژه بالایی دارند. قابلیت و پتانسیل بالایی در حفظ و نگهداری عناصر غذایی برای استفاده گیاه دارند (Mazahernia, 2009). پژوهش‌های انجام شده نشان داده است که غلظت عناصر موجود در برگ گیاه و جذب آن‌ها توسط گیاهان ممکن است تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار گیرد. اثر متقابل عناصر، نحوه جذب شدن هر عنصر در گیاه، تحرک و تجمع آن‌ها در بافت‌های مختلف می‌تواند بر غلظتشان در گیاه تأثیرگذار باشد. با استفاده از نتایج به دست آمده، سطح تیمارهای مختلف بر عناصر غذایی برگ تأثیر قابل توجهی داشت. اگرچه نتایج این پژوهش نشان داد که اثر تیمارها بر تمام عناصر خاک معنی‌دار نبود. به نظر می‌رسد که گاهی اوقات غلظت برخی عناصر خاک، با غلظت عناصر موجود در گیاه همبستگی ندارد و این موضوع به این دلیل است که علاوه بر غلظت عناصر موجود در خاک، سن گیاه و قابلیت دسترسی عناصر دیگر نیز بر غلظت عنصر در گیاه تأثیرگذار است. از آنجا که غلظت یک عنصر در گیاه زمانی افزایش می‌یابد که در خاک نیز افزایش یافته باشد، برخی پژوهشگران بر این باورند که برای بیشتر عناصرها رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت عناصر در بافت گیاهی و غلظت قابل استفاده آن‌ها در خاک وجود دارد (Karla, 1998). Pazhouhan et al. (2016) در پژوهش خود روی گونه درختی مورد به این نتیجه دست یافتند که تیمار نیترا پتاسیم با غلظت ۰/۲ درصد و زمان ۲۴ ساعت و همچنین تیمار نانولوله کربن با غلظت ۰/۱ گرم در لیتر، هم در ارتباط با شاخص‌های جوانه‌زنی شامل سرعت و درصد جوانه‌زنی و هم در ارتباط با شاخص‌های رشد گیاهیچه مانند طول ریشه و ساقچه و همچنین وزن خشک گیاهیچه عملکرد بهتری در سطح احتمال ۰/۰۵

خاک تحت نهال‌ها داشت. طبق نتایج، تیمار ۵۰ میلی-گرم در لیتر شرایط خوبی در افزایش غلظت عناصر غذایی برگ را داشته و غلظت‌های ۵۰ و ۷۵ میلی‌گرم در لیتر نیز در رشد ارتفاعی نهال‌های بلوط نقش مؤثری داشت. بنابراین با توجه به این نتایج پیشنهاد می‌شود بررسی‌های بیشتری در ارتباط با کاربرد غلظت‌های مختلف نانولوله‌های کربنی، مقرون به-صرفه بودن آن از نظر اقتصادی و در نهایت بررسی امکان سمی بودن این ذرات انجام شده تا از این ذرات با احتیاط استفاده شود.

References

- Agrawal, S.; Rathore, P., Nanotechnology pros and cons to agriculture: a review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences* **2014**, 3 (3), 43-55.
- Bazgir, A.; Namiranian, M.; Avatefi Hemmat, M., Oak and its local uses in the Zagros forests, Second National Conference on Forest Science Students, Karaj, Student Scientific Association of Forestry, University of Tehran, 2014, pp, 1-8. (In Persian).
- Behdad, A.; Abrishamchi, P.; Jankgu, M., Alleopathic effect of *Artemisia khorassanica* podl. *Extraction on seed germination, growth and some biochemical characteristics of Bromus kopetdaghensis drobov*. *Shahid Chamran University Journal of Science* **2010**, 25 (1), 78-92.
- Dehghan, S.; Tabari Kochak Saraei, M.; Jalali, Gh.; Effect of SiO₂ NPS nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress, *Journal of Forest Research and Development* **2016**, 2 (3), 289-299. (In Persian).
- Ghaderi Gahfarokhi, M.; Sadeghi, A.; Alami, M., ghorbani N and azizi, MH Evaluation of the antioxidation activity, regenerative power produced and the antioxidant capacity of phenolic extracts of the oak. *J Food Tech* **2001**, 21 (1), 94-104.
- Ghodsi, A.; Astaraei, A.; Emami, H., Effects of nano iron oxide powder and urban solid waste compost coated sulfur on chemical properties of a saline-sodic soil. *Desert* **2015**, 20 (1), 39-46.
- Haghighi, M.; da Silva, J. A. T., The effect of carbon nanotubes on the seed germination

داشته‌اند. هرچند در بررسی ذکر شده تأکید بر آن بود که بررسی‌های تکمیلی خیلی بیشتری در رابطه با استفاده از نانوذرات نیاز است و پیشنهاد شد که برای تولید انبوه نهال‌های مورد از تیمارهای نیترا پتاسیم استفاده شود چرا که در مقایسه با نانوذرات مقرون به‌صرفه‌تر نیز است.

به‌طور کلی غلظت بالای نانولوله‌های کربنی در این آزمایش اثر منفی بر غلظت‌های عناصر غذایی برگ و

- and seedling growth of four vegetable species. *Journal of Crop Science and Biotechnology* **2014**, 17 (4), 201-208.
- Hashemi Dezfoli, S.A. & M. Alikhani, 1999. Seed dormancy and germination, Shahid Chamran University Press. (In Persian)
- Jiang, Y.; Hua, Z.; Zhao, Y.; Liu, Q.; Wang, F.; Zhang, Q. In *The effect of carbon nanotubes on rice seed germination and root growth*, Proceedings of the 2012 International Conference on Applied Biotechnology (ICAB 2012), Springer: 2014; pp 1207-1212.
- Karla, Y. P., *Hanbook of Reference Methods for Plant Analysis*, CRC Press: Washington D.C, USA, 1998. 320 p.
- Khenouf, S.; Amira, S.; Arrar, L.; Baghiani, A., Effect of some phenolic compounds and quercus tannins on lipid peroxidation. *World Applied Sciences Journal* **2010**, 8 (9), 1144-1149.
- Khodakovskaya, M.; Dervishi, E.; Mahmood, M.; Xu, Y.; Li, Z.; Watanabe, F.; Biris, A. S., Carbon nanotubes are able to penetrate plant seed coat and dramatically affect seed germination and plant growth. *ACS nano* **2009**, 3 (10), 3221-3227.
- Lahiani, M. H.; Chen, J.; Irin, F.; Puretzky, A. A.; Green, M. J.; Khodakovskaya, M. V., Interaction of carbon nanohorns with plants: uptake and biological effects. *Carbon* **2015**, 81, 607-619.
- Lahiani, M. H.; Dervishi, E.; Chen, J.; Nima, Z.; Gaume, A.; Biris, A. S.; Khodakovskaya, M. V., Impact of carbon nanotube exposure to seeds of valuable crops. *ACS applied materials & interfaces* **2013**, 5 (16), 7965-7973.

- Li, D.; Lyon, D. Y.; Li, Q.; Alvarez, P. J., Effect of soil sorption and aquatic natural organic matter on the antibacterial activity of a fullerene water suspension. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* **2008**, *27* (9), 1888-1894.
- Liu, Q.; Zhao, Y.; Wan, Y.; Zheng, J.; Zhang, X.; Wang, C.; Fang, X.; Lin, J., Study of the inhibitory effect of water-soluble fullerenes on plant growth at the cellular level. *ACS nano* **2010**, *4* (10), 5743-5748.
- López-Moreno, M. L.; de la Rosa, G.; Hernández-Viezas, J. Á.; Castillo-Michel, H.; Botez, C. E.; Peralta-Videa, J. R.; Gardea-Torresdey, J. L., Evidence of the differential biotransformation and genotoxicity of ZnO and CeO₂ nanoparticles on soybean (*Glycine max*) plants. *Environmental science & technology* **2010**, *44* (19), 7315-7320.
- Ma, C.; Chhikara, S.; Xing, B.; Musante, C.; White, J. C.; Dhankher, O. P., Physiological and molecular response of *Arabidopsis thaliana* (L.) to nanoparticle cerium and indium oxide exposure. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering* **2013**, *1* (7), 768-778.
- Mazahernia, S., Comparison of conventional iron oxide nanoparticles with municipal solid waste compost and granulated sulfur in iron and other nutrients in soil and wheat. Master's thesis, Ferdowsi University of Mashhad, 2009. (In Persian).
- Mohammadpour, F.; Zarafshar, M.; Aghbash, F., The effect of carbon nanotube treatments on germination of *Pistacia atlantica* Desf. and *P. khinjuk* stocks and comparison with common treatments. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, *27* (4).
- Mozaffarian, V., *Trees and shrubs of Iran. Tehran Farhang-e Moaser*, third edition.; 2010; pp. 278-280. (In Persian).
- Naderi, M.; Danesh Shahraki, A., Application of nanotechnology in optimizing chemical fertilizer formulations, *Nanotechnology* **2012**, *4* (165), 20-22. (In Persian).
- Nair, R.; Varghese, S. H.; Nair, B. G.; Maekawa, T.; Yoshida, Y.; Kumar, D. S., Nanoparticulate material delivery to plants. *Plant science* **2010**, *179* (3), 154-163.
- Navarro, E.; Baun, A.; Behra, R.; Hartmann, N. B.; Filser, J.; Miao, A.-J.; Quigg, A.; Santschi, P. H.; Sigg, L., Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi. *Ecotoxicology* **2008**, *17* (5), 372-386.
- Nel, A.; Xia, T.; Meng, H.; Wang, X.; Lin, S.; Ji, Z.; Zhang, H., Nanomaterial toxicity testing in the 21st century: use of a predictive toxicological approach and high-throughput screening. *Accounts of chemical research* **2013**, *46* (3), 607-621.
- Nelson, D. W.; Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* **1996**, *5*, 961-1010.
- Pazhouhan, I.; Jalali, S.Gh.; Atabati, H.; Zarafshar, M.; Sattarian, A., Comparison of carbon nanotubes with chemical and physical treatments to break seed dormancy of *Myrtus communis* L. *Journal of Plant Researches* **2016**, *29* (2), 300-308 (In Persian).
- Peyvandi, M.; Mirza, M.; Kamali Jamakani, Z., The Effect of Nano Fe Chelate and Fe Chelate on the growth and activity of some Antioxidant. *New Cellular and Molecular Biotechnology Journal* **2011**, *2* (5), 25-32.
- Rix, M.; Kirkham, T., *Quercus castaneifolia*. Curtis's Botany. Mines Advisory Group. 2009; pp. 14-69.
- Sayedena, S.V.; Pilehvar, B.; Abrari-Vajari, K.; Zarafshar, M.; Eisvand, H. R.; Ali-Yari, F., Effects of NSiO₂ pre-treatments on seed germination and primary growth of *Sorbus luristanica* Bornm. as endemic species, *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (3), 435-448. (In Persian).
- Siddiqui, M. H.; Al-Whaibi, M. H.; Mohammad, F., Nanotechnology and plant sciences. *Springer International Publishing Switzerland. DOI* **2015**, *10*, 978-3.
- Sosa, I. O.; Noguez, C.; Barrera, R. G., Optical properties of metal nanoparticles with arbitrary shapes. *The Journal of Physical Chemistry B* **2003**, *107* (26), 6269-6275.
- Subramanian, K. S.; Thirunavukkarasu, M., Nano-fertilizers and nutrient transformations in soil. In *Nanoscience and Plant-Soil Systems*, Springer: 2017; pp 305-319.
- Taha, R. A.; Hassan, M. M.; Ibrahim, E. A.; Abou Baker, N. H.; Shaaban, E. A., Carbon nanotubes impact on date palm in vitro cultures. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* **2016**, *127* (2), 525-534.
- Thakkar, K. N.; Mhatre, S. S.; Parikh, R. Y., Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine* **2010**, *6* (2), 257-262.
- Tiwari, D.; Dasgupta-Schubert, N.; Cendejas, L. V.; Villegas, J.; Montoya, L. C.; García, S.

B., Interfacing carbon nanotubes (CNT) with plants: enhancement of growth, water and ionic nutrient uptake in maize (*Zea mays*) and implications for nanoagriculture. *Applied Nanoscience* **2014**, 4 (5), 577-591.

Zheng, L.; Hong, F.; Lu, S.; Liu, C., Effect of nano-TiO₂ on strength of naturally aged seeds and growth of spinach. *Biological trace element research* **2005**, 104 (1), 83-91.

The effect of carbon nanotubes on height growth, leaf and soil nutrient uptake in Iranian oak seedlings in greenhouse environment

F. Ghasemi Aghbash^{*1}, I. Pazhouhan² and Z. Rostami³

1- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (f.ghasemi@malayeru.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (imanpazhouhan@gmail.com)

3- MSc Student of Forestry, Faculty of Natural Resource and Environment, Malayer University, Malayer, I. R. Iran. (zahrarostami1994@yahoo.com)

Received: 24.08.2020 Accepted: 09.12.2020

Abstract

Despite the widespread and growing use of nanotechnology, especially in plant science, many of the effects and functions of nanoparticles on plant mechanisms are still unknown. The present study was conducted to investigate the effect of carbon nanotube treatments, calcium chloride 1% and potassium nitrate 1% on leaf nutrients and height growth of Iranian oak seedlings. This experiment was performed in a completely randomized with three replications in the research greenhouse of Malayer University. For this purpose, the seeds were primed in the first treatment included five levels of concentration of carbon nanotubes (10, 25, 50, 75, 100 mg/l) for six hours, the second treatment of calcium chloride 1% for 48 hours and the third treatment Potassium nitrate for 24 hours and control treatment (non-priming). At the end of a six-month period, the growth rate and nutrient levels of sodium, potassium, calcium and phosphorus, and carbon in the leaves and soil under the seedlings were measured. According to the results, the highest concentration of soil nutrients was observed in low concentrations of nanoparticles. Findings showed that in compared to the other treatments, the greatest effect of potassium nitrate 1% was in increasing soil carbon. Also, the Findings showed that the amount of nutrients in the leaves decreased with increasing concentration of carbon nanotubes. According to the results, the use of carbon nanotubes with a concentration of 50 mg/l has good conditions in increasing the concentration of nutrients in the leaves. Also, the use of concentrations of 50 and 75 mg/l of carbon nanotubes increases the height growth of oak seedlings.

Keywords: Nanoparticles, Nutrients, Persian Oak, Potassium Nitrate, Seedling growth.

* Corresponding author

Tel: +989122379717

مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل برای شناسایی مناطق مطلوب برای اجرای پروژه‌های REDD+ (بررسی موردی: شهرستان لردگان)

سحر دلپسند^۱، رحیم ملک‌نیا^{۲*} و حامد نقوی^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (Sahar.delpasand@yahoo.com)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (maleknia.r@lu.ac.ir)

۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (Naghavi.ha@lu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰

چکیده

در چندین دهه اخیر، کاهش چشمگیری در پوشش جنگل‌های زاگرس رخ داده است. در همین رابطه، در این پژوهش، بررسی تغییرات پوشش جنگل شهرستان لردگان واقع در استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل تولید شده از سری ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ متعلق به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ انجام شد. سپس مدل‌سازی پتانسیل انتقال پوشش جنگل به مناطق غیرجنگل با استفاده از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک انجام شد و برای اعتبارسنجی از آماره‌های مشخصه عملکرد نسبی و عدد شایستگی استفاده شد. در آخر با استفاده از هم‌پوشانی نقشه‌های احتمال جنگل‌زدایی و منابع کربن، مناطق مطلوب برای پروژه‌های REDD+ شناسایی شدند. نتایج آشکارسازی تغییرات نشان داد که طی سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۸۷ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷ به ترتیب ۱۷۲۵۶ و ۲۰۵۵۳ هکتار از پوشش جنگل تخریب شد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با مقدار مشخصه عملکرد نسبی برابر ۰/۹۵ و عدد شایستگی ۱۹/۰۱ درصد عملکرد بهتری از شبکه عصبی مصنوعی داشت. همچنین، براساس نقشه هم‌پوشانی منابع کربن و احتمال جنگل‌زدایی، مناطقی با احتمال جنگل‌زدایی زیاد و مقدار کربن بالاتر از ۷۰ تن در هکتار برای REDD+ پیشنهاد شدند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌شناسی ارائه‌شده، می‌توان به شناسایی مناطق در معرض جنگل‌زدایی پرداخت و از انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر جلوگیری کرد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌زدایی، مدل‌سازی پتانسیل انتقال، پروژه REDD+، شهرستان لردگان.

مقدمه

2013). امروزه بسیاری از کشورهای تحت تأثیر تغییرات شدید کاربری اراضی و به خصوص جنگل‌زدایی به عضویت برنامه همکاری ملل متحد در زمینه پروژه‌های REDD+ درآمده‌اند تا بتوانند به احیای جنگل‌ها و تعدیل تغییرات اقلیمی کمک کنند (Parsamehr et al., 2020).

پایش تغییرات پوشش جنگل و شناسایی مناطق در معرض جنگل‌زدایی یکی از اهداف پروژه‌های REDD+ است که امروزه به واسطه کاربردهای سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی این امر میسر است (Lopez and Frohn, 2017). همچنین پایش تغییرات برای آگاهی از روند جنگل‌زدایی در آینده و سیاست‌گذاری‌های مرتبط با پروژه‌های REDD+، شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌ها حائز اهمیت است. در این زمینه مدل‌های تغییر کاربری اراضی مانند مدل‌ساز تغییر سرزمین (LCM) ابزار مناسبی برای دستیابی به این هدف هستند. مدل‌ساز تغییر سرزمین شامل سه روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (Multi-layer perceptron neural network)، رگرسیون لجستیک و یادگیری بر مبنای نمونه وزنی مشابهت (Similarity Weighted Instance-based Learning) است که مهم‌ترین تفاوت بین آن‌ها، رویکرد مورد استفاده برای مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال است.

تاکنون پژوهش‌های بسیاری با استفاده از LCM برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل انجام شده است و در برخی از پژوهش‌ها به پتانسیل مناطق برای اجرای پروژه REDD+ نیز اشاره شده است. Kim (2010) در پژوهشی به مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل منطقه Chiquitania در بولیوی با استفاده از مدل‌های LCM و GEOMOD و کاربرد آن‌ها برای پروژه‌های REDD+ پرداخت و نتایج بررسی نشان داد

در طی سال‌های گذشته، جنگل‌ها به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های ارزشمند در تعدیل تغییرات اقلیمی جهان، تحت تأثیر تغییرات شدید کاربری اراضی قرار گرفته‌اند. در همین راستا، جلوگیری از جنگل‌زدایی به‌عنوان راهکاری برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تعدیل تغییرات اقلیمی در سطح ملی و بین‌المللی همواره مورد توجه قرار گرفته است (Wani et al., 2015). در چند سال اخیر، پروژه کاهش انتشارات ناشی از جنگل‌زدایی و تخریب جنگل یا REDD+ (Reducing emissions from deforestation and forest degradation) به‌عنوان رویکردی مدیریتی برای کاهش اثرات منفی تخریب جنگل‌ها و افزایش ترسیب کربن در مقیاس‌های ملی، استانی و ناحیه‌ای مطرح شده است (Parsamehr et al., 2020). پروژه REDD+ در راستای طرح اقدام بالی (Bali Action Plane)، تحت عنوان مصوبه‌ای در سیزدهمین دوره کنفرانس اعضای سران (COP-13) به کنوانسیون تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد (UNFCCC) اعلام شد. این پروژه بیان می‌کند که برای تعدیل تغییرات اقلیمی، نیاز به یک رویکرد جامع شامل اقدام‌های سیاسی و انگیزش‌های مثبت در ارتباط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و جنگل‌زدایی در کشورهای در حال توسعه است (UNFCCC, 2008). Parsameh and Gholamalifard, 2016). در واقع، پروژه‌های REDD+ یک فرصت منحصربه‌فرد برای کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای در مقیاس وسیع با هزینه‌های معقول است. هدف پروژه‌های REDD+، افزایش ترسیب کربن در مناطق با تغییرات شدید کاربری‌های اراضی و جنگل‌زدایی است (Atela et al., 2014). در راستای اجرای این پروژه‌ها، تمامی عوامل مهم تخریب پوشش جنگل شناسایی و از ادامه فعالیت آن‌ها جلوگیری می‌شود (Albers and Robinson, 2016).

انجام شد که نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که این مناطق در صورت حفاظت، قابلیت بالایی در راستای افزایش ترسیب کربن خواهند داشت (Parsameh and Gholamalifard, 2016; Parsamehr et al., 2019). جنگل‌های زاگرس در غرب کشور نیز با دارابودن منابع کربن، طی سالیان اخیر در معرض تغییرات شدید کاربری اراضی قرار گرفته‌اند و پژوهش‌های انجام‌شده حاکی از کاهش سطح پوشش جنگل‌های زاگرس است (Pato et al., 2017; Naseri et al., 2019; Nozari et al., 2020). در پژوهشی توسط Daneshmandparsa et al. (2018) به کاهش ۱۰۵۳۵۸ هکتار از سطح جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری طی سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۴ اشاره شده است. در نتیجه با توجه به روند کاهش جنگل‌ها در سطح استان چهارمحال و بختیاری و همچنین پیامدهای مطلوب حاصل از اجرای پروژه‌های REDD+، مسأله این پژوهش شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگل با استفاده از LCM و شناسایی مناطق دارای پتانسیل برای اجرای پروژه REDD+ در شهرستان لردگان است که با توجه به نتایج موفقیت‌آمیز حاصل از شبیه‌سازی اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های هیرکانی، این پژوهش برای اولین بار، به استفاده از LCM و نتایج حاصل از آن به‌عنوان معیاری برای شناسایی مناطق مطلوب برای اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های زاگرس می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

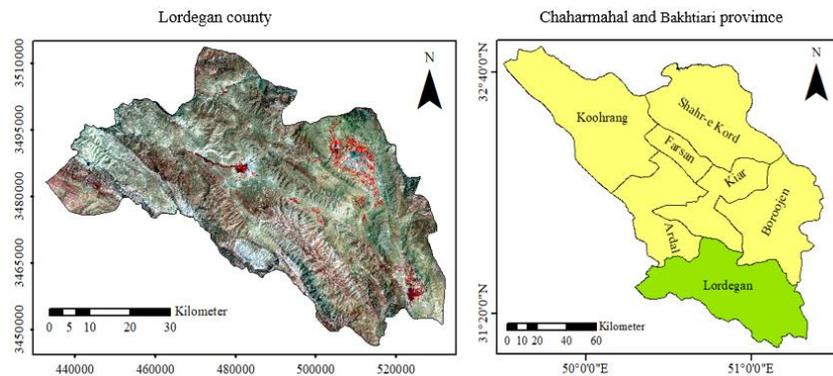
منطقه مورد بررسی

منطقه مورد بررسی در این بررسی، شهرستان لردگان با وسعت معادل ۳۲۴۷ کیلومتر مربع و دارای ۴ شهر ۲۹۹ روستا است که در مختصات جغرافیایی "۳۹'۰۸" ۳۱° تا "۵۸'۴۵" ۳۱° عرض شمالی و "۱۵'۱۷" ۵۰° تا "۳۹'۲۰" ۵۱° طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). این

که LCM عملکرد بهتری را براساس آماره‌های ارزیابی صحت داشته است. (Eckert et al. (2011) در پژوهشی به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل‌های ماداگاسکار با استفاده از تصاویر ماهواره اسپات و روش LCM تا سال ۲۰۲۰ پرداختند و مناطقی با بیشترین مقدار جنگل‌زدایی را به‌عنوان نواحی مطلوب برای پروژه REDD+ توصیه کردند. (Reddy et al. (2017) از LCM برای شبیه‌سازی تغییرات پوشش جنگل‌های هندوستان استفاده کردند و مقدار کاهش سطح پوشش جنگل‌ها را آشکار ساختند همچنین نشان دادند که جنگل‌های با ارتفاع کمتر و دسترسی بیشتر آسیب‌پذیرتر هستند. (Mahdavi et al. (2018) به مدل‌سازی تخریب پوشش جنگل‌های زاگرس با استفاده از تصاویر لندست ۸ و ۱ روش رگرسیون لجستیک پرداختند که نتایج پژوهش اشاره به کاهش ۱۰۳۳۲ هکتار مساحت پوشش جنگل طی ۲۷ سال داشت و مهم‌ترین عامل در تخریب جنگل متغیر جهت و شیب بود. (Parsamehr et al. (2019) با استفاده از تصاویر ETM+ و روش LCM به پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل در استان مازندران و لزوم استفاده از نتایج آن در راستای اجرای پروژه‌های REDD+ اشاره کردند. همچنین در دیگر بررسی، (Parsamehr et al. (2020) به مقایسه سه رویکرد مدل‌سازی موجود در LCM در جنگل‌های هیرکانی پرداختند و بیان داشتند که براساس ارزیابی صحت مدل، رویه شبکه عصبی مصنوعی بهترین عملکرد را داشته است. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد که استفاده از LCM به‌عنوان رویکردی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تاکنون، چند بررسی در جنگل‌های هیرکانی واقع در استان مازندران در ارتباط با پتانسیل اجرای پروژه‌های REDD+ در راستای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش روند جنگل‌زدایی در آینده

و تخریب شده‌ای است که گونه غالب موجود در آن بلوط است. همچنین گونه‌های درختی دیگر مانند زبان گنجشک، پسته وحشی، زالزالک، گردو، بادام، انجیر کوهی نیز در این استان دیده می‌شود (Spatial planning studies of Chaharmahal and Bakhtiari province, 2018).

شهرستان دارای اقلیمی نیمه‌مرطوب معتدل با زمستان‌های نیمه‌سرد است. میانگین سالانه دما در استان لردگان حدود ۱۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط ارتفاع برابر با ۲۰۰۹ متر است. بیش از ۵۰ درصد از پوشش جنگلی استان چهارمحال و بختیاری در شهرستان لردگان واقع شده است که دارای جنگل‌های نسبتاً تنک



شکل ۱- منطقه مورد بررسی (شهرستان لردگان)، تصویر رنگی کاذب (باندهای ۳، ۴ و ۵) مربوط به سنجنده OLI لندست ۸ برای سال ۱۳۹۷.

Figure 1. Study area (Lordegan county), False color composite image (Bands 3, 4, 5) of OLI sensor of Landsat 8 for the year 1397.

شد. در ادامه برای شناسایی هرچه بهتر پدیده‌ها به صورت بصری و به‌خصوص پوشش‌های جنگلی از تصاویر رنگی کاذب باندهای مختلف استفاده شد. برای طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌های پوشش جنگل، اقدام به طبقه‌بندی نظارت‌شده با روش حداکثر احتمال شد. برای انتخاب تعداد نقاط زمینی در راستای ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده، از روش تئوری احتمال دو جمله‌ای استفاده شد که این روش برای نقشه‌های کاربری اراضی با دو طبقه مناسب است (رابطه ۱). در فرمول ارائه‌شده در رابطه ۱، N حداقل تعداد نقاط زمینی مورد نیاز، مقدار Z بیانگر سطح اطمینان مدنظر، p معادل با صحت مورد انتظار، q برابر با $(100 - p)$ و E نشان‌دهنده مقدار خطای قابل قبول است (McCoy, 2005). براساس رابطه ۱، برای دستیابی به صحت مورد انتظار ۸۵ درصد با خطای قابل قبول ۵ درصد و

مراحل انجام پژوهش

مراحل اجرای این پژوهش متشکل از سه بخش اصلی شامل تهیه نقشه‌های پوشش جنگل، مدل‌سازی تغییرات توسط LCM و شناسایی مناطق مناسب برای اجرای پروژه‌های REDD+ است (شکل ۲).

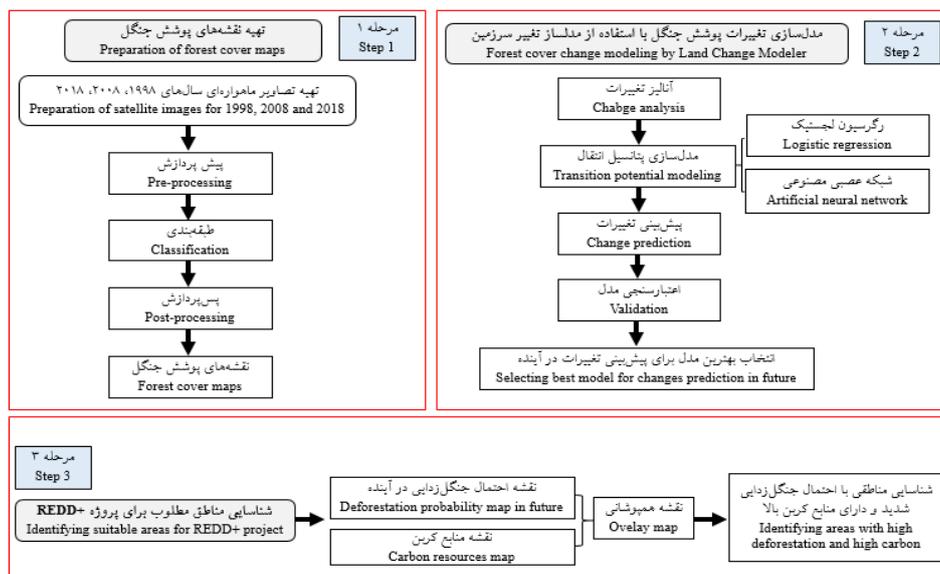
تهیه نقشه‌های پوشش جنگل

برای تهیه نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ از تصاویر ماهواره‌ای لندست در سایت USGS استفاده شد. تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ و تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای سال‌های مورد نظر انتخاب شدند (جدول ۱). پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای در نرم‌افزار ENVI نسخه ۵/۳/۱ انجام شد. برای تصحیحات رادیومتریک از الگوریتم Radiometric Calibration و برای تصحیحات اتمسفری از دستور FLAASH استفاده

نقشه‌های تهیه‌شده پوشش جنگل سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در نظر گرفته شد و با به‌کارگیری ماتریس خطا صحت نقشه‌ها تعیین شد (Khoi and Murayama, 2011).

$$N = \frac{z^2 (p) (q)}{E^2} \quad \text{رابطه (۱)}$$

همچنین سطح اطمینان ۹۵ درصد (z تقریباً برابر با ۲) به حداقل ۲۰۴ نقطه زمینی نیاز است. بسیاری از پژوهش‌های سنجش‌ازدور اشاره داشتند که مقدار صحت ۸۵ درصد برای نقشه‌های موضوعی حاصل از روش‌های طبقه‌بندی مطلوب است (Jensen, 2015) در این پژوهش با استفاده از یک طرح نمونه‌برداری تصادفی، ۲۰۴ نقطه واقعیت زمینی برای ارزیابی صحت



شکل ۲- مراحل انجام پژوهش
Figure 2. Steps of research conducting

جدول ۱- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای

Table 1. Information of satellite images

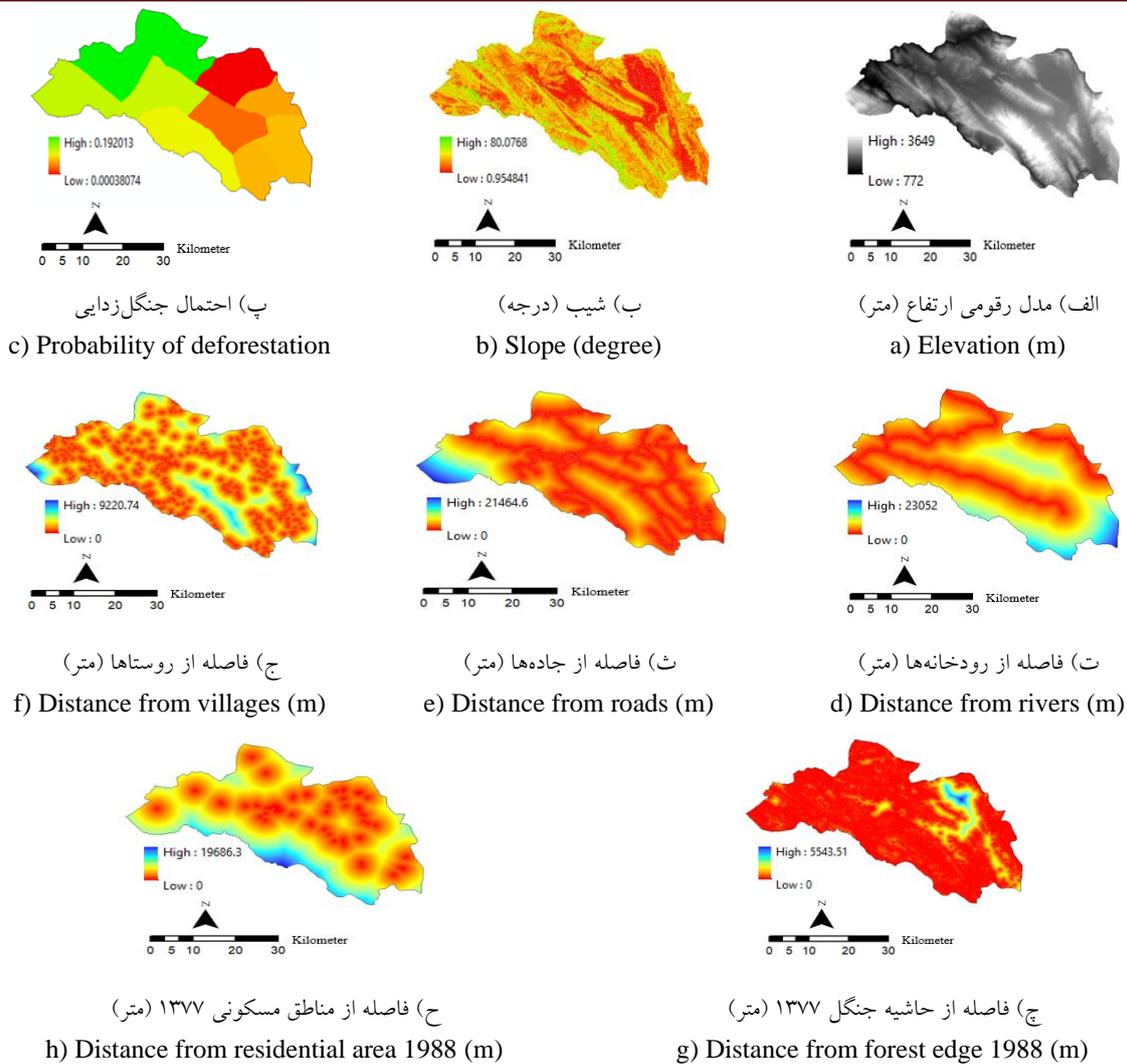
ردیف/گذر Path/row	تاریخ Date	اندازه پیکسل Pixel size	سنجنده Sensor	ماهواره Satellite
164/38	۱۳۷۷/۰۳/۱۳ 03.06.1988	30 m	TM	لندست ۵ Landsat 5
164/38	۱۳۸۷/۰۳/۰۹ 29.05.2008	30 m	TM	لندست ۵ Landsat 5
164/38	۱۳۹۷/۰۷/۲۴ 16.10.2018	30 m	OLI	لندست ۸ Landsat 8

برای بررسی و مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل استفاده شد. همچنین بارزسازی تغییرات ایجادشده پوشش جنگل در بازه‌های زمانی مورد بررسی (۱۳۸۷-)

مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل با استفاده از LCM در این پژوهش از مدل‌ساز تغییر سرزمین (Land Change Modeler) تعبیه‌شده در نرم‌افزار TerrSet

اندازه پیکسل 30×30 متر تبدیل شدند. برای تولید نقشه احتمال جنگل‌زدایی در مرز هر دهستان از ابزار Evidence of likelihood transformation در نرم‌افزار TerrSet استفاده شد که به کمک این ابزار می‌توان احتمال جنگل‌زدایی را در بازه زمانی دلخواه ایجاد کرد که در این پژوهش نقشه احتمال جنگل‌زدایی در هر دهستان طی بازه زمانی ۱۳۷۷-۱۳۸۷ تهیه شد (Parsamehr et al., 2020). ارتباط بین تغییر پوشش جنگل به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهای مستقل توسط ضریب کرامر تعیین شد. ضریب کرامر آماره‌ای بین صفر تا یک است که مقدار یک، بیانگر مقدار همبستگی بالا بین تغییرات پوشش جنگل و متغیرهای مستقل است. پس از تعیین ارتباط بین متغیر وابسته و مستقل، مدل‌سازی پتانسیل انتقال برای زیرمدل انتقال از مناطق جنگل به غیرجنگل با استفاده از دو روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک انجام شد. در ارتباط با مدل رگرسیون لجستیک باید بیان کرد که یک مدل برآورد تجربی است که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل و یک متغیر وابسته را ارزیابی می‌کند (Parsamehr et al., 2020). در مدل رگرسیون، متغیر وابسته باید از نوع بولین (یک و صفر) باشد؛ به این معنا که طبقه یک، تغییرات پوشش جنگل طی دو بازه زمانی است و طبقه صفر مناطقی که ثابت مانده‌اند. معمولاً برای آزمون برازش و معناداری آماری رگرسیون لجستیک از دو آماره منحنی مشخصه عملکرد نسبی و $Pseudo-R^2$ استفاده می‌شود. اگر مقدار آماره $Pseudo-R^2$ برابر با یک باشد، بیانگر برازش کامل مدل و اگر صفر باشد یعنی هیچ نوع رابطه‌ای وجود ندارد. اگر مقدار آن برابر $0/2$ و بزرگتر باشد نشان‌دهنده یک برازش به‌نسبت خوب برای مدل است (Clark and Hosking, 1986).

۱۳۷۷ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷) توسط بخش بررسی تغییرات در LCM انجام شد. با استفاده از روش‌های مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال می‌توان مقدار احتمال انتقال از یک نوع پوشش سرزمین به نوع دیگر را به‌کمک متغیرهای مستقل نشان داد (Parsamehr et al., 2020). بر اساس پژوهش‌های انجام‌شده، متغیرهای مانند فاصله از جاده‌ها، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از حاشیه جنگل، فاصله از روستاها، شیب و ارتفاع برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال تغییرات پوشش جنگل به غیرجنگل استفاده شده‌اند (Kumar et al., 2014). در این پژوهش با استفاده از نقشه‌های پوشش جنگل مربوط به سال‌های ۱۳۷۷ و ۱۳۸۷ (دوره واسنجی) و به‌کمک متغیرهای مستقل مانند فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از جاده‌ها، فاصله از نقاط روستایی، فاصله از مناطق مسکونی سال ۱۳۷۷، فاصله از حاشیه جنگل سال ۱۳۷۷، شیب، ارتفاع و احتمال جنگل‌زدایی در هر دهستان، مدل‌سازی پتانسیل انتقال انجام شد (شکل ۳). از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری برای استخراج جاده‌ها، رودخانه‌ها، نقاط روستایی و همچنین از مدل رقومی ارتفاع SRTM ۳۰ متر برای تولید نقشه شیب استفاده شد. لازم به ذکر است که برای تهیه نقشه‌های جاده‌ها، رودخانه‌ها و نقاط روستایی از داده‌های رقومی دیگر سازمان‌ها مانند وزارت نیرو و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور نیز به‌عنوان داده‌های کمکی استفاده شد و برای افزایش صحت داده‌ها رقومی‌سازی بصری نیز در برخی موارد انجام شد. برای اعمال یکسری از پیش‌پردازش‌ها از نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۶ استفاده شد. در همین راستا، برای تمامی نقشه‌ها با استفاده از ابزار Project سیستم مختصات WGS-1984-UTM39 تعیین شد. برای ایجاد نقشه‌های فاصله از ابزار Euclidean Distance استفاده شد و سپس لایه‌ها با استفاده از ابزار Project Raster به



شکل ۳- نقشه متغیرهای مستقل

Figure 3. Maps of independent variables

شایستگی استفاده شد (Kim, 2010). آماره مشخصه عملکرد نسبی در دامنه صفر تا یک قرار دارد که ارزش یک نشان‌دهنده توافق مکانی کامل و ارزش ۰/۵ نشان‌دهنده توافق تصادفی است (Pontius and Schneider, 2001). عدد شایستگی ارزشی بین صفر تا ۱۰۰ درصد دارد که ارزش صد بیانگر شباهت کامل نقشه پیش‌بینی شده با واقعیت زمین است و ارزش صفر بیانگر عدم شباهت است. در آخر براساس آماره‌های ذکر شده عملکرد هر دو روش مدل‌سازی بررسی شد و آن مدل که صحت بالاتری داشت برای پیش‌بینی

پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل و اعتبارسنجی مدل با استفاده از زنجیره مارکف، احتمال تغییر هر کاربری به کاربری دیگر محاسبه می‌شود (Haibo et al., 2011) که در این پژوهش با استفاده از تغییرات اتفاق افتاده مناطق جنگل به غیرجنگل طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۷، تغییرات برای سال ۱۳۹۷ با استفاده از مدل پیش‌بینی سخت اجرا شد. در رویکرد پیش‌بینی سخت برخلاف تئوری فازی، به هر پیکسل تنها یک کاربری یا یک تغییر نسبت داده می‌شود. برای ارزیابی صحت مدل‌سازی از آماره‌هایی مانند مشخصه عملکرد نسبی (ROC) و عدد

جنگل‌زدایی، مناطقی با مقدار کربن بالا و در معرض جنگل‌زدایی شدید برای اجرای پروژه‌های REDD+ شناسایی شدند.

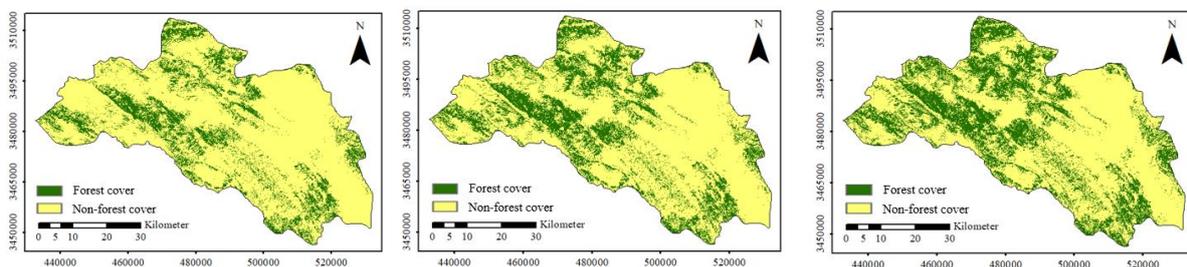
تغییرات آینده (سال ۱۴۱۷) با استفاده از دوره واسنجی ۱۳۷۷-۱۳۹۷ و هشت متغیر مستقل ذکر شده در این پژوهش انتخاب شد.

شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه‌های REDD+

یکی از اولویت‌های انتخاب مناطقی برای اجرای پروژه‌های REDD+، دارا بودن مقدار ذخایر کربن بالا است. بنابراین در این پژوهش، به کمک نقشه جهانی ذخایر کربن اکوسیستم‌های خشکی که دارای قدرت تفکیک مکانی ۱ کیلومتر است، مقدار کربن مناطق تعیین شد. نقشه جهانی ذخایر کربن شامل مجموع کربن روی زمین، زیر زمین و کربن آلی خاک است که با هدف تسهیل در اجرای پروژه‌های REDD+ تهیه شده است (Kapos et al., 2008). لازم به ذکر است که در پژوهش‌هایی مرتبط با اجرای پروژه‌های REDD+ در جنگل‌های هیرکانی، از نقشه جهانی ذخایر کربن استفاده شد (Parsamehr et al., 2019). در ادامه نقشه کربن منطقه مورد بررسی به محدوده‌هایی با مقادیر مشخص کربن طبقه‌بندی شد، همچنین نقشه‌ی مقدار احتمال جنگل‌زدایی در آینده که خروجی حاصل از مدل‌سازی پتانسیل انتقال است به سه طبقه با احتمال جنگل‌زدایی زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد. در نهایت از هم-پوشانی نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده منابع کربن و احتمال

نتایج

نقشه‌های پوشش جنگل شهرستان لردگان مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ در دو طبقه (جنگل و غیرجنگل) تهیه شدند (شکل ۴). همچنین مقدار مساحت مناطق دارای پوشش جنگل برای سال‌های مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است که بر این اساس متوسط جنگل‌زدایی سالانه در بازه زمانی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ و ۱۳۹۷-۱۳۸۷ به ترتیب برابر با ۱۷۲۵/۵۸ و ۲۰۵۵/۳۱ هکتار است. ماتریس خطا برای نقشه‌های تولید شده تشکیل شد که ضریب کاپا برای نقشه‌های مربوط به سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ به ترتیب ۰/۸۸، ۰/۸۹ و ۰/۹۴ به دست آمد (جدول ۳). بررسی تغییرات پوشش جنگل نشان داد که تقریباً ۱۷۲۵۶ هکتار از پوشش جنگل منطقه طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۷ تخریب شده است. همچنین بین سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ حدود ۲۰۵۵۳ هکتار از پوشش جنگل این منطقه کاسته شد (شکل ۵).



پ) پوشش جنگل ۱۳۹۷
c) Forest cover 2018

ب) پوشش جنگل ۱۳۸۷
b) Forest cover 2008

الف) پوشش جنگل ۱۳۷۷
a) Forest cover 1998

شکل ۴- نقشه‌های پوشش جنگل
Figure 4. Forest cover maps

جدول ۲- آنالیز تغییرات پوشش جنگل

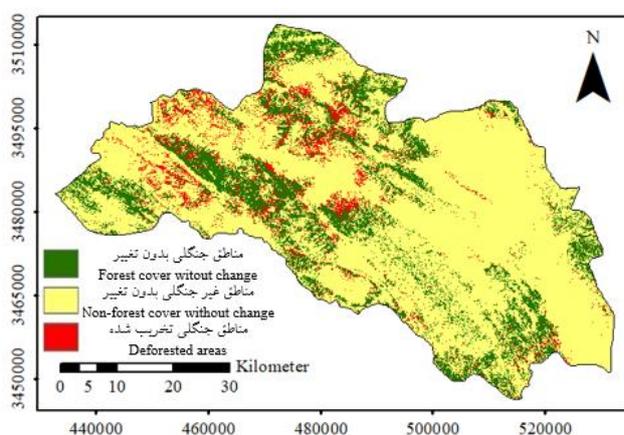
Table 2. Analysis of forest cover changes

نرخ سالانه جنگل زدایی (درصد) Annual rate of deforestation (%)	مساحت (هکتار) Area (ha) 2018	مساحت (هکتار) Area (ha) 2008	مساحت (هکتار) Area (ha) 1998	نوع پوشش Land cover type
بین سال های ۱۳۷۷-۱۳۸۷ 1998-2008 -1.87%	62178.39	82731.51	99987.39	جنگل Forest
بین سال های ۱۳۸۷-۱۳۹۷ 2008-2018 -2.81%	262568.16	242015.04	224759.16	غیر جنگل Non-forest

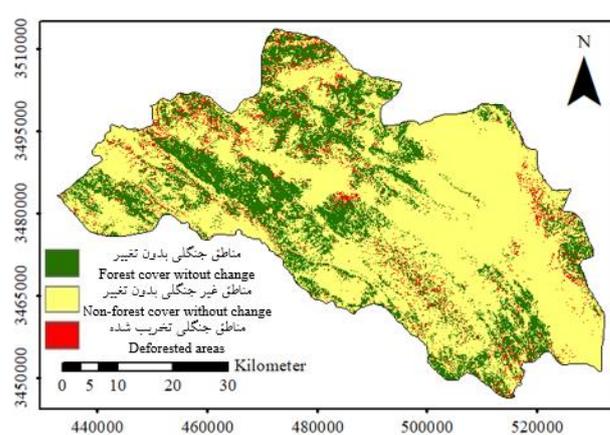
جدول ۳- ماتریس ارزیابی صحت نقشه های پوشش جنگل

Table 3. Error matrix of forest cover maps

ضریب کاپا Kappa	خطای Omission	خطای Commission	صحت کاربر (درصد) User's Accuracy	صحت تولید کننده (درصد) Producer's Accuracy	نوع پوشش Land cover type	سال Year
0.88	4%	5%	95	96	جنگل Forest	۱۳۷۷ 1998
	8%	7%	93	92	غیر جنگل Non-forest	
0.89	5%	8%	92	95	جنگل Forest	۱۳۸۷ 2008
	6%	4%	96	94	غیر جنگل Non-forest	
0.95	3%	2%	98	97	جنگل Forest	۱۳۹۷ 2018
	3%	4%	96	97	غیر جنگل Non-forest	



الف) نواحی تخریب شده پوشش جنگل ۱۳۸۷-۱۳۹۷
a) Deforested areas during 2008-2018



الف) نواحی تخریب شده پوشش جنگل ۱۳۷۷-۱۳۸۷
a) Deforested areas during 1998-2008

شکل ۵- نقشه های مناطق تخریب شده پوشش جنگل

Figure 5. Deforested areas maps

روش شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون لجستیک در شکل ۶ نشان داده شده است. در واقع نقشه‌های پتانسیل انتقال، احتمال شدت تخریب پوشش جنگل را به صورت مکانی ارائه می‌دهند و هر چه ارزش به یک نزدیک‌تر باشد بیانگر احتمال بالای تخریب جنگل است.

ارتباط بین متغیرهای مستقل و تغییرات پوشش جنگل با استفاده از ضریب کرامر تعیین شد که نتایج آن در جدول ۴ ارائه شده است. جدول ۴ نشان می‌دهد که متغیرهای فاصله از حاشیه جنگل، احتمال جنگل‌زدایی در دهستان‌ها و شیب، مقدار همبستگی بالایی با تغییرات پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۷۷ داشتند. نقشه‌های پتانسیل انتقال حاصل از مدل‌سازی با دو

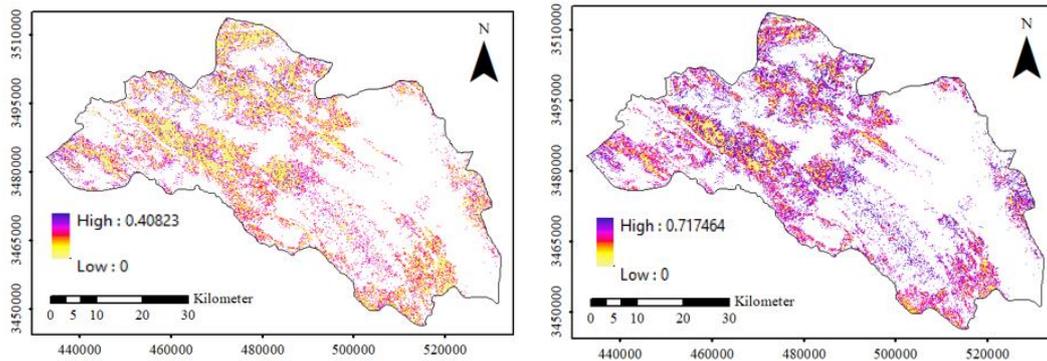
جدول ۴- مقادیر ضریب کرامر برای متغیرهای مستقل

Table 4. Cramer's value for driver variables

مقدار ضریب کرامر Cramer's value	متغیر مستقل Driver variable
0.3312	فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۷۷ Distance from forest edge 1998
0.2770	احتمال جنگل‌زدایی در دهستان‌ها Probability of deforestation in each village district
0.2101	شیب Slope
0.1931	فاصله از مناطق مسکونی ۱۳۷۷ Distance from residential areas 1998
0.1770	فاصله از جاده Distance from road
0.1471	فاصله از روستا Distance from village
0.1449	ارتفاع Elevation
0.1388	فاصله از رودخانه Distance from river

نشان‌دهنده مقدار کای مربع و χ^2 برابر با ۸۷۶۸۵/۷۰۴۸ و ۹۸۳۹/۴۶۵۶ است. همچنین مقدار $Pseudo-R^2$ معادل با ۰/۱۰۰۹ برای مدل رگرسیونی اجرا شده به دست آمد که بیانگر ارتباط ضعیف بین تغییرات و متغیرهای مستقل است.

نتایج مدل رگرسیون و ضرایب رگرسیونی احتمال جنگل‌زدایی در بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۷ در جدول ۵ ارائه شده است. جدول ۵ بیانگر این است که متغیر فاصله از حاشیه جنگل دارای بیشترین تأثیر نسبت به دیگر متغیرها است. خروجی مدل رگرسیون لجستیک



ب) مدل رگرسیون لجستیک
a) Regression logistic

الف) مدل شبکه عصبی مصنوعی
a) Artificial neural network

شکل ۶- نقشه های پتانسیل انتقال پوشش جنگل به غیر جنگل برای بازه زمانی ۱۳۸۷-۱۳۷۷

Figure 6. Transition potential maps of forest cover to non-forest cover for 1998-2008

جدول ۵- ضرایب رگرسیونی متغیرهای مستقل

Table 5. Regression coefficients of driver variables

ضرایب رگرسیونی Regression coefficients	متغیر مستقل Driver variables
1.2415	احتمال جنگل زدایی در دهستانها Probability of deforestation in each village district
- 0.0417	فاصله از رودخانه Distance from river
0.0243	فاصله از جاده Distance from road
0.0510	فاصله از مناطق مسکونی ۱۳۷۷ Distance from residential areas 1998
0.1391	فاصله از روستا Distance from village
- 0.3321	ارتفاع Elevation
- 1.3766	فاصله از حاشیه جنگل ۱۳۷۷ Distance from forest edge 1998
- 0.2228	شیب Slope
4.4508	عرض از مبدأ Intercept

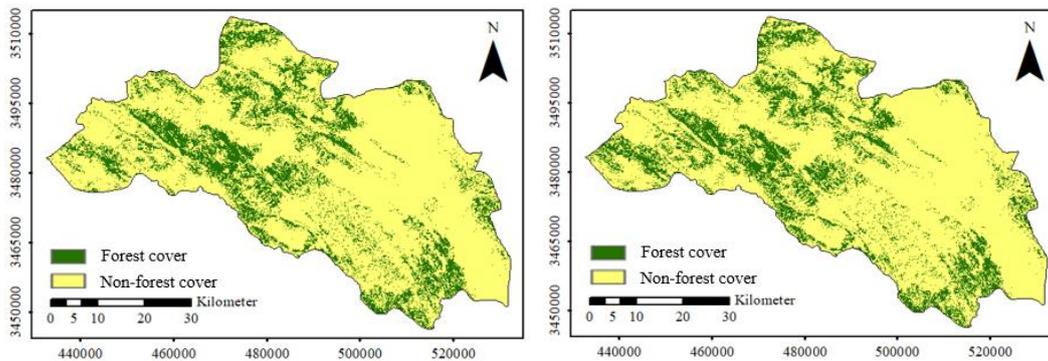
انتظار می رود برای هر ۱۰ سال با احتمال ۸۲/۷۴ درصد پوشش جنگل ثابت بماند و با احتمال ۱۷/۲۶ درصد تخریب شود. نقشه پیش بینی پوشش جنگل برای سال ۱۳۹۷ با استفاده از دو روش مدل سازی به کار گرفته شده در شکل ۷ نشان داده شده است.

پیش بینی تغییرات و اعتبارسنجی مدل احتمال انتقال پوشش جنگل در سال ۱۳۷۷ به اراضی غیر جنگل در سال ۱۳۸۷ براساس تقاضای تغییر و به کمک زنجیره مارکف محاسبه شد (جدول ۶). جدول ۶ بیانگر این است که بر اساس احتمالات زنجیره مارکف

جدول ۶- احتمال انتقال محاسبه شده با زنجیره مارکوف

Table 6. Transition probability matrix produced by Markov chain

	۱۳۸۷ 2008	۱۳۷۷-۱۳۸۷ 1998-2008
مناطق غیر جنگل Non-forest cover	0.1726	0.8274
پوشش جنگل Forest cover	1	0



(ب) مدل رگرسیون لجستیک
b) Regression logistic

(الف) مدل شبکه عصبی مصنوعی
a) Artificial neural network

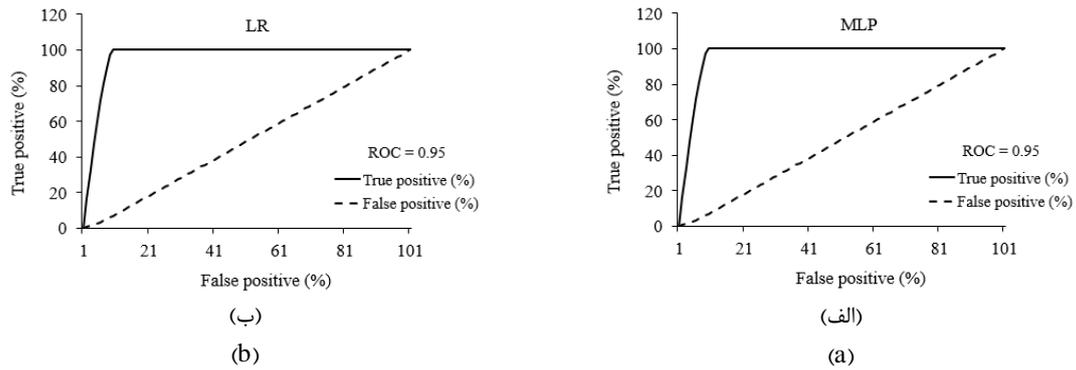
شکل ۷- نقشه‌های پیش‌بینی شده پوشش جنگل سال ۱۳۹۷

Figure 7. Predicted forest cover maps of year 2018

هکتار از سطح پوشش جنگل شهرستان لردگان خواهیم بود.

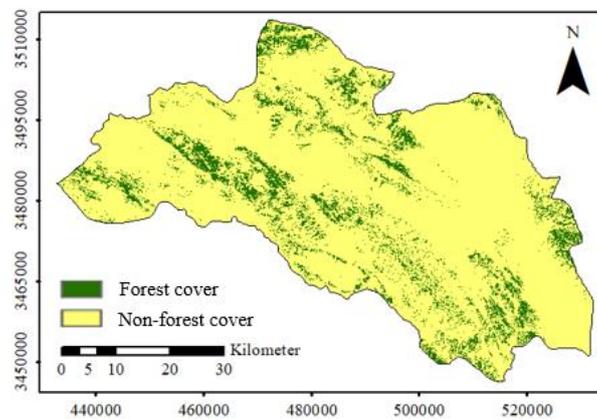
برای شناسایی مقدار احتمال جنگل‌زدایی در آینده، از خروجی مدل رگرسیون لجستیک (نقشه پتانسیل انتقال برای سال ۱۴۱۷) استفاده شد و نقشه حاصل به سه طبقه با احتمال جنگل‌زدایی زیاد، متوسط و کم تقسیم شد. همچنین نقشه منابع کربن نیز به دو طبقه با مقدار کربن کمتر از ۷۰ تن در هکتار و ۱۴۲-۷۰ تن در هکتار طبقه‌بندی شد. در آخر نقشه همپوشانی حاصل از نقشه‌های طبقه‌بندی شده‌ی احتمال جنگل‌زدایی و منابع کربن تهیه شد (شکل ۱۰). در شکل ۱۰ مناطقی با مقدار جنگل‌زدایی شدید و منابع کربن بالا با رنگ قرمز نشان داده شده‌اند.

نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها و مقایسه آن‌ها در جدول ۷ و نمودارهای ROC در شکل ۸ ارائه شده است. آماره ROC بدست آمده برای هر دو مدل بیانگر صحت بالای مدل‌ها در ارتباط با تغییرات اتفاق افتاده است اما در ارتباط با عدد شایستگی، مدل رگرسیون لجستیک مطلوبیت بیشتری کسب کرد. بنابراین برای پیش‌بینی تغییرات سال ۱۴۱۷ (۲۰ سال آینده) از مدل رگرسیون لجستیک استفاده شد. نقشه پیش‌بینی شده تغییرات پوشش جنگل برای سال ۱۴۱۷ در شکل ۹ نشان داده شده است. بررسی تغییرات پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۴۱۷ نشان داد که اگر روند تخریب به‌مانند گذشته ادامه یابد تا سال ۱۴۱۷ شاهد تخریب ۲۳۵۱۰



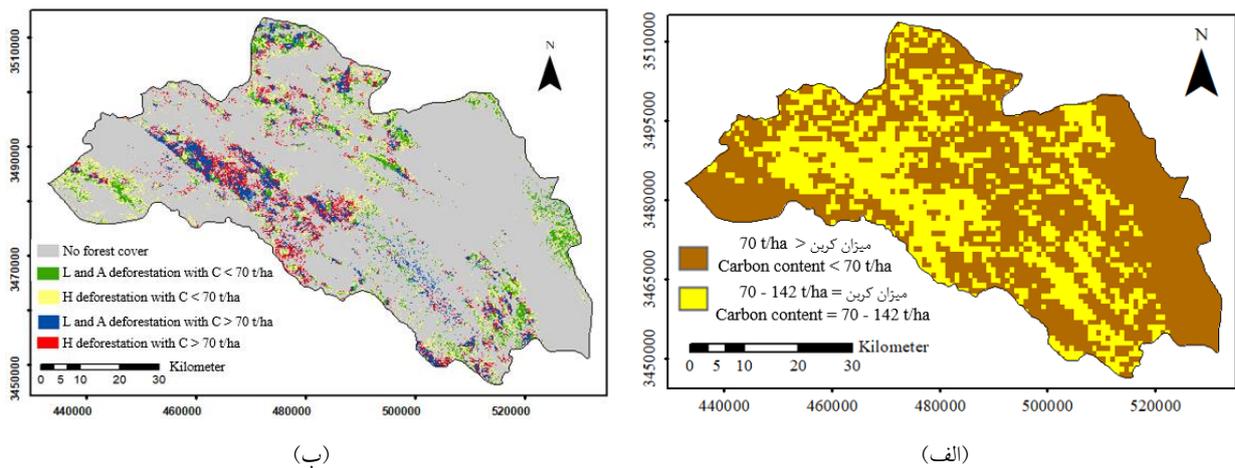
شکل ۸- نمودارهای ROC، الف) شبکه عصبی مصنوعی، ب) رگرسیون لجستیک

Figure 8. ROC curves. a) MLP, b) Logistic Regression (LR)



شکل ۹- نقشه پیش‌بینی شده پوشش جنگل سال ۱۴۱۷ با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک

Figure 9. Predicted forest cover map of 2038 using logistic regression model



شکل ۱۰- نقشه‌های منابع کربن (الف) و همپوشانی منابع کربن (C) و احتمال جنگل‌زدایی (L = کم، A = متوسط و H = زیاد)

(ب) زیاد

Figure 10. Maps of carbon resources and overlay of carbon resources (C) and probability of deforestation (L = Low, A = Average, and H = high)

بحث

جنگلی، فعالیت‌های کشاورزی و چرای بی‌رویه دام، سبب تخریب شدید مناطق جنگلی اطراف روستاها و مناطق مسکونی شده‌اند. این امر می‌تواند به دلیل گستردگی سطح تخریب در منطقه و متمرکز نبودن آن باشد که شاید عوامل دیگر بر مقدار تخریب در منطقه مؤثر هستند و باید شناسایی شوند. همچنین در این بررسی، شاخص $Pseudo-R^2$ نسبت به بررسی Bagheri and Shataee (2010) مقدار بالاتر و نسبت به دیگر بررسی (Nasiri et al., 2019) مقدار کمتری داشت.

همچنین در این پژوهش، برای متغیرهای ارتفاع، فاصله از حاشیه جنگل و شیب، رابطه معکوس با مقدار جنگل‌زدایی رخ داده به دست آمد. یعنی در ارتفاعات پایین‌تر، فواصل نزدیک به حاشیه جنگل و همچنین شیب‌های ملایم تخریب بیشتری اتفاق افتاده است که این مورد با بررسی (Arekhi et al., 2012) مطابقت داشت. می‌توان گفت سطح پوشش جنگلی استان چهارمحال و بختیاری که در شیب و ارتفاع بالا قرار گرفته‌اند به دلیل دشواری در دسترسی و دور از دسترس بودن کمتر مورد تخریب قرار گرفت.

در بررسی انجام‌شده توسط Goldavi et al. (2014) و Parsamehr and Gholamalifard (2016) به رابطه معکوس بین جنگل‌زدایی و فاصله از حاشیه جنگل اشاره شد که با نتایج این بررسی تطبیق دارد.

در این پژوهش دو رویکرد مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل مقایسه شد و نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با مقدار ROC برابر با ۰/۹۷۵۲ و عدد شایستگی ۱۹/۰۱ درصد صحت بالاتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی داشت. پژوهش‌های بسیاری در ارتباط با مقایسه رویکردهای مدل‌سازی انجام شده است. در پژوهشی برای مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل، رگرسیون لجستیک

در این بررسی یکی از اهداف مدنظر بررسی تغییرات پوشش جنگل شهرستان لردگان بود. در این رابطه فرآیند آشکارسازی تغییرات، نشان دهنده کاهش ۳۷۸۰۹ هکتار از اراضی پوشش جنگل طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۷ بود، این نتایج نشان‌دهنده وضعیت بحرانی در منطقه است. در ارتباط با علل کاهش سطح پوشش جنگل در این شهرستان با بررسی عوامل غیرمکانی طبق پژوهش Daneshmandparsa et al. (2018) می‌توان بیان داشت که مواردی مانند چرای دام در عرصه جنگل، زراعت دیم در زیر اشکوب جنگل، تأمین سوخت برای مصارف روستایی، بهره‌برداری از محصولات غیرچوبی مناطق جنگلی مانند صمغ‌ها، میوه‌ها، افزایش جمعیت و وابستگی معیشتی جوامع جنگل‌نشین به عرصه منابع طبیعی و گسترش راه‌های ارتباطی از مهم‌ترین دلایل تخریب پوشش جنگل در این مناطق هستند.

نتایج این پژوهش با بررسی متغیرهای مکانی تخریب پوشش جنگل در این شهرستان نشان داد که برطبق ضرایب رگرسیونی به دست آمده در جدول ۵، متغیرهای فاصله از جاده، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از روستا رابطه مستقیم با مقدار تخریب دارند، در واقع هرچه از این مناطق دورتر شویم تخریب بیشتر می‌شود که در پژوهش انجام‌شده توسط Nasiri et al. (2019)، رابطه مستقیم بین متغیرهای فاصله از جاده و مناطق مسکونی با تخریب پوشش جنگل دیده شد که با معادله رگرسیونی این پژوهش مشابهت داشت. همچنین، در مدل رگرسیونی ارائه‌شده توسط Ghorbannia et al. (2017)، رابطه مستقیم بین تغییرات پوشش جنگل و متغیر فاصله از روستا وجود داشت که مشابه با معادله رگرسیونی این پژوهش است که نشان می‌دهد جوامع روستایی به واسطه دسترسی به مناطق

انتقال به‌کار گرفته و همچنین شرایط متفاوت مناطق مرتبط است. مرور پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که مدل رگرسیون لجستیک اغلب در شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی عملکرد مطلوبی داشت اما نتایج مدل رگرسیون این پژوهش نشان داد که ارتباط بین متغیرهای مستقل و تغییرات پوشش جنگل ضعیف بوده است. در این ارتباط، با تحلیل نتایج مدل رگرسیون اجرا شده در منطقه مورد بررسی (شهرستان لردگان) می‌توان بیان داشت که عوامل جنگل‌زدایی محدود به متغیرهای مکانی طبیعی و برخی متغیرهای انسان ساخت نمی‌شوند و باید ابعاد دیگری از برهمکنش بین انسان و اکوسیستم مناطق جنگلی را بررسی کرد. در واقع می‌بایست ارتباط بین خدمات اکوسیستمی یک منطقه دارای پوشش جنگل و نیازهای جوامع انسانی وابسته به آن بررسی شود تا بتوان مقدار اثرگذاری عوامل انسانی را در ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بر روند جنگل‌زدایی منطقه آشکار ساخت.

در رابطه با مدل رگرسیون لجستیک می‌توان بیان داشت که یک مدل بسیار ساده و مناسب برای تحلیل داده‌های باینری در علم محیط‌زیست است. مدل رگرسیون لجستیک یک مدل انعطاف‌پذیر است به این معنا که می‌توان متغیرهای مستقل پیوسته یا طبقه‌بندی شده را در مدل به‌کار برد. در مدل رگرسیون لجستیک برخلاف شبکه عصبی مصنوعی می‌توان تنها یک زیرمدل یا انتقال را شبیه‌سازی کرد، به این معنا که نمی‌توان هم‌زمان چندین پتانسیل انتقال برای مثال تغییرات از پوشش جنگل به مناطق شهری یا کشاورزی را مدل کرد (Parsamehr et al., 2020).

با توجه به روند تغییرات شدید کاربری اراضی و به‌خصوص جنگل‌زدایی در شهرستان لردگان، در آینده شاهد تخریب شدید پوشش جنگل و هدررفت منابع کربن منطقه خواهیم بود. این اتفاق منجر به انتشار

با مقدار عدد شایستگی ۸ درصد عملکرد بهتری را نسبت به دیگر مدل‌ها کسب کرد (Kim, 2010). Arekhi et al. (2012) در پژوهشی به شبیه‌سازی تخریب سطح جنگل با استفاده از رگرسیون لجستیک در جنگل‌های شمال ایلام پرداختند و مقدار ROC برابر با ۰/۷۶ بیانگر توافق نسبی مدل با تغییرات رخ داده بود. در پژوهشی برای مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال تغییر پوشش سرزمین، رگرسیون لجستیک صحت بالاتری نسبت به شبکه عصبی مصنوعی نشان داد (Gholamalifard et al., 2014). بررسی الگوی مکانی تغییرات پوشش جنگل شهرستان ملکشاهی در استان ایلام با استفاده از رگرسیون لجستیک نشان داد که این مدل قادر به پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۳ با مقدار ROC برابر با ۰/۸۲ بوده است (Mirzaeizadeh et al., 2016). در پژوهشی مدل‌سازی تخریب پوشش جنگل‌های زاگرس در استان ایلام، طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۶۶ با استفاده از رگرسیون لجستیک انجام شد و مقدار آماره ROC معادل با ۰/۸۴ برای نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۳۹۳ بدست آمد که بیانگر قابلیت بالای مدل رگرسیونی برای شبیه‌سازی تغییرات بوده است (Mahdavi et al., 2018). در بررسی‌ای بررسی تغییرات مکانی جنگل‌های زاگرس طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۶۴ با استفاده از مدل LCM انجام شد و پیش‌بینی تغییرات برای سال ۱۳۹۴ با مقدار ضریب کاپا برابر با ۰/۸۹ بیانگر توانایی LCM در زمینه پیش‌بینی تغییرات پوشش جنگل بوده است (Nasiri et al., 2019). همچنین در پژوهشی در راستای مدل‌سازی تغییرات پوشش جنگل، مدل شبکه عصبی مصنوعی با مقدار عدد شایستگی ۲۶/۸ درصد عملکرد بهتری نسبت به مدل رگرسیون لجستیک در پیش‌بینی تغییرات داشت (Parsamehr et al., 2020). باید اشاره داشت که دلیل نتایج متفاوت رویکردهای مدل‌سازی، به روش مدل‌سازی پتانسیل

داده شدند. این مناطق در صورتی که تحت حفاظت و اجرای پروژه REDD+ قرار گیرند می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. در واقع، پروژه‌های REDD+ به‌عنوان یکی از مکانیسم‌های توسعه پاک با هدف احیای جنگل‌ها مطرح هستند. با استفاده از شناسایی مناطقی برای اجرای پروژه‌ها و سپس اجرای عملیاتی پروژه می‌توان سند طراحی پروژه‌هایی را که به‌منظور حفاظت و احیای جنگل‌ها مطرح است، تکمیل کرد و از مزایای مالی سازمان‌های بین‌المللی مرتبط با اجرای مکانیسم‌های توسعه پاک بهره‌مند شد (Parsamehr and Gholamalifard, 2016).

در این پژوهش، با استفاده از دو رویکرد مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال، تغییرات پوشش جنگل بررسی و پیش‌بینی روند جنگل‌زدایی در آینده انجام شد و همچنین از دو معیار (احتمال جنگل‌زدایی و منابع کربن) برای شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه REDD+ استفاده شد. به‌عنوان پیشنهادی برای پژوهش‌های آینده می‌توان از دیگر مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی مانند ژنومد و CA-MARKOV استفاده کرد و نتایج مدل‌سازی تجربی پتانسیل انتقال آن‌ها را با مدل‌های ارائه شده در این پژوهش مقایسه کرد و اثرات آن‌ها را در شناسایی مناطق مطلوب برای پروژه‌های REDD+ بررسی کرد.

References

- Arekhi, S.; Jafarzadeh, A. A.; Yousefi, S., Modeling deforestation using logistic regression, GIS and RS case study: Northern forests of the Ilam province. *Journal of Geography and Development* **2012**, *10*, 31-42. (In Persian)
- Bagheri, R.; Shataee, S., Modeling forest areas decreases, using logistic regression (case study: Chehl-Chay catchment, Golestan province). *Iranian Journal of Forest* **2010**, *2*: 243-252. (In Persian)

گازهای گلخانه‌ای ناشی از جنگل‌زدایی به اتمسفر و در نهایت تغییرات اقلیمی در طولانی مدت خواهد شد. پروژه‌های REDD+ به‌دنبال جلوگیری از تشدید جنگل‌زدایی و انتشار منابع کربن و همچنین حفاظت از مناطق در معرض تغییرات شدید کاربری اراضی هستند. در این پژوهش، سناریو تغییرات پوشش جنگل برای آینده شبیه‌سازی شد و در نهایت با تعیین مناطق در معرض جنگل‌زدایی شدید و همچنین تعیین منابع کربن منطقه، مناطق دارای پتانسیل (مناطق با مقدار کربن بالا و احتمال جنگل‌زدایی شدید در آینده) برای پروژه‌های REDD+ به‌صورت مکانی برای اولین بار در جنگل‌های زاگرس شناسایی شدند. در همین ارتباط، در پژوهشی برای اجرای پروژه‌های REDD+ در منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی، منطقه در معرض جنگل‌زدایی دارای منابع کربن ۶۵ تا ۱۵۰ تن در هکتار بود (Parsamehr and Gholamalifard, 2016). همچنین، در پژوهشی دیگر در جنگل‌های هیرکانی، مقدار منابع کربن برای منطقه‌ی تحت تأثیر جنگل‌زدایی بین ۵۰ تا ۱۰۰ تن در هکتار برآورد شد (Parsamehr et al., 2019). نتایج هر دو بررسی انجام شده حاکی از موفقیت‌آمیز بودن اجرای پروژه REDD+ بوده است. بر همین اساس، در این پژوهش نیز، مناطقی با مقدار جنگل‌زدایی شدید و منابع کربن بالاتر از ۷۰ تن در هکتار برای اجرای پروژه REDD+ مطلوب تشخیص

- Clark, W. A.; Hosking, P. L., *Statistical methods for geographers*. 1986.
- Daneshmandparsa, R.; Mirzaei, R.; Bihamtaitoosi, N., Land cover change detection of Chahar Mahal Bakhtiari province using landscape metrics (1994-2015). *Iran. J. Appl. Ecol* **2018**, *7* (2), 17-27. (In Persian)
- Eckert, S.; Ratsimba, H. R.; Rakotondrasoana, L. O.; Rajoelison, L. G.; Ehrensperger, A., Deforestation and forest degradation monitoring and assessment of biomass and

- carbon stock of lowland rainforest in the Analanjirifo region, Madagascar. *Forest Ecology and Management* **2011**, 262 (11), 1996-2007.
- Ghorbannia, V.; Mirsanjari, M. M.; Armin, M., Forecasting of forest land changes in the Chaloorood watershed. *Journal of RS and GIS for Natural Resources* **2017**, 8 (2), 79-91.
- Jensen, J. R. *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*; Univ. of South Carolina, Columbus: 1986.
- Kapos, V.; Ravilious, C.; Campbell, A.; Dickson, B.; Gibbs, H.; Hansen, M.; Lysenko, I.; Miles, L.; Price, J.; Scharlemann, J., Website: www.unep-wcmc.org. **2008**.
- Kim, O. S., An assessment of deforestation models for reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD). *Transactions in GIS* **2010**, 14 (5), 631-654.
- Kumar, R.; Nandy, S.; Agarwal, R.; Kushwaha, S., Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological indicators* **2014**, 45, 444-455.
- Lopez, R. D.; Frohn, R. C., *Remote sensing for landscape ecology: New metric indicators*. CRC Press: 2017.
- Mahdavi, A.; Rangin, S.; Mehdizadeh, H.; Mirzaei Zadeh, V., Modelling the Trend of Zagros Forest Degradation using Logistic Regression (Case study: Chardavol Forest of Ilam province). *Geography and Sustainability of Environment* **2018**, 8 (2), 1-13.
- McCoy, R. M., *Field methods in remote sensing*. Guilford Press: 2005.
- Mirzaeizadeh, V.; Mahdavi, A.; Karamshahi, A.; Jafarzadeh, A., Investigation of the spatial pattern of forest cover changes using logistic regression in Malekshahi. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2016**, 23 (3), 45-68.
- Nasiri, S.; Naghavi, H.; Soosani, J.; Nouredini, A. R., Modeling the spatial changes of Zagros forests using satellite imagery and LCM model (Case study: Bastam, Selseleh). *Geography And Development Iranian Journal* **2019**, 17 (54), 107-120.
- Nasiri, V.; Darvishsefat, A.; Shirvani, A.; Avatefi Hemat, M., Monitoring and modeling changes of forest area using logistic regression-markov and geomod. *Geographic Space* **2019**, 19 (65), 171-189.
- Parsamehr, K.; Gholamalifard, M.; Kooch, Y., Comparing three transition potential modeling for identifying suitable sites for REDD+ projects. *Spatial Information Research* **2019**, 1-13.
- Parsamehr, K.; Gholamalifard, M., Applied introduction of modeling of REDD projects: a strategy for reduce the impacts of climate change. *Environmental Researchers* **2016**, 7 (13), 189-202. (In Persian)
- Pontius Jr, R. G.; Schneider, L. C., Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, ecosystems & environment* **2001**, 85 (1-3), 239-248.
- Spatial planning studies of Chaharmahal and Bakhtiari province, Planning and Budget Organization, Chaharmahal and Bakhtiari Management and Planning Organization, 2018. (In Persian)

Modelling of forest cover change to identify suitable areas for REDD+ projects (case study: Lordegan county)

S. Delpasand¹, R. Maleknia^{*2} and H. Naghavi³

1- PhD Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (sahar.delpasand@yahoo.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (Maleknia.r@lu.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoramabad, I. R. Iran. (Naghavi.ha@lu.ac.ir)

Received: 23.10.2020 Accepted: 08.02.2021

Abstract

In recent decades, there has been a significant reduction in the Zagros forest. In this regard, in the present study, the forest cover changes of Lordegan county located in Chaharmahal Bakhtiari province were examined using forest cover maps produced by Landsat 5 and 8 satellites belonging to 1988, 2008 and 2018. Then, transition potential modeling from forest to non-forest was performed using two models of artificial neural network and logistic regression, and for validation the ROC and figure of merit were applied. Finally, using overlapping the maps of deforestation probability and carbon resources, the suitable areas for REDD+ projects were identified. The results of change detection showed that during 1988-2008 and 2008-2018, 17,256 ha and 20,553 ha of forest cover were degraded, respectively. The validation results showed that the logistic regression gained the ROC equal to 0.95 and the figure of merit equal to 19.01%, and had a better performance than the artificial neural network. Also, based on overlap map of carbon resources and deforestation probability, areas with high deforestation probability and carbon content above 70 tons per hectare were proposed for REDD+. The findings of this study show that using the presented methodology can be identified the areas with deforestation and can be prevented the release of greenhouse gas into the atmosphere.

Keywords: Deforestation, Transition potential modelling, REDD+ project, Lordegan County.

* Corresponding author

Tel: +989126806297

ارتباط تغییرات عوامل ژئوگرافیکی و مورفولوژیکی با ویژگی های فیتوشیمیایی جمعیت های سماق ایرانی (*Rhus coriaria* L.)

رسول محمدی آلاگوز^۱، رضا درویش زاده^{۲*}، احمد علیجانپور^۳ و میترا رازی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد بیوتکنولوژی کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران. (rasulagri88.rm@gmail.com)

۲- استاد، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

۴- دکتری فیزیولوژی و اصلاح درختان میوه، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (razi.mitra2012@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۲۲

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی تأثیر تغییرات جغرافیایی و مورفولوژیکی بر تولید ترکیبات فیتوشیمیایی در سماق (*Rhus coriaria* L.) با استفاده از تجزیه همبستگی کانونی اجرا شد. تجزیه همبستگی کانونی بین چهار متغیر محیطی (ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب دامنه، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی) و نه صفت مورفولوژیکی (قطر یقه، تعداد جست، ارتفاع پایه اصلی، قطر بزرگ تاج، قطر کوچک تاج، طول برگ، عرض برگ، طول برگچه، عرض برگچه) با مؤلفه های شیمیایی انجام شد. اطلاعات نمونه ها از پنج موقعیت جغرافیایی در دو استان آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی جمع آوری شدند. تجزیه همبستگی کانونی نشان داد نمونه هایی که در طول جغرافیایی بالاتر (از نظر عددی مقادیر بیشتر) و زمین های با شیب زیاد و عرض جغرافیایی کم (از نظر عددی مقادیر کمتر) قرار دارند دارای مقادیر بالای Ellagic acid 11.49 بودند. نتایج نشان داد نمونه هایی که طول برگچه زیاد و طول برگ کمی دارند دارای مقادیر بالای Mallic acid هستند. با افزایش طول برگچه و قطر بزرگ تاج، کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار Quercetin و Mallic acid با افزایش طول برگچه و قطر بزرگ تاج، کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار Mallic acid و Quercetin مشاهده شد.

واژه های کلیدی: تنوع فیتوشیمیایی، متغیرهای محیطی، متغیرهای کانونی، سماق.

پراکنش این گونه گیاهی مؤثر هستند (Shokrolahi et al., 2013).

تنوع پومولوژیکی و فیتوشیمیایی موجود در جمعیت گیاهان ممکن است به تنوع ژنتیکی و همچنین عوامل محیطی نسبت داده شود (Djabou et al., 2012). پژوهش‌های (Hussain et al., 2009) نشان داده‌اند که ترکیبات فیتوشیمیایی گیاهان تحت تأثیر عوامل محیطی مختلفی مانند عوامل جغرافیایی، آب و هوا، نوع خاک، قرار شدن در معرض آفتاب، تنش چرا، تغییرات فصلی و غیره قرار می‌گیرند. گزارش شده است که صفات پومولوژیکی و فیتوشیمیایی گونه‌های واکسینیوم به شدت تحت تأثیر مختصات جغرافیایی مانند ارتفاع و شاخص‌های آب و هوایی مانند دما و میانگین بارندگی سالیانه قرار می‌گیرند (Zoratti et al., 2015). بر اساس گزارش (Akbarian et al., 2017) شرایط خاک، دما و ارتفاع بر فعالیت آن‌تی‌اکسیدانی و مقدار متابولیت‌های ثانویه در گیاه بیهلر (*Dorema aucheri* L.) تأثیرگذار بوده است. روش‌های مختلفی برای تخمین و تعیین حضور ترکیبات زیستی فعال در گیاهان دارویی استفاده شده است. کروماتوگرافی و تکنیک‌های طیف‌سنجی مفیدترین و محبوب‌ترین ابزاری هستند که برای این منظور استفاده می‌شوند (Ashokkumar and Ramaswamy, 2014).

در این پژوهش ارتباط متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب دامنه و طول و عرض جغرافیایی و همچنین تنوع در صفات مورفولوژیک با تغییرات فیتوشیمیایی پایه‌های سماق با استفاده از تحلیل همبستگی کانونی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

مناطق مورد بررسی

سماق نام مشترک جنس *Rhus* است که دارای بیش از ۲۵۰ گونه از گیاهان گل‌دار در خانواده Anacardiaceae است (Sezik et al., 1991). این جنس در مناطق معتدل و گرمسیری در سرتاسر جهان یافت می‌شود. به‌طور کلی سماق می‌تواند در مناطقی که از نظر کشاورزی مناسب نیست، رشد کند. *Rhus coriaria* (Tanner's sumac) که در مناطق قرق‌شده واقع در جزایر قناری، مدیترانه و خاورمیانه (ایران و افغانستان) رشد می‌کند، معمولاً به عنوان ادویه و همچنین به‌عنوان گیاه دارویی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Sezik et al., 1991). گزارش شده است که خاک مناطق دارای پوشش سماق نسبت به ناحیه فاقد این درختچه دارای درصد بیشتری از نسبت کربن به ازت، پتاسیم، کلسیم و خصوصیات شیمیایی مطلوب است و اراضی تحت کشت این گونه گیاهی حاصلخیزی بیشتری دارند (Saghari et al., 2020). توده‌های گونه سماق (*Rhus coriaria* L.) که در شمال غرب ایران و در استان‌های آذربایجان شرقی و غربی پراکنش دارند، اگرچه از نظر تولید چوب اهمیت کمی دارند، اما از نظر استفاده‌های غذایی-دارویی، اثرات زیست‌محیطی و حفاظت از منابع آب و خاک نقش ارزنده‌ای در این مناطق ایفا می‌کنند (Alijanpour, 2013).

تأثیرپذیری از اقلیم‌های مختلف و وجود شرایط فیزیوگرافی متنوع موجب شکل‌گیری جمعیت‌های گیاهی بسیار متنوعی از این گیاه شده است (Alijanpour, 2013). پژوهش‌های بررسی مقدار پراکنش گونه *Agropyron cristatum* در مراتع مازندران نشان داد که عوامل محیطی مختلفی مانند ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب، وضعیت ماده آلی، بافت خاک، میزان ازت، فسفر و لاشبرگ بر مقدار

پنج ناحیه از ارتفاعات مختلف رویشگاه‌های سماق، در دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی انتخاب شدند. مناطق نمونه‌برداری از آذربایجان غربی شامل کچله، دره خان و دره نیژ و از استان آذربایجان شرقی شامل آقبراز هوراند و وینق ارسباران بودند. در جدول ۱ مشخصات ژئوگرافیکی مناطق نمونه‌برداری ارائه شده است (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ژئوگرافیکی مناطق نمونه‌برداری جمعیت‌های سماق مورد بررسی

Table 1. Geographical characteristics of sampling regions of *Rhus coriaria* L. populations

منطقه Region	مکان Location	طول جغرافیایی Longitude	عرض جغرافیایی Latitude	ارتفاع از سطح دریا (متر) Above sea level (m)	شیب دامنه (درصد) Slope slider (%)
1	آذربایجان غربی (کچله) West Azarbayjan (Kachleh)	44° 52'	37° 12'	1727	55
2	آذربایجان غربی (دره خان) West Azarbayjan (Dareh Khan)	60° 45'	18° 37'	1533	10
3	آذربایجان غربی (دره نیژ) West Azarbayjan (Dareh Nizh)	80° 45'	37° 16'	1623	10
4	آذربایجان شرقی (هوراند- آقبراز) East Azarbayjan (Horand- Aghberaz)	23° 47'	38° 59'	1190	45
5	آذربایجان شرقی (ارسباران- وینق) East Azarbayjan (Arasbaran- Vinagh)	46° 50'	39° 02'	860	60

برای اندازه‌گیری مواد فیتوشیمیایی از میوه‌های سماق استفاده شد. به این صورت که میوه‌ها در شرایط سایه خشک شدند سپس پریکارپ میوه از دانه آن جدا و به وسیله آسیاب خانگی خرد شد. پریکارپ خرد شده تا زمان استخراج ترکیبات فنولی در دمای اتاق نگهداری شد.

استخراج ترکیبات فنولی

استخراج ترکیبات فنولی در آزمایشگاه گروه اصلاح و بیوتکنولوژی گیاهی دانشگاه ارومیه و آزمایشگاه رادین (تبریز) (<http://www.radinqlab.ir/>) انجام شد. مقدار ۱۰ میلی‌لیتر متانول ۸۰ درصد حجمی (HPLC grade) به نیم گرم از پریکارپ‌های خرد شده اضافه شد. نمونه‌ها به مدت ۴۵ دقیقه در حمام اولتراسونیک (ELMA, Germany) و در دمای اتاق سونیکیت شدند. بعد از این

نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

تعداد ۱۵ درختچه از هر منطقه با رعایت اصول نمونه برداری در یک مقیاس خطی شرقی به غربی و بالعکس به فاصله ۱۵ متر از هم انتخاب شد (Malvolti *et al.*, 1993). در درختچه‌های انتخاب شده صفات مورفولوژیک مختلف از قبیل قطر یقه (X1; mm)، تعداد جست (X2)، ارتفاع پایه اصلی (X3; cm)، قطر بزرگ تاج (X4; cm)، قطر کوچک تاج (X5; cm)، طول برگ (X6; cm)، عرض برگ (X7; cm)، طول برگچه (X8; mm)، عرض برگچه (X9; mm) اندازه‌گیری شدند.

ارزیابی صفات فیتوشیمیایی

آماده سازی نمونه‌ها

مرحله، نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه و در دمای اتاق ساتریفوژ شده و سپس با فیلتر سرنگی ۰/۲۲ میکرونی (ساخت شرکت پال آمریکا) فیلتر شدند. نمونه‌ها برای ادامه مراحل بعدی تجزیه، در فریزر ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

آنالیز HPLC-LC/MS-MS

نمونه‌های متانولی پریکارپ میوه سماق در دستگاه LC-MS/MS با سیستم اتاکن جداسازی پیوسته (Waters, Milford, MA, USA) شامل سیستم تحویل حلال چهار جزئی با نمونه‌بردار اتوماتیک و ستون متصل به ستون جدا کننده Agilent ZORBAX SB-C18 مورد تجزیه قرار شدند. شناسایی ترکیبات در دو سطح الکترواسپری منفی و مثبت انجام شد. همچنین مساحت زیر منحنی برای هر ترکیب در هر یک از نمونه‌های سماق به صورت AUC (مساحت زیر منحنی) و هم به صورت انتگریت دستی محاسبه شد. مقدار عددی آن‌ها بر حسب ppm با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه و گزارش شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای بررسی ارتباط بین تغییرات صفات فیتوشیمیایی و متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، درصد شیب دامنه و طول و عرض جغرافیایی و همچنین تغییرات صفات مورفولوژیک از تجزیه همبستگی کانونیک استفاده شد. تعیین تعداد متغیرهای کانونیک و انتخاب همبستگی‌های کانونیک مناسب بر مبنای مقادیر همبستگی‌های کانونیک تصحیح شده و آزمون Roy's Greatest Root انجام شد. محاسبات آماری در نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام شد.

نتایج

با توجه به مقادیر همبستگی کانونیک چهار متغیر محیطی و ۱۳ صفت فیتوشیمیایی مشخص شد که یک

متغیر کانونیک دارای مقادیر قابل توجهی از همبستگی کانونیک تصحیح شده است (جدول ۲). ضرایب کانونیک استاندارد شده برای صفات Ellagic acid 11.49 با اثر مثبت و Mallic acid با اثر منفی بیشترین سهم را در تشکیل متغیر اول کانونیک ویژگی‌های فیتوشیمیایی داشتند (جدول ۳). مقادیر مربوط به ضرایب متغیر کانونیک اول در ویژگی‌های محیطی گویای تأثیر مثبت طول جغرافیایی و شیب دامنه و تأثیر منفی چشمگیر عرض جغرافیایی در تشکیل این متغیر است. ضرایب دومین متغیر کانونیک، تفاوت قابل-توجهی را با ضرایب اولین متغیر نشان داد به طوری که Ellagic acid 8.7، Mallic acid، Quercetin، Gallic acid و Ellagic acid 11.49 با اثر مثبت بسیار بزرگ و Gallic acid 6.5 و Ellagic acid 13.97 با اثر منفی بزرگ سهم خود را در این متغیر کانونیک نشان دادند. همچنین به طور مشابه بیشترین ضرایب دومین متغیر کانونیک با علامت منفی برای ویژگی‌های جغرافیایی مربوط به عرض جغرافیایی بود. طول جغرافیایی و شیب دامنه نیز ضریب تقریباً مشابه و مثبتی را داشتند. با بررسی معادله اول چنین به نظر می‌رسد که ظاهراً نمونه‌هایی که در طول جغرافیایی بالاتر (از نظر عددی مقادیر بیشتر) و زمین‌های با شیب زیاد و عرض جغرافیایی کم (از نظر عددی مقادیر کمتر) قرار دارند دارای مقادیر بالایی از Ellagic acid 11.49 هستند. تفسیر دومین جفت از متغیرهای کانونی باز هم تأثیر بسیار مهم عرض جغرافیایی در تغییر برخی از صفات فیتوشیمیایی را نشان داد؛ به طوری که با کاهش شدید عرض جغرافیایی مقادیر 8.7، Gallic acid، Quercetin، Mallic acid و Ellagic acid 11.49 افزایش قابل توجه و زیادی را نشان دادند. ترکیبات فیتوشیمیایی دیگر مانند Gallic acid 6.5 و Ellagic acid 13.97 با کاهش عرض جغرافیایی کاهش شدیدی نشان دادند.

جدول ۲- مقادیر همبستگی‌های کانونیک بین صفات فیتوشیمیایی و عوامل محیطی در سماق

Table 2. Canonical correlation between phytochemical traits and environmental factors in sumac

Roy's Greatest Root	توان دوم همبستگی کانونیک Squared of Canonical Correlation	همبستگی کانونیک تصحیح شده Corrected canonical correlation	همبستگی کانونیک Canonical correlation	شماره Number
2.15	0.64	0.76	0.80	1
0.95	0.24	0.33	0.49	2
0.72	0.15	0.25	0.39	3
0.53	0.08	0.14	0.28	4

ns و * به ترتیب عدم معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and *: not significant, and Significant at $p < 0.01$, respectively.

جدول ۳- مقادیر ضرایب همبستگی کانونیک در دو متغیر اول بین صفات فیتوشیمیایی و عوامل محیطی در سماق

Table 3. The values of canonical correlation coefficients in the first two variables between phytochemical traits and environmental factors in sumac

همبستگی صفت با متغیر کانونیک گروه دیگر Correlation of trait with canonical variable in another group	بارهای کانونیک Canonical bars		ضرایب کانونیک استاندارد شده Standardized canonical coefficients		گروه‌های متغیری Variable groups	
	2	1	2	1		
-0.11	0.11	-0.22	0.13	-1.08	0.22	Gallic acid 6.5
0.00	-0.12	0.00	-0.15	0.91	-0.07	Gallic acid 8.7
0.00	-0.14	0.01	-0.17	1.06	0.35	Quercetin
0.17	-0.59	0.35	-0.73	1.02	-0.53	Mallic acid
0.05	-0.41	0.11	-0.51	-0.07	-0.39	Mallic acid hexoside 2.71
0.14	-0.43	0.29	-0.53	-0.11	0.29	Mallic acid hexoside 6.11
0.09	-0.48	0.18	-0.60	-0.54	-0.33	Coumaric acid
0.20	0.07	0.40	0.09	-0.35	0.01	Coumaric acid 8.9
0.13	-0.27	0.27	-0.34	-0.22	-0.16	Caftaric acid
0.24	-0.06	0.48	-0.07	-0.04	-0.17	Linoleic acid
0.22	0.02	0.46	0.03	0.41	0.11	Linoleic acid 5
0.27	0.44	0.55	0.54	0.97	0.58	Ellagic acid 11.49
-0.01	-0.14	-0.03	-0.17	-1.25	-0.05	Ellagic acid 13.97
0.09	0.33	0.19	0.41	0.13	-1.35	ارتفاع از سطح دریا (متر) Height above sea level (m)
-0.44	0.05	-0.89	0.06	-0.22	4.06	شیب دامنه (درصد) Slope slider (%)
-0.12	-0.29	-0.25	-0.36	-1.11	-8.06	عرض جغرافیایی Latitude
0.18	-0.26	0.37	-0.32	1.37	5.01	طول جغرافیایی Longitude

Phytochemical traits

Environmental characteristics

تصحیح شده هستند (جدول ۴). ضرایب کانونیک استاندارد شده برای صفت طول برگچه با اثر مثبت و طول برگ با اثر منفی بیشترین سهم را در تشکیل متغیر

مقادیر همبستگی کانونیک ۹ صفت مورفولوژیکی و ۱۳ صفت فیتوشیمیایی نشان داد که ۲ متغیر کانونیک دارای مقادیر قابل توجهی از همبستگی کانونیک

6.11 نشان داد، به طوری که با افزایش طول برگچه و قطر بزرگ تاج، کاهش قابل توجه در مقدار Quercetin و Mallic acid hexoside مشاهده شد. همچنین کاهش عرض برگچه و قطر کوچک تاج با کاهش میزان Quercetin و Mallic acid hexoside 6.11 هم‌راستا بود. ضرایب همبستگی بین صفات مورفولوژیکی و فیتوشیمیایی در فایل تکمیلی ۱ ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین همبستگی مثبت بین صفات طول برگچه و Mallic acid ($r = 0/31$) مشاهده شد. بین Quercetin با همه صفات مورفولوژیکی همبستگی مثبت مشاهده شد. همبستگی بسیار ناچیز ($r = 0/0005$) بین طول برگ و Ellagic acid 11.49 مشاهده شد. همبستگی منفی بین Ellagic acid 13.97 با اکثر صفات وجود داشت. بر اساس ضرایب همبستگی بین صفات فیتوشیمیایی و عوامل محیطی (فایل تکمیلی ۲)، بیشترین همبستگی مثبت بین صفات طول جغرافیایی و Mallic acid ($r = 0/24$) مشاهده شد. همبستگی بسیار ناچیز بین صفات ارتفاع از سطح دریا و Gallic acid 8.7 ($r = 0/0004$) مشاهده شد.

کانونیک اول ویژگی‌های مورفولوژیک داشتند (جدول ۵). مقادیر مربوط به ضرایب متغیر کانونیک اول در ویژگی‌های فیتوشیمیایی گویای تأثیر مثبت Mallic acid و تأثیر منفی چشمگیر Quercetin در تشکیل این متغیر است.

ضرایب دومین متغیر کانونیک تفاوت زیادی را با ضرایب اولین متغیر نشان داد به طوری که طول برگچه با اثر مثبت بسیار بزرگ و عرض برگچه با اثر منفی بسیار بزرگ سهم خود را در این متغیر کانونیک نشان دادند. همچنین به طور مشابه بیشترین ضرایب دومین متغیر کانونیک با علامت منفی برای ویژگی‌های فیتوشیمیایی مربوط به Quercetin و Mallic acid 6.11 hexoside بود. Ellagic acid 13.97 و Ellagic acid 11.49 نیز ضریب تقریباً مشابه و مثبتی را نشان دادند.

با بررسی معادله اول چنین به نظر می‌رسد که ظاهراً نمونه‌هایی که طول برگچه زیاد و طول برگ کمی دارند دارای مقادیر بالایی از Mallic acid هستند. تفسیر دومین جفت از متغیرهای کانونی باز هم تأثیر بسیار مهم طول برگچه و قطر بزرگ تاج را بر ترکیب فیتوشیمیایی Quercetin و Mallic acid hexoside

جدول ۴- مقادیر همبستگی‌های کانونیک بین صفات فیتوشیمیایی و مورفولوژیک در سماق

Table 4. Canonical correlation between phytochemical and morphological traits in sumac

Roy's Greatest Root	توان دوم همبستگی کانونیک Squared of Canonical Correlation	همبستگی کانونیک تصحیح شده Corrected Canonical Correlation	همبستگی کانونیک Canonical Correlation	شماره Number
1.31	0.569683	0.660531	0.754774	1
1	0.439072	0.55172	0.662625	2
0.76	0.295485	0.366857	0.543585	3
0.61	0.22561	0.304321	0.474984	4
0.47	0.182822	.	0.427577	5
0.27	0.086619	0.122589	0.294311	6
0.16	0.032803	.	0.181117	7
0.12	0.020044	.	0.141577	8
0.04	0.00291	.	0.053948	9

ns و * به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد.

ns and *: not significant, and Significant at $p < 0.01$, respectively.

جدول ۵- مقادیر ضرایب همبستگی کانونیک در دو متغیر اول بین صفات فیتوشیمیایی و صفات مورفولوژیک در سماق

Table 5. The values of canonical correlation coefficients in the first two variables between phytochemical traits and morphological traits in sumac.

همبستگی صفت با متغیر کانونیک گروه دیگر		ضرایب کانونیک استاندارد شده				گروه‌های متغیری Variable groups	
Correlation of trait with canonical variable in other group		بارهای کانونیک		Standardized canonical coefficients			
2	1	2	1	2	1		
-0.1717	0.0471	-0.259	0.0624	-0.5488	-0.0581	قطر یقه (میلی‌متر) Collar diameter (mm)	Morphological traits
0.0796	-0.5434	0.1201	-0.7199	0.1268	-0.5012	تعداد جست Number of sprouts	
-0.2558	0.1924	-0.386	0.2549	-0.2163	-0.0364	ارتفاع پایه اصلی (سانتی‌متر) Stock height (cm)	
0.0463	0.0535	0.0699	0.0709	0.8952	0.1906	قطر بزرگ تاج (سانتی‌متر) Great crown diameter (cm)	
-0.2739	-0.0696	-0.4134	-0.0922	-0.6197	-0.2335	قطر کوچک تاج (سانتی‌متر) Small crown diameter (cm)	
0.003	0.1148	0.0045	0.1521	-0.3539	-0.8957	طول برگ (سانتی- متر) Leaf length (cm)	
-0.1788	-0.1278	-0.2698	-0.1693	-0.211	-0.408	عرض برگ (سانتی- متر) Leaf width (cm)	
-0.0502	0.432	-0.0758	0.5724	1.5804	0.8517	طول برگچه (میلی- متر) Leaflet length (mm)	
-0.2291	0.4272	-0.3458	0.566	-1.46	0.3475	عرض برگچه (میلی- متر) Leaflet width (mm)	
0.2871	-0.1473	0.4333	-0.1952	0.4878	-0.1553	Gallic acid 6.5	
0.3635	0.0223	0.5486	0.0295	0.3232	0.2091	Gallic acid 8.7	
0.2293	0.0597	0.3461	0.0791	-1.1478	-0.4723	Quercetin	
0.2057	0.5349	0.3104	0.7086	0.7761	0.9925	Mallic acid	
0.2185	0.3055	0.3297	0.4048	-1.0943	0.1003	Mallic acid Hexoside 2.71	
0.3155	0.3925	0.4761	0.52	0.5292	-0.2158	Mallic acid Hexoside 6.11	

ادامه جدول ۵.

Continued table 5.

همبستگی صفت با متغیر کانونیک گروه دیگر		ضرایب کانونیک استاندارد شده				گروه‌های متغیری
Correlation of trait with canonical variable in another group		بارهای کانونیک		Standardized canonical coefficients		Variable groups
2	1	2	1	2	1	
0.0972	0.2556	0.1467	0.3387	0.1713	-0.0848	Coumaric acid
0.0569	-0.1386	0.0859	0.1836	-0.7486	-0.4829	Coumaric acid 8.9
-0.0731	0.2632	0.1103	0.3488	0.0266	0.4471	Caftaric acid
0.0471	0.0174	0.0711	0.023	-0.4893	0.1346	Linoleic acid
0.0852	-0.1264	0.1285	0.1675	-0.0981	-0.3483	Linoleic acid 5
0.1804	-0.3961	0.2723	0.5248	1.0427	-0.1538	Ellagic acid 11.49
0.3624	0.0795	0.5469	0.1054	1.2471	0.1059	Ellagic acid 13.97

بحث

نظر عددی مقادیر کمتر) قرار دارند دارای مقادیر بالایی از Ellagic acid 11.49 هستند. عامل جهت جغرافیایی بر مقدار آب در دسترس گیاه، درجه حرارت خاک و مقدار نور دریافتی توسط گیاه تأثیر می‌گذارد. از سوی دیگر تفاوت در شدت تابش نور در جهت‌های مختلف یک دامنه سبب به وجود آمدن تغییرات اقلیمی محلی در آن دامنه می‌شود (Kazemi et al., 2011). عوامل محیطی از طریق تأثیر بر مقدار کلی متابولیت‌ها، تأثیر بر ترکیبات تشکیل دهنده متابولیت‌ها و همچنین تأثیر بر مقدار تولید وزن خشک بر عملکرد فیتوشیمیایی گیاه اثر می‌گذارند (Cseke et al., 2006). از بین چهار مؤلفه جغرافیایی، مؤلفه‌های عرض و طول جغرافیایی بیشترین تأثیر و ارتفاع از سطح دریای آزاد کمترین تأثیر را در تولید ترکیبات فیتوشیمیایی داشته‌اند. علاوه بر این افزایش طول جغرافیایی و شیب دامنه به‌طور غالب سبب کاهش تولید در اکثر ترکیبات شده است. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که عرض جغرافیایی بیشترین تأثیر را در تولید یا عدم تولید برخی ترکیبات شیمیایی داشته است و به‌عنوان عامل محدودکننده در

گیاهان دارویی حاوی طیف گسترده‌ای از مولکول‌های تخریب‌کننده رادیکال‌های آزاد مانند ترکیبات فنولیک (اسیدهای فنولیک، فلاونوئیدها، کاتچین‌ها، پروآنتوسیانیدین‌ها، کوئینون‌ها، کومارین‌ها، تانن‌ها و غیره)، ترکیبات نیتروژن‌دار (آلکالوئیدها، آمین‌ها، بتالین‌ها و غیره)، کاروتنوئیدها و دیگر متابولیت‌های ثانویه هستند (Cai et al., 2003). محققین Rawat et al. (2014) گزارش کردند ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند فصل، آب و هوا و شرایط زیستگاه و همچنین ترکیب ژنتیکی قرار می‌گیرد. تغییرات زیاد ترکیبات فنلی در این بررسی بین جمعیت‌های مورد بررسی می‌تواند به دلیل شرایط زیستگاه‌های مختلف جمعیت‌ها باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده هر چهار مورد از ویژگی‌های جغرافیایی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر مقدار ترکیبات فیتوشیمیایی داشته‌اند. نتایج نشان داد ظاهراً نمونه‌هایی که در طول جغرافیایی بالاتر (از نظر عددی مقادیر بیشتر) و زمین‌های با شیب زیاد و عرض جغرافیایی کم (از

برگ از اهمیت بسیاری برخوردار بودند. صفاتی مانند شکل و اندازه برگ در میوه‌های چند ساله توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شوند (Migicovsky et al., 2017) اما این صفات به‌طور قابل‌توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی و عوامل متأثر از شرایط خاک (Edaphic) نیز قرار دارند. نتایج این پژوهش نشان داد نمونه‌هایی که طول برگچه زیاد و طول برگ کمی دارند، دارای مقادیر بالایی از Mallic acid هستند. تغییر در ویژگی‌های برگ می‌تواند تأثیر زیادی بر تولید متابولیت‌های گیاه داشته باشد چون تغییر در محتوای کلروفیل برگ با تنش و پیری گیاه همراه است (Tripathi and Gautam, 2007). به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که افزایش اندازه در صفاتی مانند طول برگچه و طول برگ بیشترین تأثیر را در تغییر ترکیبات فیتوشیمیایی داشته‌اند. با توجه به آنچه در نتایج بالا ذکر شد می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که عامل محدودکننده در پژوهش، صفات برگگی مثل طول برگ و برگچه است.

References

- Akbarian, A.; Rahimmalek, M.; Sabzalian, M. R.; Saeidi, G., Assessment of phytochemical, morphological and antioxidant variation of bilehar (*Dorema aucheri*) populations cultivated in different environmental conditions. *Journal of Medicinal Plants* **2017**, *16* (62), 120-135.
- Alijanpour, A.; The effect of physiographic factors on quantitative and qualitative characteristics of *Rhus coriaria* L. in Arasbaran region (Horand County). *Iranian Journal of Forest* **2013**, *5* (4), 431-442. (In Persian)
- Ashokkumar, R.; Ramaswamy, M., Phytochemical screening by FTIR spectroscopic analysis of leaf extracts of selected Indian medicinal plants. *International journal of Current Microbiology and applied Sciences* **2014**, *3* (1), 395-406.
- Cai, Y.; Sun, M.; Corke, H., Antioxidant activity of betalains from plants of the

تولید ترکیبات شیمیایی معرفی می‌شود. Demasi et al. (2018) گزارش کردند که با کاهش عرض جغرافیایی مقدار ترکیبات فرار و چربی‌های ضروری در گیاه *Lavandula angustifolia* Mill افزایش یافته است. (2008) Rieger et al. گزارش کردند محتوای آنتوسیانین با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. در بررسی بررسی اثر متغیرهای مورفولوژیکی و ارتفاع از سطح دریا بر تولید سقز بنه در جنگل‌های استان چهارمحال و بختیاری مشخص شد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا میانگین تولید سقز افزایش یافت (Iranmanesh et al., 2019). در پژوهشی ارتباط برخی از عوامل محیطی با پراکنش پوشش گیاهی در مراتع دنبلید طالقان مورد بررسی قرار شد، نتایج نشان داد که بافت، مقدار ماده آلی و درصد شیب از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر پراکنش گونه‌های گیاهی منطقه مورد بررسی بودند (Zarehesari et al., 2015).

در بین صفات مختلف مورفولوژیک، شاخص‌های

- Amaranthaceae. *Journal of agricultural and food chemistry* **2003**, *51* (8), 2288-2294.
- Cseke, L. J.; Kirakosyan, A.; Kaufman, P. B.; Warber, S.; Duke, J. A.; Briemann, H. L., *Natural products from plants*. CRC press: 2016.
- Demasi, S.; Caser, M.; Lonati, M.; Cioni, P. L.; Pistelli, L.; Najar, B.; Scariot, V., Latitude and altitude influence secondary metabolite production in peripheral alpine populations of the Mediterranean species *Lavandula angustifolia* Mill. *Frontiers in plant science* **2018**, *9*, 983.
- Djabou, N.; Muselli, A.; Allali, H.; Dib, M. E. A.; Tabti, B.; Varesi, L.; Costa, J., Chemical and genetic diversity of two Mediterranean subspecies of *Teucrium polium* L. *Phytochemistry* **2012**, *83*, 51-62.
- Hussain, J.; Khan, A.L.; Rehman, N.; Zainullah, S.T.; Khan, F.; Hussain, S.; Shinwari, Z.; Proximate and nutrient analysis of selected medicinal plant species of Pakistan. *Pakistan Journal of Nutrition* **2009**, *8*: 620-624.

- Iranmanesh, Y.; Jahanbazi, H.; Talebi, M.; Mahinpour, H.; Effect of morphological variables, altitude and tree gender on gum production of *Pistacia atlantica* in Chaharmahal & Bakhtiari Province forests. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 195-207. (In Persian)
- Kazemi, S. E.; Shahmoradi, A. A.; Padyab, M.; Shafiee, A.; Ghasemi Aryan, Y.; Autecology of *Dorema aucheri* in Rangeland Ecosystems of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province. *Iranian Journal of Range and Desert Research* **2011**, *17* (4), 564-574. (In Persian)
- Malvolti, M.; Paciucci, M.; Cannata, F.; Fineschi, S. In *Genetic variation in Italian populations of Juglans regia L*, International Walnut Meeting 311, 1991; pp 86-94.
- Migicovsky, Z.; Li, M.; Chitwood, D. H.; Myles, S., Morphometrics reveals complex and heritable apple leaf shapes. *Frontiers in plant science* **2018**, *8*, 2185.
- Rawat, S.; Bhatt, N. D.; Rawal, R. S.; Nandi, H. K., Effect of developmental stage on total phenolics composition and anti-oxidant activities in *Hedychium spicatum* Buch.-Ham. ex. D. Don. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **2014**, *89* (5), 557-563.
- Rieger, G.; Muller, M.; Guttenberger, H.; Bucar, F., Influence of altitudinal variation on the content of phenolic compounds in wild populations of *Calluna vulgaris*, *Sambucus nigra*, and *Vaccinium myrtillus*. *Journal of agricultural and food chemistry* **2008**, *56* (19), 9080-9086.
- Saghari, M.; Saghari, M.; Roosta, M.; Helalbaky, Y.; Effects of plantation of *Rhus coriaria* and *Amygdalus scoparia* on some chemical properties of soil (Case study: Kakhk, Gonabad). *Forest Research and Development* **2020**, *6* (2), 185-202 (In Persian).
- Sezik, E.; Tabata, M.; Yesilada, E.; Honda, G.; Goto, K.; Ikeshiro, Y., Traditional medicine in Turkey I. Folk medicine in northeast Anatolia. *Journal of Ethnopharmacology* **1991**, *35* (2), 191-196.
- Shokrolahi, S.H.; Moradi, H. R.; Dianati Tilaki, G. H. A.; Survey of some environmental factors affecting on distribution of *Agropyron cristatum* (case study: Polur summer rangelands, Mazandaran province). *Watershed Management Researches (Pajouhesh-Va-Sazandegi)* **2013**, *97*, 111-119. (In Persian)
- Tripathi, A.; Gautam, M., Biochemical parameters of plants as indicators of air pollution. *Journal of Environmental Biology* **2007**, *28* (1), 127.
- Zarehesari, B.; Ghorbani, A.; Azimi Moazem, F.; Hashemi Majd, K.; Asghari, A.; Ecological factors of effective on species dispersing *Artemisia fragrans* Willd in south west slope Sabalan. *Journal of Rangeland* **2015**, *8* (3), 238-250. (In Persian)
- Zoratti, L.; Palmieri, L.; Jaakola, L.; Häggman, H., Genetic diversity and population structure of an important wild berry crop. *AoB Plants* **2015**, *7*, 117.

Relation between geographical and morphological variations with phytochemical characteristics of Iranian Sumac (*Rhus coriaria* L.) populations

R. Mohammadi Alaghuz¹, R. Darvishzadeh^{*2}, A. Alijanpour³ and M. Razi⁴

1- M.Sc., Agricultural Biotechnology, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (rasulagri88.rm@gmail.com)

2- Professor, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (r.darvishzadeh@urmia.ac.ir)

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

3- Ph.D., Fruit Tree Physiology and Breeding, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (razi.mitra2012@gmail.com)

Received: 12.03.2021 Accepted: 24.05.2021

Abstract

The aim of this study was to investigate the relationship between geographical and morphological changes on the production of phytochemical compounds in sumac (*Rhus coriaria* L.) using canonical correlation analysis. Canonical correlation analysis between four environmental variables (height above sea level, slope percentage, latitude, longitude) and 9 morphological traits (collar diameter, number of sprouts, stock height, great crown diameter, small crown diameter, leaf length, leaf width, leaflet length, leaflet width) with phytochemical components was investigated. Samples were collected from five geographical locations in the two provinces of East Azarbayjan and West Azarbayjan. Canonical correlation analysis showed that the samples from higher longitude (numerically higher values) and lands with high slope and low latitude (numerically lower values) had high levels of Ellagic acid 11.49. Results revealed that samples with high leaflet length and low leaf length had high levels of Mallic acid. With increasing leaflet length and great crown diameter, significant decrease in level of Quercetin and Mallic acid hexocide 6.11 was observed.

Keywords: Phytochemical diversity, Environmental variables, Canonical variables, *Rhus coriaria* L.

* Corresponding author

Tel: +984432779558

اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل (بررسی موردی: جنگل‌های ارسباران)

محمد دانا علمداری^۱، مرضیه حجاریان^{۲*}، امید حسین‌زاده^۳ و جواد اسحاقی‌راد^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (alamdari.a95@gmail.com)

۲- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (m.hajjarian@urmia.ac.ir)

۳- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (o.hoseinzadeh@urmia.ac.ir)

۴- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (j.eshagh@urmia.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۰

چکیده

با توجه به افزایش روزافزون تقاضا برای فعالیت‌های گردشگری در مناطق جنگلی، ضروری است که توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل بر اساس برنامه‌ریزی صحیح و متناسب با نیاز گردشگران و ظرفیت‌های طبیعی این مناطق انجام شود. از این رو در این پژوهش مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل شناسایی و اولویت‌بندی شدند. در این پژوهش برای شناسایی مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری متناسب با مناطق جنگلی، از پرسشنامه و برای اولویت‌بندی آن‌ها از روش تاپسیس استفاده شد. پانل متخصصین این پژوهش شامل متخصصان حوزه گردشگری اعم از استادان دانشگاه، متخصصین سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، سازمان حفاظت محیط‌زیست و متخصصین وزارت میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری بود. نتایج نشان داد، مؤلفه‌های ((بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد)) با وزن ۰/۹۴۸، ((توسعه زنجیره ارزش توریسم در مقاصد گردشگری)) با وزن ۰/۹۳۴ و ((ارتقای شبکه حمل و نقل)) با وزن ۰/۸۹۴ در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفتند. مهم‌ترین مؤلفه شناخته شده در این پژوهش ((بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد)) بود که نشان داد هرگونه توسعه اعم از توسعه زنجیره ارزش، زیرساخت‌ها و توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق گردشگری جنگلی بدون در نظر گرفتن ظرفیت برد متناسب نیست و نتیجه نهایی نشان داد که در نظر گرفتن جنبه محیط‌زیستی برای توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: توانمندسازی، جامعه‌محور، ظرفیت برد، مدیریت، مقاصد گردشگری.

مقدمه

محیطی را ایجاد و سهم قابل توجهی را در توسعه ملی ایفا کند (Fani and Mohammad Nejad, 2009). این نوع گردشگری در ایجاد درآمد برای حفاظت از منابع طبیعی و توسعه اقتصادی قابل قبول برای جوامع محلی اهمیت دارد. همچنین می‌تواند به آگاهی و اشتیاق بازدیدکننده و مردم محلی کمک کند. یک برنامه‌ریزی موفق و مدیریت در مناطق حفاظت‌شده، به ارزیابی ویژگی‌های طبیعی، فرهنگی و اقتصادی بستگی دارد و اولویت‌های مدیریت باید از طریق یک فرآیند مشارکتی و عینی باشند (Demir et al., 2016). همچنین لازمه مدیریت گردشگری اولویت‌بندی مؤلفه‌های توسعه متناسب با ویژگی‌های محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی آن منطقه است؛ این اولویت‌بندی به مدیریت گردشگری کمک می‌کند (Job et al., 2017).

در سال‌های اخیر ملاحظات اکولوژیکی و محیط‌زیستی موجب شد تا گردشگری طبیعت به‌عنوان سازگارترین نوع گردشگری بیش از دیگر اشکال گردشگری مورد توجه قرار گیرد. در واقع این نوع گردشگری برای پیشرفت اقتصادی هر کشور، مردم بومی منطقه و حفظ ارزش‌های طبیعی، محیط‌زیستی و فرهنگی مناطق گردشگری مناسب تشخیص داده شده است. از این‌رو توسعه این بخش جزء اهداف اصلی گردشگری در نظر گرفته می‌شود (Niazmand, 2002). توسعه گردشگری طبیعت برای کشورهای درحال-توسعه که با معضلاتی چون نرخ بیکاری بالا، محدودیت منابع ارزی و اقتصاد تک‌محصولی مواجه‌اند، اهمیت فراوانی دارد (Badri and Rahmani, 2011) و به‌دلیل درآمدزایی فراوان، بسیاری از کشورهای جهان را بر آن داشته است که سرمایه‌گذاری بیشتری را به این بخش اختصاص دهند (Tremblay, 2006). بر این مبنای دلیل اصلی توسعه گردشگری طبیعت غلبه بر پایین بودن سطح درآمد و ارائه فرصت‌های جدید شغلی و تحولات

توسعه گردشگری در مناطق مستعدی که برنامه‌ریزی مناسب دارند، موجب افزایش اشتغال و درآمدزایی پایدار می‌شود. در هر ناحیه به فراخور استعدادها و توانمندی‌های طبیعی، فرهنگی و اجتماعی، نوع خاصی از گردشگری توسعه می‌یابد (Faraji, 2015). یکی از شاخه‌های روبه‌رشد صنعت گردشگری، طبیعت‌گردی است. گردشگری طبیعت پدیده‌ای به‌نسبت جدید در صنعت گردشگری است. گردشگری مبتنی بر جنگل به‌عنوان زیر شاخه‌ای از طبیعت‌گردی شناخته شده است. این شکل از گردشگری گذراندن اوقات فراغت انسان را در طبیعت امکان‌پذیر می‌سازد و مبتنی بر مسافرت‌های هدفمند به‌همراه برداشت‌های فرهنگی، معنوی، دیدار از جاذبه‌های طبیعی و بررسی آن‌ها و بهره‌گیری و لذت‌جویی از پدیده‌های متنوع طبیعت است. شناسایی هر چه کامل‌تر مناطق مستعد گردشگری طبیعت و برنامه‌ریزی دقیق همراه با امکان‌سنجی این مناطق از نظر توان جذب گردشگرها می‌تواند به‌عنوان ابزار و راهکار اثربخش، نقش اساسی در توسعه پایدار، ارتقای سطح زندگی جوامع محلی و حفظ تعادل طبیعی ایفا کند (Tavousi et al., 2014). گردشگری مبتنی بر طبیعت، می‌تواند تا مرحله فقرزدایی و حل مشکلات ناشی از رشد جمعیت ادامه یابد و از دامنه تخریب منابع طبیعی و خسارت به تنوع زیستی جنگل‌ها بکاهد (Surendran and Sekhar, 2011).

توسعه گردشگری طبیعت فرصت بزرگی برای اشتغال افراد محلی که در ارتباط با فعالیت‌های مختلف گردشگری هستند، ایجاد می‌کند (Cobbinah, 2015). اهمیت و عظمت گردشگری طبیعت به ایجاد فرصت-های شغلی و درآمد محدود نمی‌شود در صورت برنامه-ریزی و توسعه از پیش اندیشیده شده، قادر است منافع مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و

و جانوری آن، اثر به‌سزایی بر توسعه گردشگری و همچنین تأثیر ویژه‌ای بر سرنوشت جنگل‌ها و نحوه استفاده از آن‌ها دارد. هنوز هم معاش مردمان زیادی به جنگل‌ها وابسته است و در واقع، جنگل هم به‌عنوان منبع اقتصادی و هم منبع گردشگری به‌شمار می‌رود. در ایران نیز جنگل‌های ارسباران، یکی از مناطق مهم و ارزشمند اقتصادی و گردشگری به‌شمار می‌رود. این منطقه از سال ۱۹۷۶ به‌دنبال شکل‌گیری مفهوم "شبکه ذخیره‌گاه‌های زیست‌کره جهان" از سوی سازمان جهانی یونسکو به‌عنوان بیوسفر ثبت شد (Sagheb Talebi, 2003).

با توجه به پتانسیل‌های طبیعی موجود در این جنگل‌ها امکان توسعه گردشگری در این منطقه وجود دارد. اما تاکنون تصمیم‌سازی جامعی برای توسعه گردشگری در منطقه ارسباران تدوین نشده است. در زمینه توسعه گردشگری پژوهش‌های متعددی انجام شده که می‌توان به بررسی (Nouri and Taghizadeh, 2012) اشاره کرد، نتایج این پژوهش نشان داد که مؤلفه‌هایی همچون جاذبه‌های گردشگری، ساختارهای زیربنایی، امکان دسترسی آسان، شاخص‌های امنیتی، وضعیت اقتصادی و زیست‌محیطی در جذب گردشگران مؤثر هستند. (Bozarjomehri and Modudi Arkhodi, 2014) نیز مؤلفه‌های مؤثر در جذب گردشگر و توسعه گردشگری منطقه را در ابعاد سه‌گانه محیطی، فرهنگی- تاریخی و زیرساختی (بهداشتی، اقامتی و رفاهی) بررسی کردند. طبق نتایج به‌دست آمده ۲۷ شاخص مؤثر طبق نظر کارشناسان شناسایی شد. در پژوهش دیگری (Yekani Motlagh et al., 2016) به بررسی تأثیرات توسعه گردشگری در منطقه ارسباران پرداختند، نتایج اولویت‌بندی نشان داد که مزیت‌های اقتصادی مهم‌ترین مولفه در زمینه توسعه گردشگری است. درنهایت نتایج بررسی جامع معیارهای مؤثر بر

اجتماعی در جامعه محلی است و می‌تواند امیدهایی را برای کاهش فقر به‌خصوص در نواحی که به‌نحوی دچار رکود اقتصادی شده‌اند فراهم آورد (Papliyazdi, 2007).

گردشگری طبیعت با تکیه بر ارزش‌های ذاتی و درونی، از طریق حفاظت از عرصه‌های طبیعی، انتفاع جوامع محلی، تقویت خرده‌فرهنگ‌ها، فراهم‌آوری فرصت‌های آموزشی و یادگیری، تقویت اشتغال‌زایی و جلوگیری از مهاجرت، فراهم‌آوری فرصت‌های مشارکت محلی، آموزش‌های محیط‌زیست به این مهم دست می‌یابد (Worboys et al., 2005). این نوع گردشگری ترکیب مناسب توسعه، حفاظت از محیط‌زیست و میراث‌های فرهنگی را امکان‌پذیر می‌سازد (Shayan and Parsaei, 2007). زمانی که یک محل به مکان گردشگری تبدیل می‌شود، سرمایه‌گذاران و کارآفرینان محلی اقدام به ساخت اقامتگاه، رستوران‌ها و دیگر مراکز خدماتی می‌کنند تا بتوانند نیازهای گردشگران را برآورده سازند، در مواردی که تقاضای گردشگری بسیار است، مردم از دیگر بخش‌ها به این منطقه عزیمت می‌کنند تا از امتیاز و فرصت اقتصادی جدید بهره‌مند شوند. وقتی نیاز به خدمات گردشگری افزایش یابد تقاضا برای ایجاد زیرساخت‌ها نیز افزایش پیدا می‌کند (Jahanian and Zandi, 2013). سطح تحصیلات و درآمد گردشگران طبیعت به تمایل برای پرداخت برای بازدید از جنگل‌های ارسباران مؤثر است (Haghjou et al., 2019).

امروزه با توجه به توسعه گردشگری طبیعت، برنامه‌ریزی صحیح و متناسب با ظرفیت‌های منابع طبیعی ضروری است (Wishitemi et al., 2015). یکی از منابعی که امروزه توجه برنامه‌ریزان در امر گردشگری را بیش از پیش به خود جلب کرده است، جنگل‌ها هستند. جاذبه‌های طبیعی جنگل و تنوع زیستی گیاهی

شوند، تعیین و اولویت‌بندی شدند. هدف اصلی این پژوهش، اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی به کمک روش تاپسیس بود. بررسی سوابق پژوهش نشان داد که تا به حال مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل در ایران مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو در این پژوهش مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل شناسایی و اولویت‌بندی شدند.

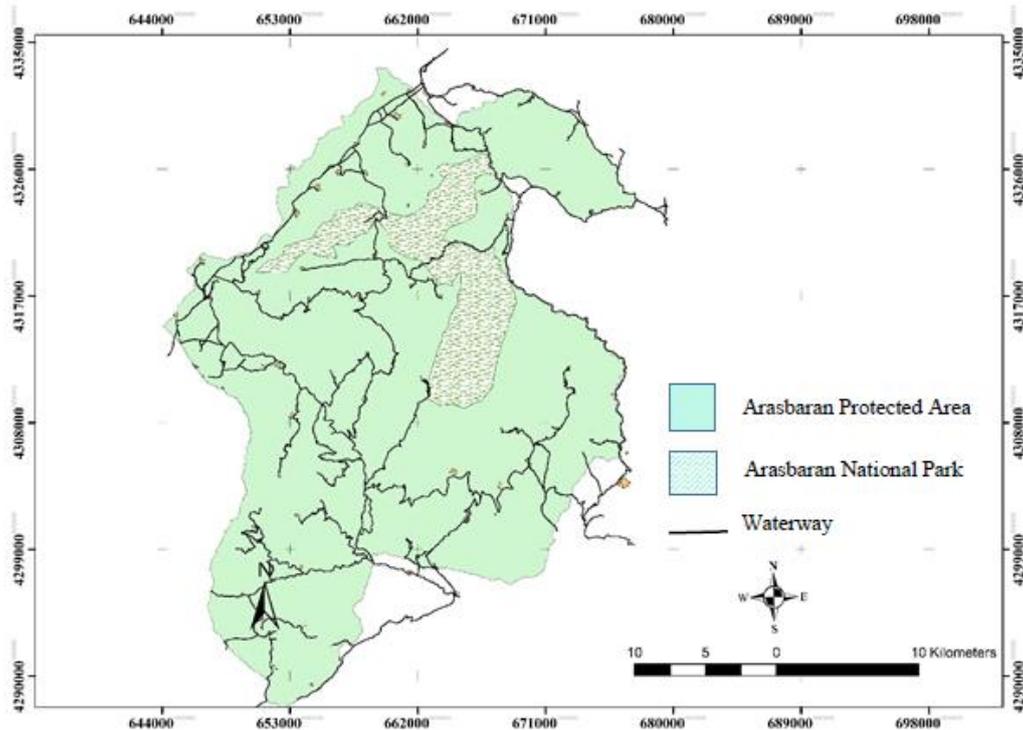
مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

منطقه حفاظت‌شده ارسباران در شهرستان‌های کلپیر و خداآفرین قرار داشته و از سال ۱۳۴۶ به‌عنوان منطقه شکار ممنوع، در سال ۱۳۵۲ به‌عنوان منطقه حفاظت‌شده ارسباران و از سال ۱۳۵۵ به‌عنوان ذخیره‌گاه زیست‌کره تحت مدیریت قرار گرفته است. بیشترین ارتفاع مربوط منطقه به سحرآباداگی که ۲۸۸۷ متر ارتفاع دارد و پست‌ترین ارتفاع در قسمت شمال شرقی و حاشیه رود ارس با ارتفاع ۲۸۰ متر مربوط می‌شود. رژیم بارندگی منطقه مدیترانه‌ای است و میانگین بارندگی آن حدود ۶۵۰ میلی‌متر در سال است و رطوبت عمده منطقه از طریق ترسیب و یا باران نامرئی تأمین می‌شود. متوسط دمای سالانه ۱۱/۶ درجه سانتی‌گراد است. پارک ملی و منطقه حفاظت‌شده ارسباران دارای تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری و زیستگاه‌های جنگلی منحصربه‌فرد بوده و در حدود ۱۰۷۳ گونه گیاهی و ۳۲۰ گونه جانوری شامل ۲۱۵ گونه پرنده، ۲۹ گونه خزنده، ۵ گونه دوزیست، ۴۸ گونه پستاندار و ۱۷ گونه ماهی در آن وجود دارد. گونه‌های مثر اقتصادی همچون زغال‌اخته در این مناطق وجود دارند که در اقتصاد مردم محلی مؤثر هستند (Alijanpour, 2016).

توسعه گردشگری نشان داد که توسعه گردشگری در منطقه ارسباران هزینه‌ها و فرصت‌های زیستی مهمی در پی خواهد داشت که در مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه آن باید مدنظر قرار گیرد. همچنین، (Hajjarian et al. 2016) در پژوهش دیگری به بررسی شاخص‌های راهبردی مؤثر بر توسعه اکوتوریسم پرداختند. در این بررسی، تعداد ۷۱ زیر شاخص تحت معیارهای کنترل قوانین و مدیریت، اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی، منابع طبیعی و زیرساختی شناسایی و بررسی شد. (Yilmaz and Bitici 2006) نیز به بررسی عوامل مؤثر بر توسعه گردشگری پرداختند، نتایج این بررسی نشان داد که زیرساخت‌هایی همچون خدمات حمل و نقل، هتل، آژانس‌های مسافرتی، عناصر اصلی توسعه گردشگری را تشکیل می‌دهند. نتایج تحلیل (Jan and Lee 2019) نشان داد که پایداری اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به‌طور قابل توجهی در مراحل توسعه گردشگری متفاوت است.

توسعه توریسم در مناطق جنگلی می‌تواند اثرات منفی بر اکوسیستم جنگل داشته باشد و ارتباط بین آن‌ها بسیار پیچیده است (Zi Tanga, 2014). اگر توسعه توریسم مبتنی بر جنگل کنترل نشود، می‌تواند بر ساختارهای اجتماعی مردم محلی تأثیر منفی بگذارد (Barkauskiene and Seniesk, 2013)، همچنین می‌تواند خسارت جبران‌ناپذیری بر اکوسیستم جنگل‌ها داشته باشد، از این‌رو اگر توسعه توریسم در مناطق جنگلی بر اساس ظرفیت برد انجام نشود، توسعه توریسم پایدار نخواهد بود. از این‌رو ضروری است برنامه‌ریزی برای توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل با در نظر گرفتن اثرات پیچیده منفی این توسعه بر جنگل - های ارسباران و جوامع محلی باشد. به‌همین دلیل در این پژوهش مهم‌ترین مؤلفه‌هایی که باید در نظر گرفته



شکل ۱- نقشه منطقه حفاظت‌شده ارسباران.

Figure 1. Map of Arasbaran protected area.

روش پژوهش

این بررسی از نظر هدف، تحقیقی کاربردی است. ابزار گردآوری داده‌ها در این پژوهش پرسشنامه بود. سنجش روایی پرسشنامه، از طریق روایی صوری مورد تأیید اساتید موضوعی قرار گرفت و سنجش پایایی آن با به- کارگیری ضریب آلفای کرونباخ انجام شد. در این پژوهش ابتدا با انجام پژوهش‌های اسنادی و کتابخانه‌ای، مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری شناسایی شدند. سپس مؤلفه‌های مذکور در قالب پرسشنامه برای متخصصین موضوع ارسال شد. طبق نظرات جمع- آوری شده از خبرگان موضوع، مهم‌ترین مؤلفه‌ها شناسایی شدند. در مرحله بعد پرسشنامه دیگری برای تعیین اولویت‌های فنی، اقتصادی و زمانی مؤلفه‌های شناسایی شده تنظیم و توسط متخصصان پاسخ داده شد. اطلاعات مورد نیاز در پرسشنامه مذکور با استفاده از طیف پنج ارزشی لیکرت جمع‌آوری شد. برای پاسخ از

متخصصین خواسته شد تا اهمیت هر یک از مؤلفه‌های شناسایی شده را از نظر اولویت‌های فنی، اقتصادی و زمانی تعیین کنند. برای تعیین اولویت عوامل مذکور از روش تاپسیس استفاده شد. اولویت‌بندی در پنج گام به شرح زیر انجام شد.

گام اول: ماتریس تصمیم (D) به صورت زیر نرمال (بی- مقیاس) شد:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^j x_{ij}^2}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

r_{ij} ، درایه ماتریس تصمیم نرمال، x_{ij} ، درایه

ماتریس تصمیم اولیه

گام دوم: راه‌حل ایده‌آل مثبت (A_1^+) و راه‌حل ایده‌آل منفی (A_1^-) به صورت زیر تعریف شد.

$$A_1^+ = \{(MAX_i V_{ij} | j \in J_1), (MIN_i V_{ij} | j \in J_2) | i=1,2,3,\dots,m\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$A_1^- = \{(MIN_i V_{ij} | j \in J_1), (MAX_i V_{ij} | j \in J_2) | i=1,2,3,\dots,m\} \quad \text{رابطه (۳)}$$

گام چهارم: نزدیکی نسبی A_i به راه حل ایده آل به صورت زیر محاسبه شد:

$$C_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-} \quad (i=1, 2, 3 \dots m) \quad (6) \text{ رابطه}$$

C_i شاخص شباهت، d_i^- فاصله تا ایده آل منفی،

d_i^+ فاصله تا ایده آل مثبت

در این پژوهش از نرم افزار TOPSIS Solver 2014 برای رتبه بندی عوامل مورد بررسی استفاده شد.

پانل متخصصین

جنگلداری اعم از استادان دانشگاه، فارغ التحصیلان رشته گردشگری و جنگل، کارشناسان شاغل در سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری و اداره منابع طبیعی بود. اعضای پانل ۴۸ نفر بود که اندازه تحصیلات آن‌ها حداقل کارشناسی ارشد (بدون محدودیت سابقه کار)، حداقل کارشناسی (با حداقل ۵ سال سابقه کار تخصصی) یا حداقل دیپلم (با حداقل ۱۵ سال سابقه کار تخصصی) بود.

گام سوم: اندازه فاصله بر اساس نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده آل منفی و گزینه مثبت و همین اندازه را به ازاء راه حل ایده آل مثبت و گزینه منفی به صورت زیر به دست آمد:

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad i=1, 2, 3 \dots m \quad (4) \text{ رابطه}$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad i=1, 2, 3 \dots m \quad (5) \text{ رابطه}$$

v_{ij} ، هر یک از گزینه های تصمیم، v_j^- ، گزینه

ایده آل مثبت، v_j^+ ، گزینه ایده آل منفی

در این پژوهش از روش نمونه گیری تعددی استفاده شد. نمونه گیری تعددی یکی از روش های نمونه گیری غیراحتمالی است که در آن انتخاب افراد به عنوان مصداق طبقه یا مقوله ای از موارد که مورد نظر پژوهشگران است، انجام می شود. این نمونه ها به صورت تصادفی انتخاب نمی شوند (Naebi, 2010). همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، پانل متخصصین این پژوهش شامل متخصصان حوزه گردشگری و

جدول ۱- مشخصات متخصصین تشکیل دهنده پانل تصمیم گیری

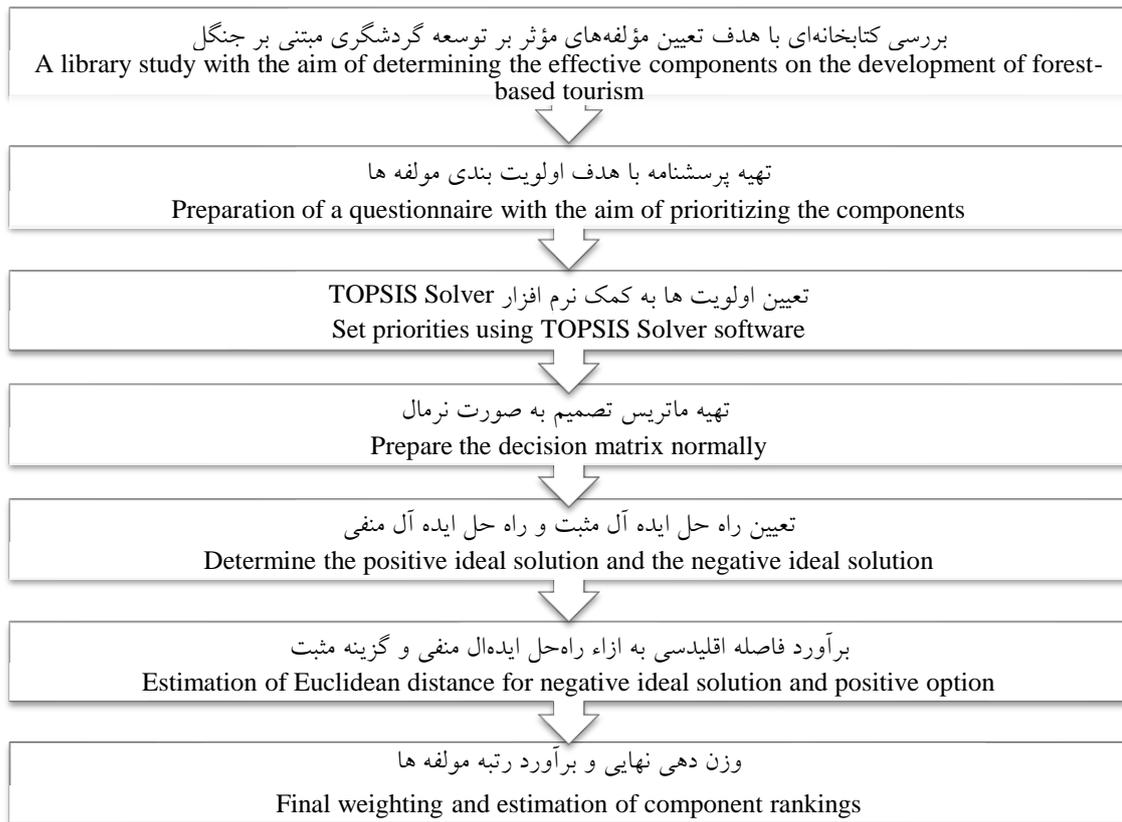
Table 1. Details of the experts who make up the decision panel

تعداد	گروه بندی پانل تصمیم گیری
Number	Decision panel
12	استادان دانشگاه University professors
15	وزارت میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری Ministry of Cultural Heritage, Tourism and Handicraft Organization
8	سازمان جنگل ها، مراتع و آبخیزداری کشور Forests, Range and Watershed management Organization
13	سازمان حفاظت محیط زیست Department of Environment

نظر پانل متخصص ها، مؤلفه ها تأیید و تکمیل شدند. در مرحله بعد به کمک پرسشنامه دوم و نرم افزار Topsis Solver مؤلفه ها اولویت بندی شدند. در نهایت رتبه بندی مؤلفه ها انجام شد.

مراحل شناسایی و اولویت بندی مؤلفه ها

همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است در این پژوهش ابتدا به کمک روش بررسی کتابخانه ای مؤلفه های مؤثر بر توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل شناسایی شدند. سپس به کمک پرسشنامه اول و طبق



شکل ۲- مراحل شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌ها

Figure 2. Steps to identify and prioritize components

نتایج
در این پژوهش برای تعیین اولویت گزینه‌های توسعه گردشگری در مناطق جنگلی ایران ۱۵ مؤلفه با استفاده از پرسشنامه و به کمک روش تحلیل تاپسیس سنجش شد. طبق نتایج به دست آمده از پرسشنامه اول، مؤلفه - های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی تأیید شده در جدول ۲ ارائه شده است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مرحله دوم و وارد کردن داده‌ها در نرم افزار، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه تشکیل شد که در جدول ۳ ارائه شده است.

نتایج
در این پژوهش برای تعیین اولویت گزینه‌های توسعه گردشگری در مناطق جنگلی ایران ۱۵ مؤلفه با استفاده از پرسشنامه و به کمک روش تحلیل تاپسیس سنجش شد. طبق نتایج به دست آمده از پرسشنامه اول، مؤلفه - های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی تأیید شده در جدول ۲ ارائه شده است. پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مرحله دوم و وارد کردن داده‌ها در نرم افزار، ماتریس تصمیم‌گیری اولیه تشکیل شد که در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۲- مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی

Table 2. Effective components on tourism development in forest areas

مؤلفه	کد	مؤلفه	کد
Component	Code	Component	Code
توسعه امکانات زیربنایی اقامتی و تفریحی Development of residential and recreational infrastructure	C3	ارتقای شبکه حمل‌ونقل Improving the transportation network	C1
توسعه زنجیره ارزش توریسم در مقاصد گردشگری Development of tourism value chain in tourism destinations	C4	بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد Review of concentrated tourism areas based on carrying capacity	C2

ادامه جدول ۲.

Continued table 2.

مؤلفه Component	کد Code	مؤلفه Component	کد Code
توسعه توریسم جامعه‌محور و افزایش مشارکت مردم محلی Community-based tourism Development and increase local participation	C11	توسعه گردشگری رویداد محور محلی Local event-driven tourism development	C5
توسعه برنامه‌های ترویجی و توانمندسازی مردم محلی Development of extension programs and empowering local people	C12	توسعه مشارکت بخش خصوصی و سمن‌ها Development of private sector and NGOs participation	C6
توسعه بازاریابی گردشگری و معرفی مقاصد گردشگری Development of tourism marketing and introduction of tourism destinations	C13	توسعه پایداری اقتصادی مردم محلی Development of economic sustainability of local people	C7
ارتقای امنیت و رعایت حقوق گردشگری Promote security and respect for tourism rights	C14	توسعه پایداری اجتماعی مردم محلی Development of social sustainability of local people	C8
ارتقای سیستم‌های سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و مدیریت گردشگری Improving tourism policy-making, planning and management systems	C15	توسعه برنامه‌های حفاظت و احیای جنگل Development of forest protection and reforestation programs	C9
		آموزش سرمایه‌های انسانی متخصص Specialized human capital training	C10

جدول ۳- ماتریس اولیه شاخص‌های توسعه گردشگری در مناطق جنگلی

Table 3. Primary matrix of tourism development indicators in forest areas

اولویت فنی Technical priority	اولویت اقتصادی Economic priority	اولویت زمانی Time priority	گزینه‌ها Alternatives	اولویت فنی Technical priority	اولویت اقتصادی Economic priority	اولویت زمانی Time priority	گزینه‌ها Alternatives
2.55	2.95	2.55	C9	4.72	4.24	4.42	C1
3.14	3.26	3.24	C10	4.94	4.55	4.43	C2
3.12	3.97	3.53	C11	4.18	3.54	3.91	C3
3.66	3.98	4.02	C12	4.71	4.42	4.75	C4
3.37	3.68	3.18	C13	2.58	2.37	2.16	C5
2.13	1.87	2.06	C14	3.29	3.18	3.13	C6
4.24	3.55	3.14	C15	2.91	3.05	2.94	C7
				2.33	2.52	2.19	C8

یکدیگر از روش‌های بی‌مقیاس‌سازی استفاده شد. در این بررسی برای بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری

با توجه به تفاوت مقیاس شاخص‌ها در ماتریس- های تصمیم‌گیری، برای امکان مقایسه شاخص‌ها با

از روش بی‌مقیاس‌سازی برداری استفاده شد (رابطه ۱). نتایج تعیین معیار فاصله‌ای برای گزینه ایده‌آل Si^+ و گزینه حداقل Si^- : با استفاده از رابطه‌های ۴ و ۵ در جدول ۴ ارائه شده است. در مراحل بعدی، حالت‌های ایده‌آل مثبت و منفی تعیین شد که برای این کار از رابطه‌های ۲ و ۳ استفاده شد. نتایج در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۴- ماتریس نرمال شده داده‌های خام شاخص‌های توسعه گردشگری در مناطق جنگلی
Table 4. Normalized matrix indicators of tourism development in forest areas

اولویت زمانی Time priority	اولویت اقتصادی Economic priority	اولویت فنی Technical priority	گزینه‌ها Alternatives	اولویت زمانی Time priority	اولویت اقتصادی Economic priority	اولویت فنی Technical priority	گزینه‌ها Alternatives
0.193	0.215	0.177	C9	0.344	0.313	0.341	C1
0.257	0.245	0.236	C10	0.343	0.344	0.362	C2
0.274	0.294	0.236	C11	0.308	0.265	0.304	C3
0.315	0.294	0.271	C12	0.363	0.337	0.343	C4
0.244	0.273	0.242	C13	0.165	0.175	0.193	C5
0.153	0.148	0.276	C14	0.246	0.234	0.233	C6
0.233	0.276	0.305	C15	0.226	0.234	0.212	C7
				0.162	0.194	0.237	C8

جدول ۵- حالت‌های ایده‌آل مثبت و منفی برای هر شاخص
Table 5. Positive ideal solutions and negative ideal solutions

A ⁻	A ⁺	شاخص‌ها/Criteria
0.184	0.365	اولویت فنی Technical priority
0.136	0.338	اولویت اقتصادی Economic priority
0.153	0.358	اولویت زمانی Time priority

جدول ۶- فاصله گزینه‌ها از حالت‌های ایده‌آل مثبت و منفی
Table 6- Distance between the alternatives and positive ideal solutions and negative ideal solutions

S_i^-	S_i^+	گزینه‌ها Alternatives	S_i^-	S_i^+	گزینه‌ها Alternatives
0.089	0.284	C9	0.304	0.036	C1
0.148	0.202	C10	0.329	0.018	C2
0.196	0.172	C11	0.225	0.115	C3
0.233	0.121	C12	0.325	0.023	C4
0.168	0.185	C13	0.039	0.312	C5
0.002	0.339	C14	0.137	0.207	C6
0.195	0.156	C15	0.116	0.234	C7
			0.055	0.305	C8

نتایج اولویت‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی در ایران طبق نظر متخصصین و با کمک روش تاپسیس در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج رتبه‌بندی مؤلفه‌های مؤثر بر توسعه گردشگری در مناطق جنگلی

Table 7. The results of ranking of effective factors on tourism development in forest areas

رتبه Rank	SL _i	گزینه‌ها Alternatives	کد Code
1	0.948	بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد Review of concentrated tourism areas based on carrying capacity	C2
2	0.934	توسعه زنجیره ارزش توریسم در مقاصد گردشگری Development of tourism value chain in tourism destinations	C4
3	0.894	ارتقای شبکه حمل‌ونقل Improving the transportation network	C1
4	0.662	توسعه امکانات زیربنایی اقامتی و تفریحی Development of residential and recreational infrastructure	C3
5	0.658	توسعه برنامه‌های ترویجی و توانمندسازی مردم محلی Development of extension programs and empowering local people	C12
6	0.556	ارتقای سیستم‌های سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و مدیریت گردشگری Improving tourism policy-making, planning and management systems	C15
7	0.533	توسعه توریسم جامعه‌محور و افزایش مشارکت مردم محلی Community-based tourism Development and increase local participation	C11
8	0.476	توسعه بازاریابی گردشگری و معرفی مقاصد گردشگری Development of tourism marketing and introduction of tourism destinations	C13
9	0.423	آموزش سرمایه‌های انسانی متخصص Specialized human capital training	C10
10	0.399	توسعه مشارکت بخش خصوصی و سمن‌ها Development of private sector and NGOs participation	C6
11	0.332	توسعه پایداری اقتصادی مردم محلی Development of economic sustainability of local people	C7
12	0.238	توسعه برنامه‌های حفاظت و احیای جنگل Development of forest protection and reforestation programs	C9
13	0.153	توسعه پایداری اجتماعی مردم محلی Development of social sustainability of local people	C8
14	0.112	توسعه گردشگری رویداد محور محلی Local event-driven tourism development	C5
15	0.005	ارتقای امنیت و رعایت حقوق گردشگری Promote security and respect for tourism rights	C14

نتایج نشان داد که، مؤلفه‌های ((بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد)) با وزن ۰/۸۹۴ در اولویت‌های اول تا سوم قرار گرفتند. ((توسعه امکانات زیربنایی اقامتی و تفریحی))، ((توسعه برنامه‌های ترویجی و توانمندسازی مردم

گردشگری)) با وزن ۰/۹۳۴ و ((ارتقای شبکه حمل و

محلی)) و ((ارتقای سیستم‌های سیاست‌گذاری، برنامه-ریزی و مدیریت گردشگری)) به ترتیب با وزن‌های ۰/۶۶۲، ۰/۶۵۸ و ۰/۵۵۶ در اولویت چهارم تا ششم قرار گرفتند.

بحث

طبیعت‌گردی، نمادی از یک سیستم پیچیده است که مستلزم فرآیند مستمر برنامه‌ریزی است. ارزیابی، اجرا، نظارت و اصلاح؛ برای نیل به اهداف پیش‌بینی‌شده است تا فرصت‌های اقتصادی را افزایش دهد، از میراث طبیعی و فرهنگی محافظت کند و کیفیت زندگی تمام ذینفعان را بهبود بخشد. در منطقه مورد بررسی سه منطقه قلعه بابک، دره مکیدی و آینالو که در مجاورت جاده کلیر - عاشقلو، مسیر عباس‌آباد - آینالو و ایقان قرار گرفته‌اند، دارای پتانسیل گردشگری متمرکز هستند (Mohseni and Roostaei, 2012). با توجه به پتانسیل‌های موجود در این مناطق از نظر وجود طبیعت بکر و چشم‌اندازهای منحصر به فرد، سالانه طبیعت‌گردان زیادی به این منطقه سفر می‌کنند، که در صورت عدم مدیریت مناسب می‌تواند سبب ایجاد اثرات نامطلوب محیط‌زیستی در منطقه شود. یکی از راهکارهای کاهش اثرات نامطلوب گردشگری بر محیط‌های طبیعی، برآورد ظرفیت برد این مناطق است (Glyptis, 1991).

مهم‌ترین مؤلفه تشخیص داده‌شده در این پژوهش نیز ((بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد)) بود. (Fallahatabar 2016) نیز نشان داد که توسعه مناطق متمرکز گردشگری بدون در نظر گرفتن ظرفیت برد یکی از نقاط ضعف توسعه اکوتوریسم در جزیره قشم است. همچنین ایشان نشان داده‌اند که زنجیره ارزش گردشگری در جزیره قشم نسبت به مناطق گردشگری در کشورهای منطقه بسیار ناقص است و یکی دیگر از مؤلفه‌های توسعه پایدار

اکوتوریسم در منطقه را توسعه زنجیره ارزش معرفی کردند که با نتایج این پژوهش تطابق دارد. نتایج پژوهش (Zarabi and Safarabadi 2012) نشان دادند که از مهم‌ترین راهبردهای توسعه اکوتوریسم پایدار، ایجاد زیرساخت و توسعه شبکه حمل‌ونقل است. که نتایج ایشان اهمیت مؤلفه‌های ((ارتقای شبکه حمل‌ونقل)) و ((توسعه امکانات زیربنایی اقامتی و تفریحی)) را نشان می‌دهد. همانطور که نتایج نشان داد، بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد مهم‌ترین مؤلفه توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل بود.

(Mohammadi And Hashemi 2015) ثابت

کردند که بهبود کیفیت شبکه حمل‌ونقل می‌تواند توسعه توریسم در مناطق جنگلی را به همراه داشته باشد، که طبق نتایج این پژوهش، سومین مؤلفه با اهمیت توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل ارتقای شبکه حمل‌ونقل با وزن ۰/۸۹۳ بود. عدم مشارکت بخش خصوصی و مردم محلی از مهم‌ترین نقاط ضعف توسعه پایدار اکوتوریسم است که نتایج این پژوهش نیز نشان داد، هفتمین و دهمین مؤلفه مهم توسعه توریسم مبتنی بر جنگل به-ترتیب ((توسعه توریسم جامعه‌محور و افزایش مشارکت مردم محلی)) و ((توسعه مشارکت بخش خصوصی و سمن‌ها)) هستند. (Zarabi and Safarabadi توسعه اکوتوریسم پایدار در شهر کرمانشاه را ارزیابی کردند و نشان دادند اشتغال‌زایی و ایجاد درآمد برای مردم محلی مهم‌ترین فرصتی است که با توسعه اکوتوریسم به وجود می‌آید. نتایج این پژوهش نیز نشان داد ((توسعه پایداری اقتصادی مردم محلی)) یکی از مؤلفه‌های توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل است. همچنین ((ارتقای سیستم‌های سیاست‌گذاری، برنامه‌ریزی و مدیریت گردشگری)) یکی از مؤلفه‌های تأیید شده توسط پانل متخصصین بود که طبق نتایج (Zarabi and Safarabadi 2012) نیز ((استفاده از

منطقه نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین توان‌های زیرساختی با حجم گردشگر وجود دارد و بهره‌برداری از توان‌های طبیعی، تاریخی-فرهنگی روستاهای هدف بدون ارتقای توان زیرساختی آن‌ها امکان‌پذیر نیست. (Adiyia et al. (2015) نیز نشان دادند که توسعه صنعت گردشگری ارتباط تنگاتنگی با توسعه زیرساخت‌ها دارد. همچنین نتایج (Soleymani and Eslami (2011) نیز با نتایج این پژوهش هم‌خوانی داشت. طبق نتایج این پژوهشگران، مراکز اقامتی یکی از مهم‌ترین اجزا و عناصر نظام گردشگری طبیعت است. مهم‌ترین مؤلفه شناخته شده در این پژوهش ((بازنگری مناطق متمرکز گردشگری بر اساس ظرفیت برد)) بود که نشان داد هرگونه توسعه اعم از توسعه زیرساخت‌ها و توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق گردشگری جنگلی بدون در نظر گرفتن ظرفیت برد متناسب نیست و متخصصین در این پژوهش تأکید کردند که در نظر گرفتن جنبه محیط‌زیستی برای توسعه گردشگری مبتنی بر جنگل از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. انواع توسعه، آثار مثبت و منفی بر محیط‌زیست، فرهنگ و اقتصاد جامعه میزبان بر جای می‌گذارد. یکی از راهکارهای اساسی برای کمینه‌کردن آثار منفی و تقویت آثار مثبت حاصل از آن، برنامه‌ریزی استفاده از سرزمین با در نظر گرفتن استعداد طبیعی منطقه برای کاربری موردنظر است. توسعه گردشگری طبیعت همگام با توان محیط‌زیستی سرزمین به‌عنوان یک ابزار و راهکار اثربخش نقشی اساسی در ارتقای سطح زندگی جوامع انسانی و حفظ تعادل طبیعی ایفا می‌کند. امروزه گردشگری مبتنی بر جنگل شاهد رقابت میان مقصدهای گردشگری است. بنابراین مقصدهایی در این رقابت موفق خواهند بود که بتوانند امکانات و خدمات موردنیاز گردشگران را بهتر ارائه دهند و با برنامه‌ریزی بر اساس ظرفیت برد منطقه، آسیب‌های محیط‌زیستی جنگل را در راه توسعه به

برنامه‌های اصولی و از پیش تعیین شده)) یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های توسعه اکوتوریسم تشخیص داده شده است. ((توسعه بازاریابی گردشگری و معرفی مقاصد گردشگری)) نیز یکی دیگر از مؤلفه‌های توسعه بود که توسط ایشان به‌عنوان نقطه ضعف توسعه اکوتوریسم پایدار در شهر کرمانشاه معرفی شده است. (2015) Mohammadi And Hashemi نشان دادند که برای توسعه اکوتوریسم در تنکابن توسعه زیرساخت‌های اقامتی و تفریحی ضروری است و مشارکت مردم محلی و بخش خصوصی برای توسعه را به‌عنوان مؤلفه مؤثر بر توسعه اکوتوریسم در منطقه مورد بررسی معرفی کردند. همانطور که نتایج این پژوهش نیز نشان داد ((توسعه امکانات زیربنایی اقامتی و تفریحی))، ((توسعه توریسم جامعه‌محور و افزایش مشارکت مردم محلی)) و ((توسعه مشارکت بخش خصوصی و سمن‌ها)) از مؤلفه‌های توسعه مورد تأیید متخصصان در این پژوهش بود. همچنین نشان دادند یکی از مؤلفه‌های اصلی توسعه، بهبود شبکه حمل‌ونقل است و توسعه زنجیره-های ارزش توریسم در منطقه مورد بررسی را به‌عنوان یک راهبرد مهم ارزیابی کردند.

نتایج پژوهش (Riahi and Ghasemi (2015) توسعه اکوتوریسم جامعه‌محور و افزایش مشارکت مردم محلی برای مدیریت اکوتوریسم در شهرستان بهشهر را ضروری معرفی کردند و تأکید کردند که زنجیره‌های ارزش اکوتوریسم در منطقه توسط بخش خصوصی توسعه یابد و ارتقای سیستم‌های مدیریت و برنامه‌ریزی را به‌عنوان مؤلفه‌های مهم برای توسعه اکوتوریسم در منطقه معرفی کردند. طبق نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش، مؤلفه زیرساخت‌های حمل‌ونقل از نظر متخصصین دارای اهمیت بوده است، بررسی (2014) Bozorgmehri and Modudi نیز در ارزیابی تطبیقی توان‌های مختلف گردشگری در روستاهای گردشگری

و همکاری‌های وزارت میراث فرهنگی، صنایع دستی و حداقل برسانند.

گردشگری، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و سازمان حفاظت محیط‌زیست دارند.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله، کمال تشکر و قدردانی را از حمایت‌ها

References

- Adiyia, B.; Stoffelen, A.; Jennes, B.; Vanneste, D.; Manyisa Ahebwa, W., Analysing governance in tourism value chains to reshape the tourist bubble in developing countries: the case of cultural tourism in Uganda. *Journal of Tourism* **2015**, *10*, 37-41.
- Alijanpour, A., Quantitative analysis of fruit production of cornus mas L. in Arasbaran forests. *Journal of Forest Research and Development* **2016**, *2* (1), 49-61.
- Badri, S. A.; Rahmani, K., Strategies for ecotourism development in Marivan County. *Rural Research* **2011**, *2* (2), 31-54. (In Persian)
- Barkauskiene, K.; Sniesk, V., Ecotourism as an integral part of sustainable tourism development. *Economics and Management* **2013**, *18* (3), 499-456.
- Bozorgmehri, Kh.; Modudi Akhondi, M., Comparative evaluation of various tourism abilities in the villages of Golestan province. *Journal of Planning studies of human settlements* **2015**, *31* (10), 1-13. (In Persian)
- Cobbinah, P. B.; Black, R.; Thwaites, R., Biodiversity conservation and livelihoods in rural Ghana: Impacts and coping strategies. *Environmental Development* **2015**, *15*, 79-93.
- Demir, S.; Esbah, H.; AKGÜN, A. A., Quantitative SWOT analysis for prioritizing ecotourism-planning decisions in protected areas: Igneada case. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* **2016**, *23* (5), 456-468.
- Fallahtabar, N., The position of ecotourism in the sustainable development of Qeshm city (using SWOT model). *Quarterly of Geographi (Regional planning)* **2016**, *7* (1), 29-42. (In Persian)
- Fani, Z.; Mohammad Nejad, A., Urban management role in tourism development (Case study: Ramsar). *Journal of Tourism Studies* **2009**, *4* (12), 101-122. (In Persian)
- Faraji, N. The role of the social development of rural tourism in the economy of local communities (the city Marsal). International conference on behavioral science and social studies, **2015**; 15 p. (In Persian)
- Glyptis, S., *Countryside recreation*. Longman Group UK Ltd.: 1991.
- Haghjou, M.; Hayati, B.; Pishbahar, E.; Molaei, M., An application of choice experiment approach on total economic valuation of Arasbaran forests. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (3), 449-467.
- Hajjarian, M.; Khaledi koure, F.; Hosseinzadeh, O.; Alijanpour, A., Strategic criteria affecting the development of community-based ecotourism in Arasbaran forests. *Journal of Forest Research and Development* **2016**, *2* (2), 112-129. (In Persian)
- Jahanian, M.; Zandi, A. Ecotourism, Tehran 2013; 156 p. (In Persian)
- Job, H.; Becken, S.; Lane, B., Protected Areas in a neoliberal world and the role of tourism in supporting conservation and sustainable development: an assessment of strategic planning, zoning, impact monitoring, and tourism management at natural World Heritage Sites. *Journal of Sustainable Tourism* **2017**, *25* (12), 1697-1718.
- Lee, T. H.; Jan, F.-H., Can community-based tourism contribute to sustainable development? Evidence from residents' perceptions of the sustainability. *Tourism Management* **2019**, *70*, 368-380.
- Mohammadi, Sh.; Hashemi, S. Y., Survey of management strategy of sustainable ecotourism development in Tonekabon. *Sustainable architecture and urban planning* **2015**, *3* (2), 11-22. (In Persian)
- Mohseni, N.; Roostaei, S., Arasbaran ecotourism potential assessment whit emphasis on the scientific and additional values. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* **2012**, *3* (6), 1143-1147.
- Naebi, H. S.; Hamzei, J.; Sepehri, A.; Hajiluie, Y., Effect of nitrogen biofertilizer on PGPR bacterial population, soil fertility stability and maize yield. Fifth national conference on new ideas in agriculture, Isfahan, **2010**, 456-460. (In Persian)

- Niazmand, M., Global ecotourism picture in 2002, *Transportation Industry Monthly. Tehran University* **2002**, 216 (2), 15-2. (In Persian)
- Nouri, Gh.; Tagizadeh, Z., Prioritizing the typical tourism areas for investment and regional development in the northwest of Kermanshah Province. *Journal of Tourism Management Studies* **2012**, 73-100. (In Persian)
- Papliyzadi, M. H. Tourism (Nature and Concepts). Samt Publication, Tehran, Iran 2007; 284 p. (In Persian)
- Riahi, V.; Ghasemi, A., The role of ecotourism in the sustainable development of tourism in Behshahr. **2015**, 31, 29-44. (In Persian)
- Sagheb-Talebi, K.; Sajedi, T.; Yazdian, F. Forests of Iran. Publication of Research Institute of Forests and Rangelands. Tehran 2003; 28 p. (In Persian)
- Shayan, S.; Parsaei, I., Feasibility study of ecotourism developmental areas in Kohgiluyeh and Boyerahmad Province. *Quarterly Journal of Humanities, Special Issue of Geography* **2007**, 11 (53), 153-181. (In Persian)
- Soleymani moghadam, M.; Eslami, Gh., Role of residential infrastructure in tourism activities of Rasht. *Journal of Studies on the Planning of Islamic Settlements* **2011**, 6 (17), 105-115. (In Persian)
- Surendran, A.; Sekar, C., A comparative analysis on the socio-economic welfare of dependents of the Anamalai Tiger Reserve (ATR) in India. *Margin: The Journal of Applied Economic Research* **2011**, 5 (3), 361-379.
- Tavousi, T.; Khosravi, M.; Rahimi, D., Site selection of proper ecotourism zones. Case study of Uramanat region. *Journal of Geographical Planning of Space* **2014**, 13 (4), 19-41. (In Persian)
- Tremblay, P. Desert tourism scoping study. Desert knowledge CRC, **2006**; 54 p.
- Wishitemi, B. E.; Momanyi, S. O.; Ombati, B. G.; Okello, M. M., The link between poverty, environment and ecotourism development in areas adjacent to Maasai Mara and Amboseli protected areas, Kenya. *Tourism Management Perspectives* **2015**, 16, 306-317.
- Worboys, G.; Lockwood, M.; De Lacy, T. Protected area management: principles and practice. Oxford University Press, Melbourne, VIC, **2005**; 641 p.
- Yekani Motlagh, E., Hajjarian, M.; Hosseinzadeh, O.; Alijanpour, A.; The effects of ecotourism development in Arasbaran region using the BOCR method. *Journal of Association of Foresters of Iran* **2016**, 2, 153-166. (In Persian)
- Yilmaz, B.; Bitici, U., Performance measurement in the value chain: manufacturing tourism, International. *Journal of Productivity and Performance Management* **2006**, 55, 371-389.
- Zarabi, A.; Safarabadi, A., Evaluation of sustainable ecotourism development in Kermanshah. *Journal of Geography and Planning* **2012**, 46 (17), 147-170. (In Persian)
- Zi Tanga, B., An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment. *Tourism Management* **2014**, 46, 11-19.

Prioritization of effective components on the development of forest-based tourism (case study: Arasbaran forests)

M. D. Alamdari¹, M. Hajjarian^{*2}, O. Hossein Zadeh³, J. Eshaghi Rad⁴

1- MSc Student in forest management, Faculty of natural resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (alamdari.a95@gmail.com)

2- Assistant Professor, Department of forestry, Faculty of natural resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (m.hajjarian@urmia.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of forestry, Faculty of natural resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (o.hoseinzadeh@urmia.ac.ir)

4- Associate Professor, Department of forestry, Faculty of natural resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (j.eshagh@urmia.ac.ir)

Received: 03.12.2020 Accepted: 28.02.2021

Abstract

Due to the increasing demand for tourism activities in forest areas, it is necessary to develop forest-based tourism based on proper planning and in accordance with the needs of tourists and the natural capacities of these areas. Therefore, in this study, the effective components of the development of forest-based tourism were identified and prioritized. In this research, to identify the effective factors on the development of tourism in proportion to the forest areas, the documentary method and the questionnaire were used to prioritize them using the TOPSIS method. The panel of experts in the study included university professors, tourism graduates, experts in the Cultural Heritage, Arts and Tourism Organization and Natural Resources administration. According to the results, the components of ((review of concentrated tourism areas based on carrying capacity)) with a weight of 0.947, ((Development of the tourism value chain in tourism destinations)) with a weight of 0.933 and ((improving the transportation network)) with a weight of 0.893 are the first to third priorities. The most important component known in the present study was ((review of concentrated tourism areas based on carrying capacity)) which showed that any development including value chain development, infrastructure and economic and social development of forest tourism areas without considering the carrying capacity is not appropriate. The final result showed that considering the environmental aspect for the development of forest-based tourism has critical importance.

Keywords: Empowerment, Community-based, Carrying capacity, Management, Tourism destinations.

* Corresponding author

Tel: +984432752740

بررسی تأثیر قارچ‌های مایکوریزی بر نهال‌های سنجد (*Elaeagnus angustifolia* L.) تحت تنش آبی

بهمن زمانی کبرآبادی*^۱، سیدمحمد حجتی^۲، فرهاد رجالی^۳، مسعود اسماعیلی شریف^۴ و راضیه صبوحی^۵

۱- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. (Zamanikebrabadi67@gmail.com)

۲- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. (S-m-hodjati@yahoo.com)

۳- دانشیار، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. (frejali@yahoo.com)

۴- استادیار پژوهش، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اصفهان، ایران.

(Masoudesmaeilisharif@gmail.com)

۵- دکتری علوم مرتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.

(raziéh_saboohi@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۷/۱۴

چکیده

این پژوهش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل: ۱- تلقیح با قارچ‌های آریسکولار مایکوریزا در سه سطح *Rhizophagus irregularis*، *Funneliformis mosseae* و شاهد (بدون تلقیح) و ۲- تنش خشکی در چهار سطح (۱۰۰ (شاهد)، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت زراعی (FC)) در چهار تکرار در گلخانه انجام شد. صفات مورفولوژیکی نهال‌های سنجد *Elaeagnus angustifolia* L. (ارتفاع، قطر یقه و غیره) در ابتدا و انتهای دوره آزمایش اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزایش تنش آبی صفات رویشی مانند ارتفاع، قطر یقه، تعداد شاخه و برگ، وزن خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌های سنجد به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. طول ریشه اصلی نهال‌ها با افزایش تنش خشکی تا ۵۰ FC درصد روند افزایشی نشان داد که نشان‌دهنده افزایش طول ریشه در شرایط تنش آبی بود. متوسط طول ریشه نهال‌های سنجد در گونه‌های قارچی *F. mosseae* و *R. irregularis* به ترتیب ۴۶ و ۳۸ سانتی‌متر بود. کاربرد میکوریزا به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای رشد رویشی و صفات مورفولوژیکی نهال‌ها را در شرایط تنش خشکی افزایش داد، گونه قارچی *F. mosseae* در تمامی صفات مورفولوژیک غیر از وزن خشک ریشه شرایط مطلوب‌تری نسبت به گونه قارچی *R. irregularis* برای نهال‌های یک‌ساله سنجد ایجاد کرد.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع نهال، کلونیزاسیون، قطر یقه، وزن اندام هوایی، وزن ریشه.

است (Belhassen et al., 1997; García et al., 2010).

از انواع قارچ‌های مفید خاکزی، قارچ‌های میکوریزایی هستند که این قارچ‌ها می‌توانند رشد را بهبود داده و سبب فراهمی بیش‌تر عناصر غذایی مورد نیاز گیاه در خاک شوند و با توجه به اثر تعدیل‌کنندگی آن‌ها نقش مهمی در شرایط تنش ایفا کنند (Augé, 2001). قارچ‌های آربوسکولار میکوریزا از شناخته‌شده‌ترین انواع قارچ‌های میکوریز هستند که پراکنش وسیع‌تری داشته و با اغلب گونه‌های گیاهی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هم‌زیستی دارند (Zamani kebrabadi et al., 2020). قارچ‌های میکوریزایی از نظر بهبود توانایی گیاه در جذب مواد غذایی، تعادل یون، حفظ فعالیت آنزیم، افزایش غلظت کلروفیل و افزایش سطح تماس ریشه با خاک، خطرات ناشی از تنش را کاهش داده و سبب افزایش تحمل گیاه در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌شوند (Al-Karaki et al., 2004). هیف‌های قارچ سطح جذب کلی گیاهان تلقیح‌شده را افزایش داده و یا سبب افزایش دسترسی گیاهان میزبان به عناصر غذایی در منطقه دورتر از ریشه گیاه می‌شوند و عملاً حجم خاک مورد جستجو برای عناصر غذایی را افزایش داده و عناصر بیشتری را جذب می‌کنند (Al-Karaki and Hammad., 2001). به‌علاوه تحمل گیاهان به خشکی را از طریق بهبود جذب آب و پتانسیل آماس برگ، کنترل منافذ روزنه‌ای و تعرق، افزایش طول و عمق ریشه و توسعه هیف‌های انتهایی افزایش می‌دهد (Zawoznik et al., 2011). انشعابات میسلیمی قارچ‌ها قادرند نقش مهمی را در جذب و انتقال آب ایفا کنند. یکی از دلایل مهم حمایت میکوریز در شرایط تنش آبی از گیاه میزبان، افزایش جذب عناصر غذایی در خاک و تغذیه بهتر گیاه است (Kouchaki, 1988). پژوهش‌های دیگر نشان داده‌اند که هم‌زیستی میکوریز آربوسکولار می‌تواند با تنظیم پتانسیل اسمزی

بخش وسیعی از سرزمین‌های جهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک، با محدودیت آب مواجه هستند. طبق آمار موجود مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان تقریباً ۴۴/۷ میلیون کیلومتر مربع را شامل می‌شوند. تقریباً ۹۰ درصد مناطق خشک جهان در ۲۷ کشور مانند ایران متمرکز شده‌اند (Verma et al., 2013). در میان تنش‌های غیرزیستی که گیاهان با آن روبه‌رو می‌شوند، تنش خشکی در بیشتر مناطق دنیا از مهم‌ترین عوامل محدودکننده در گسترش و زادآوری گیاهان در سیستم‌های طبیعی و کشاورزی شناخته شده است (Caravaca et al., 2005). خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌هایی است که در دنیا وجود دارد و زمانی که اندازه تبخیر و تعرق از جذب آب بیشتر شود در گیاهان به وقوع می‌پیوندد. نقاط مختلفی از جهان در معرض تنش خشکی قرار دارند (Dehghan et al., 2016). تنش آبی می‌تواند از یک یا چند فعالیت فیزیولوژیکی مانند تعرق، فتوسنتز، رشد بافت، اندام و یا فعالیت‌های آنزیمی سلول ممانعت کرده و یا حتی سبب توقف آن شود. خسارت ناشی از کمبود آب موجب کاهش تولید در اثر تأخیر یا عدم استقرار گیاه، تضعیف و یا از میان رفتن گیاهان مستقر شده، مستعد شدن گیاه به حمله آفات و بیماری‌ها، تغییرات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی در سوخت و ساز گیاهان و کاهش کیفیت گیاهان شود (Wu et al., 2006). در حال حاضر ایران نیز با متوسط نزولات سالانه ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک جهان قرار دارد. با توجه به کمبود ریزش‌های جوی و نامناسب بودن پراکنش زمانی و مکانی آن در ایران، کشور ما در زمره کشورهای خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Kungu et al., 2008). یکی از استراتژی‌های مقابله با خشکی که مدتی است مورد توجه قرار گرفته است، تلقیح گیاهان با انواع مختلف از قارچ‌های مفید خاکزی

خوابیده رشد کرده و شاخه‌ها و برگ‌های نازک‌تر و با زوایای بیشتری نسبت به شاهد دارد و هم‌چنین مقدار زی‌توده در چهار سطح آبیاری از شاهد تا خیلی خشک به ترتیب ۲۵، ۱۲۲، ۱۰۳ و ۱۳۶ گرم به‌دست آمد (Jacob and Clark., 2002). در پژوهشی تأثیر قارچ میکوریز و ریزوباکتری محرک رشد بر فعالیت آنزیم‌های آنتیاکسیدانی نهال استبرق تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که تلقیح میکوریز و ریزوباکتریایی سودوموناس تحت شرایط خشکی به‌طور معنی‌داری فعالیت آنزیم‌های آنتی-اکسیدان را افزایش می‌دهد (Ghanbary et al., 2020). در پژوهش دیگر تنش‌های محیطی فشار بیشتری را بر ارتفاع درختان سنجد تلخ پایه‌های ماده، نسبت به پایه‌های نر وارد می‌کند، درحالی‌که پایه‌های ماده سطح ویژه برگ، طول روزنه و شاخص روزنه بیشتری از پایه‌های نر در شیب ارتفاعی دارند (Sehgal et al., 2018). بررسی پتانسیل آبی برگ درختان سنجد تلخ قزوین نشان داد که این گونه تحمل متوسطی به خشکی دارد (Wu and Xia., 2006). با توجه به موقعیت ایران که از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و بحران آب در این منطقه، استفاده گیاهان سازگار به شرایط خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توانایی گیاه برای سازش به تنش‌های محیطی بستگی به نوع، شدت و مدت تنش و هم‌چنین گونه گیاهی و مرحله وقوع تنش دارد. سنجد با نام علمی (*Elaeagnus angustifolia* L.) از مهم‌ترین گونه‌های معطر است که رویشگاه طبیعی وسیعی در اروپا و آسیا دارد. این گیاه در جنوب اروپا، باختر و شمال مرکزی آسیا تا هیمالیا به‌طور بومی می‌روید (Kumar., 1984). هم‌چنین در کشور ما نیز در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک گیاه خودرو، بادشکن و آبادکننده راه‌ها و اراضی، تکثیر یافته است و دارای انعطاف‌پذیری زیادی

در گیاه، اثر تنش خشکی را کاهش دهد (Aliasgharzad et al., 2006). احتمالاً انتقال آب از طریق هیف‌ها عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی است. سطح اضافی ایجادشده به‌وسیله هیف‌های برون ریشه‌ای عامل افزایش جذب آب به‌وسیله گیاهان میکوریزی است. علاوه بر آن، افزایش سطح ایجاد شده به‌وسیله هیف‌های برون‌ریشه‌ای در واقع یک مسیر مستقیم برای جذب و انتقال آب به ریشه‌ها را فراهم می‌کند (Wu et al., 2006).

نتایج پژوهش روی گیاهان میکوریزی و غیرمیکوریزی در شرایط تنش آبی نشان داد که هدایت هیدرولیکی سیستم ریشه‌های گیاهان میکوریزی بیش‌تر از گیاهان غیرمیکوریزی است، این موضوع در اثر افزایش سطح ریشه و یا طول دو تا سه برابری ریشه‌های میکوریزی است. برگ‌های گیاهان میکوریزی دارای مقاومت کمتری به انتشار بخار آب هستند و هم‌چنین سطح آن‌ها در مقایسه با گیاهان غیرمیکوریزی افزایش نشان می‌دهد (Zhang et al., 2006). در پژوهشی در نهالستان ایلام بین تیمارهای مختلف آبیاری ۲، ۴، ۶، ۹ و ۱۱ روز یک بار و ویژگی‌های مورفولوژیکی، بین نهال‌های یکم اختلاف معنی‌داری از نظر خصوصیات مورفولوژیک سطح برگ، وزن تر برگ، وزن خشک ریشه، رشد طولی ساقه و قطر یقه وجود داشت که بیشترین میانگین صفات مربوط به آبیاری ۴ روز یک بار گزارش شد (Heydari and Attarooshan., 2011). ارزیابی تأثیر تنش خشکی روی مورفولوژی نهال سنجد تلخ در چهار سطح تنش خشکی ۲، ۴، ۸ و ۱۲ روز یک بار نشان داد، تنش خشکی ۱۲ روز یک بار روی مورفولوژی سنجد تلخ سبب افقی شدن شاخه‌ها با زاویه بیشتر و قطر کمتر شد (Ahani et al., 2018). نتایج پژوهش تنش خشکی روی سنجد تلخ در چین نشان داد که نهال‌ها به‌صورت

در سازگاری با شرایط محیطی است (Lu et al., 2007). از گونه سنجد می‌توان به‌عنوان یک گونه مناسب در جنگلکاری اطراف شهرک‌ها و صنایع استفاده کرد. هم‌چنین این گیاه طی دهه‌های اخیر به سبب کاربردهای متعددی که در صنایع تبدیلی پیدا کرده جزء یکی از مهم‌ترین گیاهان دارویی در عرصه تجارت جهانی است (Ahmadiani et al., 2007). گونه سنجد توانایی جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک را نیز داراست، این بررسی با استفاده از قارچ‌های هم‌زیست ریشه و برای ارزیابی مقدار تحمل گونه درختی سنجد به تنش رطوبتی و تأثیر قارچ‌ها در افزایش مقاومت در برابر تنش خشکی در شرایط گلخانه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در تیرماه سال ۱۳۹۸ در محل مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان اجرا و تأثیر دو گونه قارچ میکوریز آربوسکولار *Rhizophagus irregularis* و *Funneliformis mosseae* بر ویژگی‌های رشدی نهال‌های یکساله سنجد *Elaeagnus angustifolia* L. تحت تنش آبی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور، نهال‌های یک-ساله و با مورفولوژی یکسان حاصل از بذر پایه‌ی مادری یکسان، هدف‌گذاری شدند. نهال‌های سنجد با متوسط ارتفاع ۷۰-۵۰ سانتی‌متر، حداقل قطر ۱-۰/۵ سانتی‌متر و تعداد برگ حداقل تا ۳۰ عدد از نهالستان وابسته به اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان انتخاب شد (سعی شد تمامی نهال‌ها دارای میانگین شرایط ارتفاع، قطر، شادابی، تعداد برگ و غیره یکسان باشند). سپس نهال‌ها به گلخانه مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان منتقل و به‌مدت ۲۰ روز برای سازگاری با شرایط جدید در آن‌جا نگهداری شدند.

کشت گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو عامل و در چهار تکرار اجرا شد. عامل‌های آزمایش شامل ۱- قارچ در سه سطح تلقیح با قارچ‌های آربوسکولار میکوریز *R. mosseae irregularis* و شاهد (بدون تلقیح)، ۲- تنش‌های آبی در چهار سطح شامل ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه به‌عنوان شاهد (سطح مطلوب آبیاری)، تنش ملایم (حدود ۷۵ FC درصد)، تنش آبی متوسط (حدود ۵۰ FC درصد) و تنش آبی شدید (حدود ۲۵ FC درصد) رطوبت ظرفیت زراعی اعمال شد. منحنی رطوبتی خاک در آزمایشگاه با روش صفحه فشاری (Plate Pressure) تعیین و بر اساس آن ظرفیت زراعی خاک محاسبه شد. سطوح مختلف تیمارهای خشکی بر مبنای ظرفیت زراعی خاک تنظیم شد. تعیین مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار تنش خشکی، از روش وزن-کردن گلدان‌ها (گلدان‌های هشت کیلوگرمی پلاستیکی با وزن خاک ۸ کیلوگرم) انجام شد و آب مقطر تا حدی که گلدان به وزن مورد نظر (با توجه به نوع تیمار خشکی) برسد، اضافه شد.

آب مورد نیاز برای هر تیمار بر اساس زمان رسیدن رطوبت خاک به رطوبت مورد نظر در هر تیمار تنش خشکی، با استفاده از یک دستگاه رطوبت سنج گلدانی (TDR) تعیین می‌شد (Doorenbos and Pruitt., 1977). عمق آب آبیاری با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Alizadeh, 1994).

$$In = (\theta_{FC} - \theta_{BL}) \times D \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه In نیاز خالص آبیاری، θ_{FC} مقدار رطوبت حجمی (میلی‌متر) ظرفیت زراعی برای هر تیمار، θ_{BL} مقدار رطوبت حجمی (میلی‌متر) خاک قبل از آبیاری برای هر تیمار، D عمق توسعه ریشه یا گلدان (میلی‌متر) است.

$$I_g = In / (1 - L_f) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$V=I_g*A$$

در روابط ۲ و ۳، I_g نیاز ناخالص آبیاری (میلی‌متر)، L_f برخه آبشویی (Leaching fraction)، A سطح مقطع گلدان (میلی‌متر مربع) و V حجم آب آبیاری (میلی‌متر مکعب) برای هر گلدان است.

برای اعمال تیمار کم‌آبی در آغاز ظرفیت زراعی اعمال شد و پس از استقرار نهال‌ها، تیمارهای ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه اعمال شد. قارچ‌های آربوسکولار میکوریز *R. irregularis* و *F. mosseae* از مؤسسه تحقیقات آب و خاک کل کشور تهیه شدند. آغاز کشت گلخانه‌ای، به‌منظور اعمال تیمار قارچ آربوسکولار میکوریزی، مقدار ۵۰ گرم زادمایه (در هر گرم ۷۰ الی ۸۰ اندام فعال قارچ) در اطراف ریشه نهال‌های سنجد پخش و روی آن‌ها با خاک پوشانده شد (Porcel et al., 2005). بعد از کشت و تلقیح قارچ با ریشه نهال‌های سنجد، نهال‌ها در گلخانه با شرایط طبیعی در دمای حداکثر و حداقل به ترتیب ۲۸ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 40 ± 5 به مدت چهار ماه نگهداری شدند. قبل از اعمال تیمار ارتفاع و قطر نهال‌ها اندازه‌گیری و در دوره رشد (چهار ماه)، اندازه-گیری‌ها هر ۳۰ روز یک‌بار تکرار شد تا نهال‌های مورد نظر رشد طبیعی خود را طی کنند.

در پایان دوره رشد (چهار ماه)، ارتفاع نهال‌ها با استفاده از متر از یقه تا جوانه انتهایی نهال و رویش قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتالی اندازه‌گیری شد. سپس رویش قطری، رویش ارتفاعی، تعداد برگ و تعداد شاخه از ارزیابی مقدار رشد در ماه چهارم منهای مقدار رشد در ابتدای دوره آزمایش محاسبه شد. طول ریشه اصلی نهال‌ها با خط‌کش اندازه‌گیری شد. برای ارزیابی سطح برگ، سطح سه برگ کاملاً توسعه‌یافته از بالاترین

قسمت هر نهال با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تعیین شد. به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک اندام هوایی و ریشه، پس از شست و شوی اندام‌های مختلف (ریشه، ساقه و برگ) از هم جدا و به مدت ۴۸ ساعت در دستگاه آون در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد خشک و سپس توزین شدند. برای ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه‌ها ۱۰۰ قطعه یک سانتی‌متری از ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به روش (Giovannetti and Mosse, 1980) به‌منظور ارزیابی درصد کلونیزاسیون ریشه توسط قارچ‌های AM به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. مقدار کلونیزاسیون با برآورد طولی از ریشه که به ساختمان‌های قارچی آلوده بودند محاسبه شد و میانگین کلونیزاسیون ریشه برای این صد قطعه تعیین شد. پنج طبقه (صفر تا ۵ درصد، ۵ تا ۲۵ درصد، ۲۵ تا ۵۰ درصد، ۵۰ تا ۷۵ درصد و ۷۵ تا ۱۰۰ درصد) بر اساس مقدار کلونیزاسیون برای هم‌زیستی میکوریزی تعریف شده است (Heidari and Attar Roshan., 2010). قبل از اعمال تیمارهای مختلف خشکی و قارچ‌های میکوریز به‌منظور جلوگیری از تأثیر میکروارگانیسم‌های موجود در خاک، به‌وسیله گرمادهی استریل و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای مقایسه میانگین متغیرهای اندازه‌گیری شده نیز از آزمون چند-دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.

نتایج

ابتدا خاک مورد بررسی از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1. Physical and chemical properties of the used soil

هدایت الکتریکی Electrical conductivity	درجه اسیدی و قلیابیت pH	ازت کل N total (%)	کربن آلی Organic carbon (%)	فسفر قابل جذب Available phosphorus (mg.kg ⁻¹)	پتاسیم قابل جذب Available potassium (mg.kg ⁻¹)	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت Texture
1.5	7.62	0.6	1.6	28.2	457	50	30	20	Loamy

ارتفاع و قطر نهال

کاربرد مایکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه رویش (ارتفاع و قطر) تیمارها در مقایسه با شاهد (Control) شد. بیشترین افزایش ارتفاع و قطر در تمامی تیمارهای تنش خشکی مربوط به گونه قارچی *F. mosseae* بود. صرف نظر از نوع مایکوریز به کار رفته، تنش آبی سبب کاهش رشد (ارتفاع و قطر) نهال‌ها، در تمامی تیمارهای تنش آبی شد. در تنش آبی زیاد (۲۵ درصد FC) نسبت به شاهد (آبیاری مطلوب) در گونه قارچی *F. mosseae* ارتفاع از ۴۸/۲۲ به ۳۹/۳۲ سانتی متر و قطر از ۲/۱۹ به ۱/۷۶ میلی متر کاهش یافت (شکل ۲). نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که ارتفاع ساقه و قطر ساقه تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد α). به طوری که در گیاهان مایکوریزایی رشد کرده در تنش خشکی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC)، شدید (۲۵ درصد FC) و بدون تنش (۱۰۰ درصد FC) شرایط رویشی بهتری از گیاهان غیرمایکوریز داشتند که این اختلاف از نظر آماری نیز معنی دار بود.

وزن خشک ریشه و اندام هوایی

تنش آبی به شدت مقدار ماده خشک نهال‌های سنجد را نسبت به شاهد کاهش داد، اما تیمارهای قارچ مایکوریز سبب افزایش افزایش ماده خشک در تمامی تیمارهای تنش آبی شد. در تمامی تیمارهای خشکی گونه قارچی *R. irregularis* بیشترین وزن خشک ریشه (اندام زیرزمینی) و گونه قارچی *F. mosseae* بیشترین وزن

خشک اندام هوایی را به خود اختصاص دادند. تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن خشک ریشه و اندام هوایی تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد α). در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد FC)، وزن خشک اندام هوایی نهال‌های سنجد در گونه قارچی *F. mosseae* و وزن خشک ریشه در گونه قارچی *R. irregularis* به ترتیب نسبت به شاهد (بدون قارچ)، ۲ و بیش از ۲ برابر افزایش پیدا کرد. به ترتیب بیشترین ماده خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های سنجد مربوط به تیمارهای خشکی بدون تنش (۱۰۰ درصد FC)، تنش آبی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC) و شدید (۲۵ درصد FC) بود (شکل ۳).

تعداد شاخه و برگ

تعداد برگ و شاخه نهال‌ها نیز (که تأثیر مستقیم بر روی وزن ماده خشک اندام هوایی دارد) در تیمارهای مایکوریزی بیشتر از شاهد (بدون قارچ) بود. تنش آبی سبب کاهش تعداد شاخه و برگ نهال‌های سنجد و در نهایت سبب کاهش وزن خشک اندام هوایی نهال‌ها شد. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تعداد شاخه و برگ تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی است (۱ درصد α). بیشترین تعداد شاخه و برگ مربوط به گونه قارچی *F. mosseae* در تمامی تیمارهای تنش آبی بود. سطح برگ در تمامی گیاهان مایکوریزی بیش از گیاهان غیر مایکوریزایی بود. سطح برگ تحت تأثیر تنش آبی قرار نگرفت، اما در سطح احتمال یک درصد

شد (شکل ۱). درصد کلونیزاسیون قارچ در تمامی گیاهان میکوریزی بیش از گیاهان غیرمیکوریزی بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که درصد کلونیزاسیون قارچ آربوسکولار میکوریز در ریشه نهال‌ها تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار دارد (۱ درصد α). از نظر درصد کلونیزاسیون قارچ و سطح برگ، بین تیمارهای گیاهان تلقیح شده به میکوریز و غیرتلقیح شده به میکوریز رشد کرده در تنش آبی کم (۷۵ درصد FC)، متوسط (۵۰ درصد FC)، شدید (۲۵ درصد FC) و بدون تنش (۱۰۰ درصد FC)، اختلاف معنی‌داری ملاحظه شد. اثر تنش آبی و اثر متقابل خشکی با قارچ میکوریز بر سطح برگ نهال‌های سنجد معنی‌دار نبود، درحالی‌که اثر متقابل تنش آبی و قارچ میکوریز بر فراوانی قارچ میکوریز (کلونیزاسیون) در ریشه نهال‌های سنجد در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). به‌طور مثال در سطح مطلوب آبیاری (بدون تنش خشکی)، درصد کلونیزاسیون قارچ به‌طور متوسط از ۳۱/۳۷ درصد در شاهد به ۴۸/۷ درصد در گونه قارچی *F. mosseae* و به ۴۴/۲۷ درصد در گونه قارچی *R. irregularis* رسید. صرف نظر از نوع میکوریز به‌کار رفته، تنش آبی سبب کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ شد، به‌طوری‌که در سطح مطلوب آبیاری بیشترین درصد کلونیزاسیون و در تنش آبی شدید (۲۵ درصد FC) کمترین درصد کلونیزاسیون قارچی مشاهده شد (شکل ۱).

تحت تأثیر قارچ میکوریز واقع شد (جدول ۲). اثر متقابل قارچ و تنش آبی بر تعداد شاخه معنی‌دار نبود. در گونه قارچی *F. mosseae* در تنش آبی شاهد (۱۰۰ درصد FC) نسبت به تنش آبی شدید (۲۵ درصد FC) تعداد برگ از ۲۷۵ به ۱۲۸ و تعداد شاخه از ۲۱ به ۱۰ کاهش یافت (شکل ۴).

طول ریشه اصلی

طول ریشه نهال‌های سنجد در گونه قارچی *F. mosseae* بیشتر از گونه قارچی *R. irregularis* و در تیمار تنش آبی متوسط (۵۰ درصد FC) شرایط مطلوب‌تری دارا بود. کمترین طول ریشه در تنش آبی با سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد) بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول ریشه اصلی تحت تأثیر اثر متقابل نوع قارچ و تنش آبی قرار گرفت (۱ درصد α). طول ریشه در گونه قارچ *F. mosseae* در سطح آبیاری مطلوب (۱۰۰ درصد FC) برابر با ۴۰/۴۸ سانتی‌متر و در تنش آبی متوسط (۵۰ درصد FC) برابر با ۵۲/۹۸ سانتی‌متر بود (شکل ۵). به‌ترتیب بیشترین طول ریشه اصلی در تنش‌های آبی متوسط (FC) ۵۰ درصد، تنش آبی شدید (FC) ۲۵ درصد، تنش آبی کم (FC) ۷۵ درصد و شاهد (سطح آبیاری مطلوب FC) ۱۰۰ درصد بود (شکل ۵).

درصد کلونیزاسیون

کاربرد میکوریز موجب افزایش قابل ملاحظه درصد کلونیزاسیون قارچ در تیمارهای مختلف نسبت به شاهد

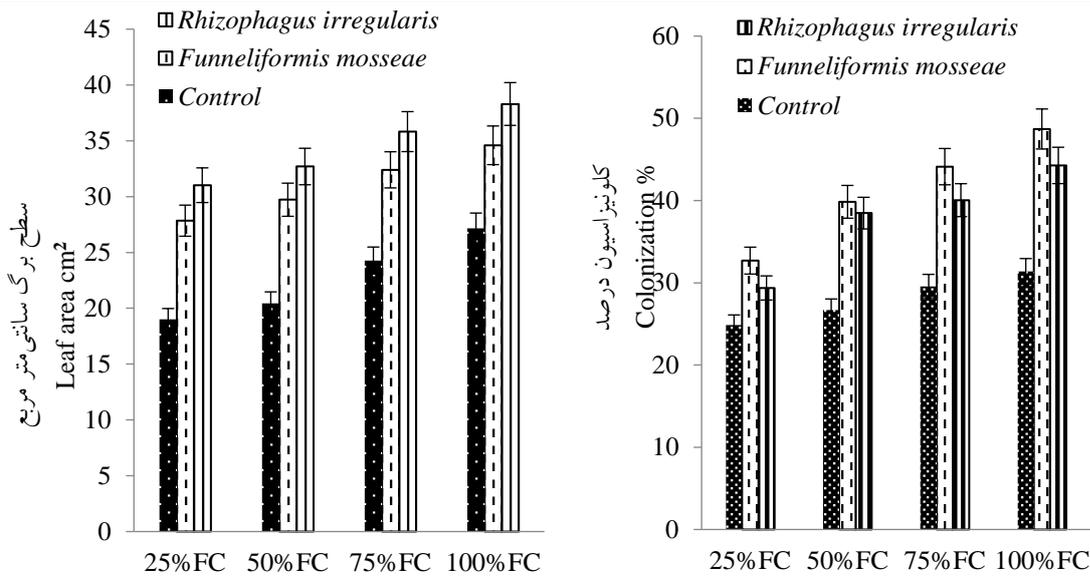
جدول ۲- تجزیه واریانس تیمارهای مختلف بر ویژگی‌های رویشی سنجد

Table 2. Analysis of variance of different treatments on vegetative characteristics of *Elaeagnus angustifolia* L.

میانگین مربعات Mean square										
تعداد شاخه Number branch	وزن خشک هوایی Shoot dry weight	تعداد برگ Number leaf	وزن خشک ریشه Root dry weight	درصد فراوانی (کلونیزاسیون) Colonization	طول ریشه Root length	سطح برگ Leaf area	رویش ارتفاعی Height growth	رویش قطری Diameter growth	درجه آزادی df	منبع تغییرات Source of variation
16.36	21.259	1131.000	56.377	14.28	13.57	46.76	74.466	0.399	3	تکرار Block
14.8083**	1436.046**	35707.000*	1064.073**	**758.123	3175.473**	*585.084*	787.071**	2.127**	2	فارچ Fungus
2.417	17.735**	422.083*	9.821**	21.081**	7.489**	0.669	12.625**	0.035*	6	تنش آبی × فارچ Fungus × Drought Stress
53.188**	280.970**	5362.521**	136.905**	334.280**	294.770**	130.611	267.995**	0.454**	3	تنش آبی Drought Stress
1.363	1.772	94.250	4.698	1.190	1.131	3.897	6.205	0.033	33	خطا error
8.46	5.22	4.62	10.60	2.934	3.01	7.27	6.88	11.36		ضریب تغییرات CV%

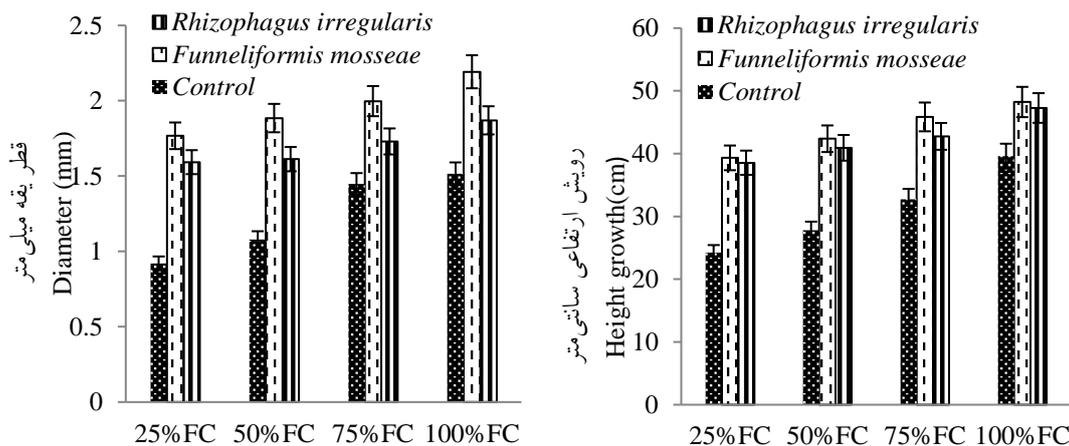
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

** and * are significant at the 1 and 5% probability levels, respectively.



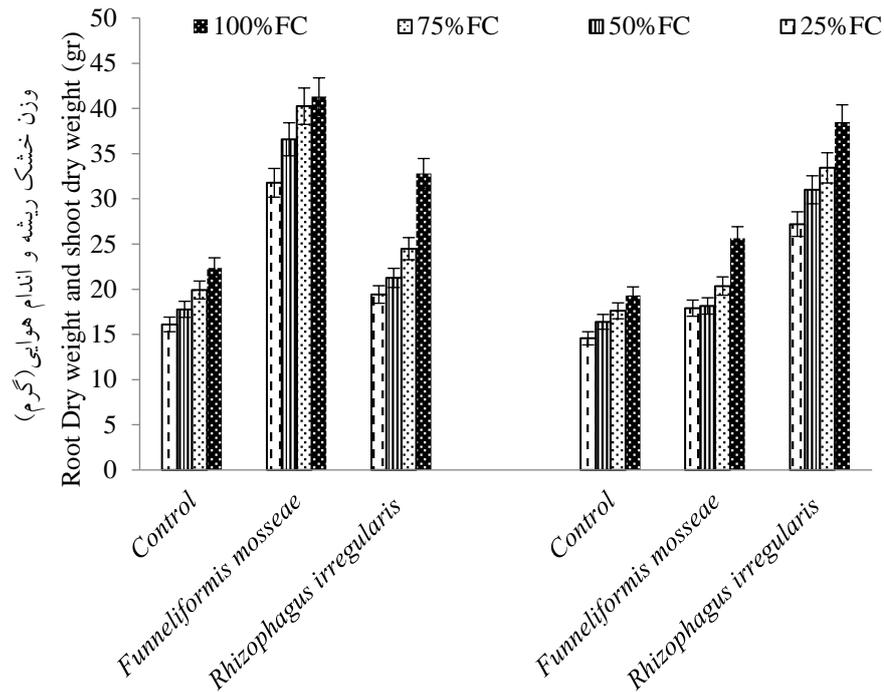
شکل ۱- مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل میکوریز و تنش آبی بر درصد کلونیزاسیون قارچ (راست) و سطح برگ (چپ).
نهال‌های یکساله سنجد (میانگین \pm SE).

Figure 1. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal and drought stress on fungal colonization (right) and Leaf area (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average \pm SE).



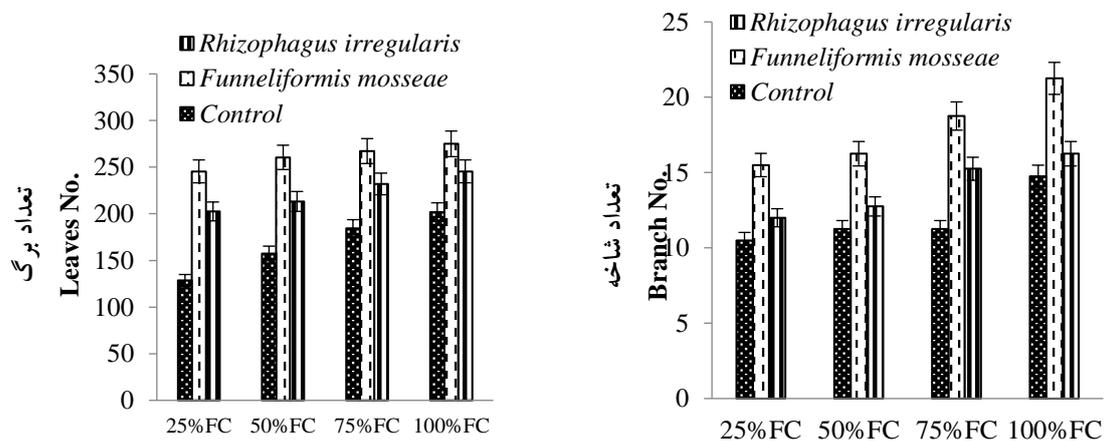
شکل ۲- مقایسه میانگین‌های اثرهای متقابل میکوریز و تنش آبی بر رویش ارتفاعی (راست) و قطر یقه (چپ) نهال‌های یکساله سنجد (میانگین \pm SE).

Figure 2. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal and drought stress on elevation (right) and collar diameter (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average \pm SE).



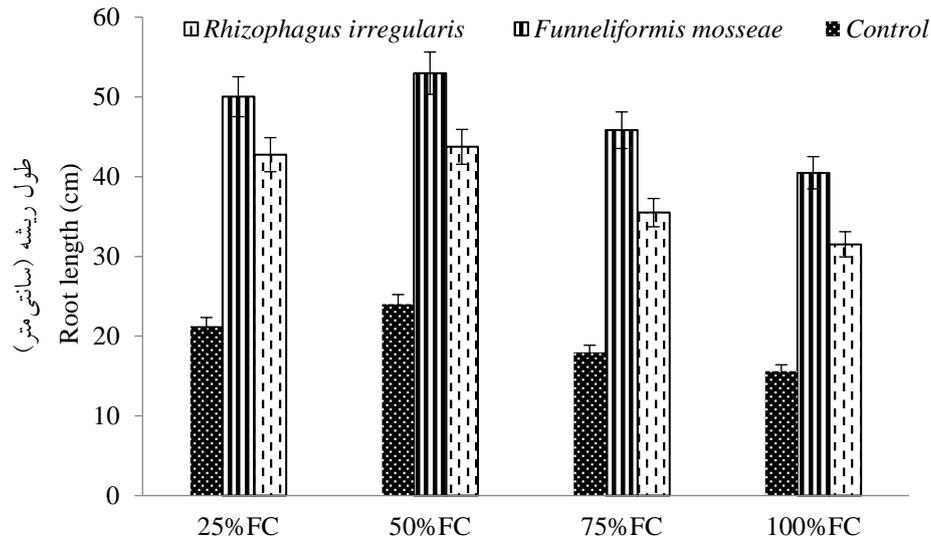
شکل ۳- مقایسه میانگین اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر وزن خشک ریشه (راست) و اندام هوایی (چپ) نهالهای یکساله سنجد (میانگین \pm SE).

Figure 3. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on root dry weight (right) and shoot dry weight (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average \pm SE).



شکل ۴- مقایسه میانگین های اثرهای متقابل مایکوریز و تنش آبی بر تعداد شاخه (راست) و تعداد شاخه (چپ) نهالهای یکساله سنجد (میانگین \pm SE).

Figure 4. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on the number of branches (right) and the number of branches (left) of One-year-old seedlings of Russian olive (average \pm SE).



شکل ۵- مقایسه میانگین اثرهای متقابل میکوریز و تنش آبی بر طول ریشه نهال‌های یکساله سنجد (میانگین \pm SE).

Figure 5. Comparison of the mean interaction effects of mycorrhizal interactions and drought stress on root length of One-year-old seedlings of Russian olive (average \pm SE).

و کاهش پتانسیل‌های آب به مقدار ۱/۰- مگاپاسکال منجر به کاهش محسوس رشد سلولی می‌شود (Bethlenfalvay et al., 1988). اثرها مثبت میکوریز در افزایش ارتفاع و قطر نهال در پژوهش‌های مختلفی (Smith et al., 1998; Liu et al., 2007) دیده شده است، که هم‌سو با نتایج به‌دست‌آمده است.

افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های میکوریز *Pinus thalepeis*, *Quercus petraea* *faginea* (Wu et al., 2010)، *Juniperus oxycedrus* (Alguacil et al., 2006)، کاسیا (Giovannetti and Mosse., 1980) و مورد (Giri et al., 2005) نیز دیده شده است. Zhang et al. (2010) نیز با بررسی اثر شش گونه میکوریز از جنس *Casuarina* گلوموس بر نهال گونه جنگلی *equisetifolia* در شرایط گلخانه‌ای نشان دادند که وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی در نهال‌های میکوریز بیشتر بوده است که با نتایج این بررسی هم‌سو است (Zhang et al., 2010). بر این اساس می‌توان گفت که گیاهان تلقیح‌شده با قارچ آربوسکولار میکوریز

بحث

بیشترین رویش قطری، بالاترین رویش ارتفاعی، بیشترین وزن خشک ریشه و اندام هوایی و تعداد برگ نهال‌های سنجد در تیمار خشکی با آبیاری مطلوب به- همراه تلقیح قارچ *F. mosseae* حاصل شد. تنش آبی سبب کاهش تمامی صفات رویشی نهال‌های سنجد و از طرفی تلقیح با قارچ آربوسکولار میکوریز سبب افزایش صفات رویشی در تمامی تیمارهای خشکی شد. Lu et al. (2007) نیز که از سه رژیم ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد رطوبت نسبی را برای بررسی اثر تنش آبی بر *Zizyphus spinosus* استفاده کردند، نشان دادند که میکوریز سبب افزایش ارتفاع، تعداد برگ، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی نهال‌های تحت استرس شد (Klich., 2000). تنش آبی سبب کاهش ارتفاع نهال‌های سنجد شد، با کاهش رشد سلول، رشد اندام‌ها محدود می‌شود و به‌همین دلیل است که اولین اثر محسوس کم آبی روی گیاهان را می‌توان از طریق کاهش ارتفاع تشخیص داد. به‌طور کلی رشد سلولی حساس‌ترین عکس‌العمل گیاه به تنش آبی است

می‌گردد (Wu et al., 2001).

قارچ‌های میکوریزی با افزایش کلونیزاسیون ریشه‌ها، ویژگی‌های رشدی گیاه و جذب آب توسط گیاه را افزایش داده و در نتیجه سبب افزایش تحمل گیاه نسبت به شرایط نامساعد محیطی مانند خشکی می‌شوند. در بین گونه‌های قارچ مورد بررسی، گونه قارچی *F. mosseae* در نهال‌های سنجد تأثیر بیشتری بر خصوصیات مورفولوژیکی در تیمارهای مختلف خشکی داشتند. صرف‌نظر از نوع میکوریز به‌کاررفته، تنش آبی سبب کاهش رشد نهال‌های سنجد شد، به‌طوری که در بیشتر تیمارها، سطح مطلوب آبیاری بیشترین رشد و تنش آبی شدید کمترین رشد را نشان دادند. نهال‌های یکساله سنجد با دارا بودن سیستم ریشه‌ای مناسب و قوی شرایط تحمل در تنش آبی متوسط (۵۰FC درصد) را دارا هستند.

درصد کلونیزاسیون قارچ در تیمار تنش آبی با آبیاری مطلوب (۱۰۰ FC درصد) بیشتر از دیگر تیمارهای تنش آبی در هر دو گونه قارچی *R. irregularis* و *F. mosseae* بود. (Alguaci et al., 2006) نشان دادند که افزایش تنش آبی سبب کاهش هم‌زیستی قارچ‌های آربوسکولار میکوریز (*R. irregularis*, *F. mosseae*) با گونه درختی *Juniperus oxycedrus* می‌شود (Alguacil et al., 2006). Lu et al. (2007) نیز گزارش کردند که در کنار (*Zizyphs spinosus*) با افزایش تنش آبی، درصد کلونیزاسیون کاهش می‌یابد (Klich, 2000). اثر منفی استرس خشکی بر درصد کلونیزاسیون ریشه *Citrullus lanatus* توسط قارچ *R. irregularis* (Kumar et al., 2010)، در گیاه تنباکو توسط قارچ‌های *R. irregularis* و *F. mosseae* (Talaat et al., 2015) و در گونه *Citrus tangerine* توسط قارچ *Diversispora versiformis* (Vamerali et al., 2003) نیز مشاهده شده که با نتایج به‌دست‌آمده

وضعیت آبی بهتری را نشان دادند و امکان بیشتری برای تداوم فتوسنتز و تولید اسیدهای آلی برای تأمین ساختارهای کربنی و انرژی برای تنظیم اسمزی داشته‌اند. در نتیجه با حفظ رطوبت بیشتر از یک طرف و جذب دی‌اکسیدکربن بیشتر از طرف دیگر، نهال‌ها مقدار اسیمپلاسیون تولیدی خود را بالا نگه داشته‌اند.

در این پژوهش با افزایش تنش آبی از آبیاری مطلوب (۱۰۰ FC درصد) به تنش آبی متوسط (۵۰ FC درصد) طول ریشه افزایش نشان داد. گیاهان مقاوم به تنش آبی برای استفاده بهینه از آب موجود در خاک در شرایط کمبود آب طول ریشه خود را افزایش می‌دهند و این افزایش طول ریشه با کاهش قطر ریشه همراه است و در نتیجه ریشه گیاه بهتر می‌تواند به منافذ خاک نفوذ کرده و آب را جذب کند. تنش آبی سبب فعال‌شدن ژن‌های تولیدکننده پروتئین اکسپانزین می‌شود و تولید این پروتئین در ریشه زیاد شده و این پروتئین سبب سست کردن پیوندهای دیگلوکان بین رشته‌های سلولزی در دیواره سلولی می‌شود و به دنبال سست شدن دیواره سلولی با جذب آب و تورژسانس سلولی سلول‌ها بزرگ شده و سبب افزایش طول ریشه می‌شوند (Zhang et al., 2006). همچنین وجود قارچ‌های آربوسکولار میکوریز در تمامی تیمارهای خشکی سبب افزایش طول ریشه نسبت به شاهد (بدون قارچ) شدند. et al. (2010) Kumar نشان دادند که قارچ‌های میکوریز سبب افزایش رشد طولی ریشه نهال‌های *Jatropha curcas* می‌شوند (Smith et al., 1998) که مطابق با نتایج این پژوهش است. افزایش طول ریشه در تنش آبی متوسط (۵۰ FC درصد) نشان داد نهال‌های یک‌ساله سنجد با افزایش طول ریشه در شرایط خشکی می‌توانند نسبت به این تنش از خود مقاومت نشان دهند. وجود سیستم ریشه‌ای قوی و گسترده تا حدود زیادی سبب افزایش تحمل و مقاومت گیاه نسبت به شرایط خشکی

احتمالاً آن است که در شرایط تنش، همراه با کاهش ظرفیت بیوشیمیایی برای کربن‌گیری و محدودیت انتشار گازی، انتقال مواد فتوسنتزی تحت تأثیر قرار گرفته که موجب اشباع‌شدن برگ‌ها از این مواد و در نتیجه محدود‌شدن فرآیند فتوسنتز و کاهش وزن تر و خشک گیاه می‌شود. بنابراین کاهش فتوسنتز گیاهان تحت تنش را می‌توان ناشی از تأثیر منفی تنش بر دستگاه فتوسنتزی، مقدار کلروفیل و یا اثر توأم هر دو عامل دانست (Song, 2005).

در این پژوهش هم‌سو است. می‌توان از دلایل کاهش درصد کلونیزاسیون قارچ در تنش‌های خشکی متفاوت را نیاز آبی قارچ به‌منظور تولید اسپور دانست. کاهش وزن خشک گیاه تحت شرایط تنش آبی امری ثابت شده است که علت این امر نیز به‌دلیل وجود شرایط اسمزی در منطقه ریشه، کاهش مقدار جذب آب توسط گیاه، کاهش رشد و به‌طورکلی کاهش وزن گیاه است. از دلایل کاهش وزن خشک گیاه سنجد در شرایط تنش آبی زیاد، بدون کاربرد قارچ‌های آربوسکولار میکوریز

References

- Ahani, H.; Jalilvand, H.; Vaezi, J.; Sadati, S. S., The effect of drought stress on morphology of bitter elm seedlings *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson. *Journal of Plant Ecology* **2018**, (5) 11, 191-204. (In Persian)
- Ahmadiani, A.; Hosseiny, J.; Semnanian, S.; Javan, M.; Saeedi, F.; Kamalinejad, M.; Saremi, S., Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Elaeagnus angustifolia* fruit extract. *Journal of ethnopharmacology* **2000**, 72 (1-2), 287-292.
- Alguacil, M.; Caravaca, F.; Diaz-Vivancos, P.; Hernández, J.; Roldan, A., Effect of arbuscular mycorrhizae and induced drought stress on antioxidant enzyme and nitrate reductase activities in *Juniperus oxycedrus* L. grown in a composted sewage sludge-amended semi-arid soil. *Plant and soil* **2006**, 279 (1), 209-218.
- Aliasgharzad, N.; Neyshabouri M.R.; Salimi, G., Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Bradyrhizobium japonicum* on drought stress of soybean. *Biologia* **2006**, 61, 324-328. (In Persian)
- Alizadeh, A., *Principles of Designing Irrigation Systems (First Edition)*. Imam Reza University Press, **1994**; p 539. (In Persian)
- Al-Karaki GN, Hammad R. Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of plant nutrition*. 2001;24(8):1311-23.
- Al-Karaki, G.; McMichael, B.; Zak, J., Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* **2004**, 14 (4), 263-269.
- Augé, R. M., Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* **2001**, 11 (1), 3-42.
- Bethlenfalvay, G. J.; Thomas, R.; Dakessian, S.; Brown, M.; Ames, R.; Whitehead, E., Mycorrhizae in stressed environments: effects on plant growth, endophyte development, soil stability and soil water. *Arid Lands: today and tomorrow* **1988**, 1015-1029.
- Caravaca, F.; Alguacil, M.; Hernández, J.; Roldán, A., Involvement of antioxidant enzyme and nitrate reductase activities during water stress and recovery of mycorrhizal *Myrtus communis* and *Phillyrea angustifolia* plants. *Plant Science* **2005**, 169 (1), 191-197.
- Chonghua, W.; Jiren, W.; Junxiu, Y.; Lihua, L., A study on the resources of AMF in Taibai Mountain Nature Preserve. *Journal of Northwest Forestry College* **2001**, 16 (2), 35-39.
- Dehghan., S.; Tabari Kochak Saraei M.; Jalali Gh., Effect of SiO₂ NPS nanoparticles on morphophysiological characteristics of *Pinus nigra* under drought stress. *Forest Research and Development*, **2016**, 2 (3), 289-299. (In Persian)
- Doorenbos, J.; Pruitt, W. H., Crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage* **1977**, 24, 108- 119.
- García, A. N.; Árias, S. d. P. B.; Morte, A.; Sánchez-Blanco, M. J., Effects of nursery preconditioning through mycorrhizal inoculation and drought in *Arbutus unedo* L. plants. *Mycorrhiza* **2011**, 21 (1), 53-64.
- Ghanbary, 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)
- Giovannetti, M.; Mosse, B., An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New phytologist* **1980**, 489-500.
- Giri, B.; Kapoor, R.; Mukerji, K., Effect of the arbuscular mycorrhizae *Glomus fasciculatum* and *G. macrocarpum* on the growth and nutrient content of *Cassia siamea* in a semi-arid Indian wasteland soil. *New forests* **2005**, 29 (1), 63-73.
- Heidari, M.; Attar Roshan, S., Determine the appropriate irrigation period for *Acer mopessulanum* seedlings. In Darrehshahr Nursery, Ilam Province, *Renewable Natural Resources Research* **2010**, 1 (2), 59-71. (In Persian)
- Heydari, M.; Attar Roshan, S., Determining the appropriate irrigation period for *Acer monspessulanum* seedlings in Darrehshahr nursery - Ilam province. *Journal of Renewable Natural Resources Research* **2011**, 2 (1), 51-71. (In Persian).
- Jacob, H.; Clarke, G., Methods of soil analysis, Part 4, Physical method. *Soil Science Society of America, Inc, Madison, Wisconsin, USA* **2002**.
- Klich, M. G., Leaf variations in *Elaeagnus angustifolia* related to environmental heterogeneity. *Environmental and experimental botany* **2000**, 44 (3), 171-183.
- Kouchaki, A., Aspects of drought stress in Sorghum. *Journal of agricultural science and industries* **1988**, 2 (2), 77-81.
- Kumar, A.; Sharma, S.; Mishra, S., Influence of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi and salinity on seedling growth, solute accumulation, and mycorrhizal dependency of *Jatropha curcas* L. *Journal of Plant Growth Regulation* **2010**, 29 (3), 297-306.
- Kumar, D., The value of certain plant parameters as an index for salt tolerance in Indian mustard (*Brassica juncea* L.). *Plant and Soil* **1984**, 79 (2), 261-272.
- Kungu, J. B.; Lasco, R. D.; Delacruz, L. U.; Delacruz R. E; Husain, T., Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (VAM) fungi inoculation on coppicing ability and drought resistance of *Senna spectabilis*. *Pakistan Journal of Botany* **2008**, 40(5), 2217-2224.
- Liu, J.; Wu, L.; Wei, S.; Xiao, X.; Su, C.; Jiang, P.; Song, Z.; Wang, T.; Yu, Z., Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on the growth, nutrient uptake and glycyrrhizin production of licorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulation* **2007**, 52 (1), 29-39.
- Lu, J.; Liu, M.; Mao, Y.; Shen, L., Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizae on the drought resistance of wild jujube (*Zizyphs spinosus* Hu) seedlings. *Frontiers of Agriculture in China* **2007**, 1 (4), 468-471.
- Mullet, J. E.; Whitsitt, M. S., Plant cellular responses to water deficit. In *Drought tolerance in higher plants: Genetical, physiological and molecular biological analysis*, Springer: 1996; pp 41-46.
- Sehgal, A.; Sita, K.; Siddique, K. H.; Kumar, R.; Bhogireddy, S.; Varshney, R. K.; HanumanthaRao, B.; Nair, R. M.; Prasad, P.; Nayyar, H., Drought or/and heat-stress effects on seed filling in food crops: impacts on functional biochemistry, seed yields, and nutritional quality. *Frontiers in plant science* **2018**, 9, 1705.
- Smith, M.; Charvat, I.; Jacobson, R., Arbuscular mycorrhizae promote establishment of prairie species in a tallgrass prairie restoration. *Canadian Journal of Botany* **1998**, 76 (11), 1947-1954.
- Song, H., Effects of VAM on host plant in the condition of drought stress and its mechanisms. *Electronic Journal of Biology* **2005**, 1 (3), 44-48.
- Talaat, N. B.; Shawky, B. T.; Ibrahim, A. S., Alleviation of drought-induced oxidative stress in maize (*Zea mays* L.) plants by dual application of 24-epibrassinolide and spermine. *Environmental and Experimental Botany* **2015**, 113, 47-58.
- Vamerali, T.; Saccomani, M.; Bona, S.; Mosca, G.; Guarise, M.; Ganis, A., A comparison of root characteristics in relation to nutrient and water stress in two maize hybrids. In *Roots: The Dynamic Interface Between Plants and the Earth*, Springer: 2003; pp 157-167.
- Verma, J. P.; Yadav, J.; Tiwari, K. N.; Kumar, A., Effect of indigenous Mesorhizobium spp. and plant growth promoting rhizobacteria on yields and nutrients uptake of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under sustainable agriculture. *Ecological Engineering* **2013**, 51, 282-286.
- Wu, Q.; Zou, Y.; He, X., Exogenous putrescine, not spermine or spermidine, enhances root mycorrhizal development and plant growth of trifoliate orange (*Poncirus trifoliata*)

- seedlings. *International Journal of Agriculture and Biology* **2010**, 12 (4), 576-580.
- Wu, Q.-S.; Xia, R.-X., Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions. *Journal of plant physiology* **2006**, 163 (4), 417-425.
- 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)
- Zawoznik, M. S.; Ameneiros, M.; Benavides, M. P.; Vázquez, S.; Groppa, M. D., Response to saline stress and aquaporin expression in Azospirillum-inoculated barley seedlings. *Applied microbiology and biotechnology* **2011**, 90 (4), 1389-1397.
- Zhang, X.-h.; Lin, A.-j.; Chen, B.-d.; Wang, Y.-s.; Smith, S. E.; Smith, F. A., Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vicia faba*. *Journal of Environmental Sciences* **2006**, 18 (4), 721-726.
- Zhang, Y.; Zhong, C.; Chen, Y.; Chen, Z.; Jiang, Q.; Wu, C.; Pinyopusarek, K., Improving drought tolerance of *Casuarina equisetifolia* seedlings by arbuscular mycorrhizas under glasshouse conditions. *New Forests* **2010**, 40 (3), 261-271.

Investigation of the effect of mycorrhizal fungi on seedlings *Elaeagnus angustifolia* L. under drought stress

B. Zamani Kebrabadi^{*1}, M. Hodjati², F. Rejali³, M. Esmacili Sharif⁴ and R. Saboohi⁵

1- Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, I. R. Iran. (Zamanikebrabadi67@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University, Sari, I. R. Iran. (S-m-hodjati@yahoo.com)

3- Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural, Research, Education and Extension Organization, Karaj, I. R. Iran. (Frejali@yahoo.com)

4- Assistant professor, Division of Natural Resources, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Agricultural, Research, Education and Extension Organization, Isfahan, I. R. Iran. (masoudesmaeilisharif@gmail.com)

5- PhD of Range Management, Isfahan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, I. R. Iran. (razieh_saboohi@yahoo.com)

Received: 05.10.2020 Accepted: 06.01.2021

Abstract

Russian olive seedlings were planted in environmental plan in the form of Complete Randomized Block Design (RCBD) with four replications and treat mental plan in the form of factorial with 2 factors in the greenhouse. The test factors were *Arbuscular mycorrhizal* inoculum (*Rhizophagus irregularis*, *Funneliformis mosseae* and control without inoculation) and four drought stress intensity (25, 50, 75 and 100% of field capacity (FC)). Seedlings growth rate include height, collar diameter, number of leaves, number of branches, weight of aerial and underground organs were calculated by comparison of the growth rate at the beginning and end of the experimental period. With increasing drought stress intensity, vegetative traits such as height, collar diameter, number of branches and leaves, root dry weight and shoot dry weight of Russian olive seedlings were decreased significantly. With increasing drought stress to 50% of FC, the main root length of seedlings showed an increasing trend, indicating an increase in root length under dehydration. The average root length of Russian olive seedlings in *F. mosseae* and *R. irregularis* were 46 and 38 cm, respectively. Application of mycorrhiza significantly increased vegetative growth and morphological traits of seedlings under drought stress. *F. mosseae* in all morphological traits except root dry weight was more favorable than *R. irregularis* for one-year-old Russian olive seedlings.

Keywords: Seedling height, Colonization, Collar diameter, Shoot weight, Root weight.

* Corresponding author

Tel: +989133236009

برآورد مشخصه‌های کمی نهال‌ها با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی

حامد صادقیان^۱، حامد نقوی^{۲*}، رحیم ملک‌نیا^۳ و جواد سوسنی^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. (h.s1370@yahoo.com)

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

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

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

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۲/۱۰

چکیده

هدف از این پژوهش، برآورد مشخصه‌های مختلف دو و سه‌بعدی، نهال‌ها با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی است. بدین منظور مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از تصاویر برداشت‌شده توسط دوربین یک گوشی هوشمند و روش بازسازی ساختار حرکتی-روی هم‌گذاری تصاویر استریو چندوجهی (SfM-MVS) تهیه شد. برای ارزیابی دقت نتایج به دست آمده از مدل‌ها، مشخصه‌هایی از قبیل قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج، حجم تنه، حجم تاج و حجم کل هر نهال در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با توجه به مقادیر آماره‌های RMSE% و Bias% (کمتر از ۱۰ درصد)، استفاده از تصاویر و روش مورد استفاده برای برآورد مشخصه‌های دوبعدی نهال‌ها از دقت مناسبی برخوردار است. همچنین در بین مشخصه‌های سه‌بعدی نهال‌های مورد بررسی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار دقت مربوط به حجم تنه با R^2 برابر با ۰/۸۹ و RMSE% برابر با ۲۳/۰۸ درصد و حجم تاج با R^2 برابر با ۰/۶۷ و RMSE% برابر با ۳۱/۹۲ درصد بود. در نهایت می‌توان بیان داشت که تصاویر برداشت‌شده توسط دوربین گوشی هوشمند در کنار استفاده از روش SfM-MVS برای برآورد مشخصه‌هایی مانند قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج و حجم تنه نهال‌ها از دقت بالایی برخوردار است، اما در برآورد مشخصه حجم تاج دقیق نیست.

واژه‌های کلیدی: ابر نقاط، حجم، روند بازسازی ساختار حرکتی - روی هم گذاری، نهال.

مقدمه

مجموعه‌ای از عکس‌ها امکان‌پذیر است (Luhmann et al., 2006). این تصاویر را می‌توان به صورت هوایی یا زمینی برداشت کرد. در عکس‌برداری برد کوتاه زمینی (Close range photogrammetry) معمولاً از دوربین‌های عکاسی یا دوربین‌گوشی‌های هوشمند استفاده می‌شود. از مهم‌ترین مزایای استفاده از دوربین‌گوشی‌های هوشمند برای عملیات عکس‌برداری برد کوتاه زمینی در مقایسه با دوربین‌های عکاسی می‌توان به سبک‌تر بودن، بدون نیاز به تنظیمات پیچیده، هزینه کمتر، حمل آسان‌تر و استفاده راحت‌تر در شرایط مختلف اشاره کرد (Wu et al., 2019).

با توجه به پیشرفت الگوریتم‌های عکس‌برداری، اکنون روش‌های مبتنی بر تصویر قادر به تولید داده‌های ابر نقاط سه‌بعدی هستند، که کارایی مشابه با داده‌های به‌دست‌آمده از لیزر اسکنرها را دارند (Liang et al., 2015). یکی از متداول‌ترین روش‌های عکس‌برداری مورد استفاده روش SfM-MVS (Structure from Motion with Multi-View Stereo photogrammetry) است. این روش در سال ۱۹۷۹ توسط Ullman معرفی شد و پس از آن برای ساخت مدل‌های سه‌بعدی گسترش یافت (Ullman, 1979; Morgenroth et al., 2014). در روش SfM-MVS، تصاویر دوبعدی دارای هم‌پوشانی، از نقاط و زوایای دیدهای مختلف از جسم برداشت می‌شود، سپس این تصاویر برداشت شده تبدیل به مدل‌های سه‌بعدی می‌شود (Marzulli et al., 2020; Miller et al., 2015; Mikita et al., 2016). از مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده به این روش می‌توان در برآورد مشخصه‌های مختلف درختان استفاده کرد.

تاکنون پژوهشگران پژوهش‌های مختلفی در زمینه به‌کارگیری داده‌های عکس‌برداری برد کوتاه زمینی برای برآورد مشخصه‌های مختلف دو و سه‌بعدی درختان

اساس مدیریت پایدار در مناطق جنگلی، دسترسی به اطلاعات دقیق و به‌هنگام در مورد مشخصه‌های درختان از قبیل قطر، ارتفاع، قطر تاج و حجم در تمامی مراحل رویشی است (Jaakkola et al., 2010). برای جمع‌آوری این‌گونه اطلاعات با توجه به شرایط موجود، منابع در دسترس و صحت مورد انتظار، از روش‌های آماربرداری متنوعی استفاده می‌شود (Liang et al., 2020; Moradi et al., 2016). در روش‌های سنتی آماربرداری برای جمع‌آوری اطلاعات مربوط به درختان، معمولاً از ابزارهای مکانیکی یا اپتیکی مانند کالیپر، شیب‌سنج و ارتفاع‌سنج استفاده می‌شود، اما استفاده از این نوع ابزارها زمان‌بر است و همچنین توانایی برآورد مستقیم مشخصه‌هایی مانند حجم و زی-توده درختان را ندارد (Marzulli et al., 2020). امروزه روش‌های سنجش‌ازدوری قابلیت برطرف ساختن این مشکلات و برآورد مشخصه‌های درختان در سطوح مختلف را دارند (Soleimannejad et al., 2010). یکی از این روش‌ها استفاده از داده‌های ابر نقاط (Point cloud) برای شبیه‌سازی ساختار سه‌بعدی درختان است. ساختار سه‌بعدی درختان را می‌توان با استفاده از لیزر اسکنرها (Laser scanners)، عکس‌برداری (Photogrammetry) و یا ردیاب حرکت مغناطیسی (Magnetic motion tracker) تهیه کرد (Surovy et al., 2016).

در سال‌های اخیر عکس‌برداری، با توجه به مزایایی همچون نیاز به هزینه کمتر، سرعت بالا و تولید ابر نقاط با تراکم بالا، به‌عنوان یک روش نوین در برآورد مدل سه‌بعدی درختان مطرح شده است (Getzin et al., 2015; Miller et al., 2014). عکس‌برداری شامل روش‌های اندازه‌گیری و استخراج مشخصه‌های ظاهری و مکانی یک شی است که با گرفتن یک عکس یا

عکس برداری برد کوتاه در برآورد مشخصه‌های کمی درختان در مراحل مختلف رویشی انجام نشده است، در این پژوهش سعی شد به بررسی کارایی مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده از تصاویر گرفته‌شده با استفاده از دوربین گوشی هوشمند در برآورد مشخصه‌های دو-بعدی نهال‌ها از قبیل قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع، ارتفاع تاج و قطر متوسط تاج برای گونه‌های مختلفی از نهال‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ پرداخته شود. همچنین در راستای بررسی کارایی روش عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد مشخصه‌های سه‌بعدی نهال‌ها، مقادیر حجم تنه، حجم تاج و حجم کل برای هر نهال در آزمایشگاه اندازه‌گیری و با مقادیر برآوردی مقایسه شد.

مواد و روش

نهال‌های مورد بررسی

در این پژوهش از ۲۰ اصله نهال کوچک پرورش یافته در گلدان از گونه‌های متفاوت سوزنی‌برگ و پهن‌برگ استفاده شد. این نهال‌ها از نهالستان‌های شهرستان خرم‌آباد تهیه شد. لازم به ذکر است با توجه به این نکته که، اطلاع از مقدار دقیق حجم نهال‌ها در سنین اولیه رشد می‌تواند در برآورد مقدار رویش حجمی جاری و متوسط، رسم منحنی‌های رویش حجمی، تعیین سن بهره‌برداری برای گونه‌های تندرشد (با توجه به کوتاه بودن دوره رویشی) و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مؤثر باشد، در این پژوهش علاوه بر مشخصه دو بعدی، مشخصه‌های سه بعدی هر نهال نیز اندازه‌گیری و با مقادیر برآوردی مقایسه شد. با در نظر داشتن اینکه برای تعیین مقادیر واقعی مشخصه‌های سه بعدی مانند حجم نیاز به قطع نهال‌ها بود، در این پژوهش از نهال‌های پرورش یافته در گلدان استفاده شد. در جدول ۱ نام و تعداد گونه‌های مورد بررسی در این پژوهش ذکر شده است.

انجام داده‌اند. به‌طور مثال، (Marzulli et al. (2020 به برآورد قطر برابر سینه و حجم تنه درختان در یک قطعه نمونه با استفاده از تصاویر برداشت‌شده توسط تلفن همراه هوشمند پرداختند. (Piermattei et al. (2019 از تصاویر دوربین عکاسی برای تخمین موقعیت، قطر در ارتفاع برابر سینه و منحنی تنه درختان قرارگرفته در چهار قطعه نمونه استفاده کردند. (Roberts et al. (2018 در پژوهش خود به بررسی دقت تصاویر برداشت شده توسط یک دوربین عکاسی برای برآورد قطر برابر سینه درختان موجود در کمربند سبز شهری اطراف مرکز تحقیقات دانشگاه فلوریدا و درختان موجود در نه خیابان این شهر پرداختند. (Forsman et al. (2016 در پژوهشی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی توسط چند دوربین عکاسی متصل به یکدیگر را برای برآورد قطر برابر سینه درختان موجود در ۲۵ قطعه نمونه جنگلی مورد بررسی قرار دادند. (Miller et al. (2015 مشخصه‌های دو بعدی و سه بعدی ۳۰ نهال کاشته شده در گلدان را با استفاده از تصاویر دوربین دستی برآورد کردند. (Morgenroth et al. (2014 نیز قطر و ارتفاع یک نهال کاشته‌شده در گلدان و ۲ درخت بالغ رشد کرده در شرایط طبیعی را با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی تهیه‌شده از ابر نقاط عکس برداری برد کوتاه برآورد کردند. (Azizi et al. (2018 در پژوهش خود به بررسی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد زی-توده درختان تک‌پایه بلوط ایرانی پرداختند. بررسی نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش‌ها نشان داد که عکس برداری برد کوتاه زمینی می‌تواند به‌عنوان یک روش دقیق، سریع، کم هزینه و بدون نیاز به قطع درختان، جایگزین خوبی برای لیزر اسکنرها در برآورد مشخصه‌های دو بعدی و سه بعدی درختان باشد.

با توجه به مطالب فوق و این نکته که تا کنون پژوهش جامعی در کشور ایران در زمینه به‌کارگیری

جدول ۱- لیست گونه‌های مورد بررسی

تعداد	نام علمی	گونه‌ها
Number	Scientific name	Species
5	<i>Thuja orientalis L.</i>	سرو طبری Oriental arbor vitae
5	<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	سرو لاوسون Lawson's cypress
4	<i>Populus alba</i>	سپیدار Poplar
4	<i>Ailanthus altissima</i>	عرعر Ailanthus
2	<i>Fraxinus excelsior</i>	زبان گنجشک Ash

تلفن همراه مورد استفاده

عملیات عکس برداری در این پژوهش با استفاده از دوربین گوشی هوشمند iPhone 6s انجام شد. iPhone 6s از نظر عملکرد گرافیکی مجهز به تراشه Apple A9 و دارای یک کارت حافظه‌ای به حجم ۲ GiB است. این نوع از گوشی هوشمند دارای وزن ۱۴۳ گرم و صفحه نمایش ۴/۷ اینچ است. دوربین ۱۲ مگاپیکسلی این گوشی قابلیت برداشت تصاویر با وضوح تقریباً برابر با دوربین‌های عکاسی و مناسب برای تولید مدل‌های سه بعدی از اجسام را دارد (Lamont, 2015).

اندازه‌گیری مشخصه‌های مورد بررسی

برای صحت‌سنجی مشخصه‌های دو و سه بعدی برآورد شده نیاز است تا این مشخصه‌ها به صورت دقیق و میدانی نیز اندازه‌گیری شود. در این راستا قطر در ارتفاع میانه تنه و قطر تاج نهال‌ها به ترتیب با استفاده از کالیپر و متر نواری استفاده شد. همچنین با توجه به کوچک بودن ابعاد نهال‌ها، ارتفاع آن‌ها نیز توسط متر نواری اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری قطر متوسط تاج نهال‌ها، دو قطر کوچک و بزرگ توسط متر نواری

اندازه‌گیری و متوسط آن محاسبه شد. برای اندازه‌گیری حجم نهال‌ها که یک مشخصه سه بعدی است، از روش غوطه‌ورسازی در آب (Xylometry)، پیشنهاد شده توسط Miller et al. (2015) استفاده شد. در این راستا بلافاصله پس از انجام عملیات عکس برداری، نهال‌ها به آزمایشگاه منتقل و به قطعات کوچک ترخرد شد. سپس قطعات مربوط به ساقه اصلی و تاج پوشش هر نهال به صورت جداگانه بسته‌بندی و برای اشباع و جلوگیری از احتمال جذب آب در طول فرآیند اندازه‌گیری حجم به مدت ۲۴ ساعت در یک تشت آب غوطه‌ور شد (Miller et al., 2015). در نهایت با غوطه‌ورکردن قطعات در یک استوانه مدرج که نیمی از آن با آب پر شده بود و ثبت تغییرات مقدار حجم و وزن آب درون استوانه حجم دقیق هر قطعه و در نهایت هر نهال محاسبه شد. آمار توصیفی مربوط به اندازه‌گیری زمینی مشخصه‌های کمی در نظر گرفته شده از گونه‌های مختلف نهال بررسی شده در این بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- آمار توصیفی مشخصه‌های اندازه‌گیری شده

Table 2. Descriptive statistics of measured characteristics

حداقل Minimum	حداکثر Maximum	انحراف معیار Std. Deviation	میانگین Mean	تعداد Number	مشخصه Characteristic
1.08	2.83	0.59	1.99	20	قطر (سانتی متر) Diameter (cm)
93.21	172.80	23.52	131.44	20	ارتفاع (سانتی متر) Height (cm)
37.5	107	17.27	67.56	20	ارتفاع تاج (سانتی متر) Crown height (cm)
22.86	126.62	30.83	52.69	20	قطر متوسط تاج (سانتی متر) Medium crown diameter
41.87	402.07	99.32	199.82	20	حجم تنه (سانتی متر مکعب) Stem volume (cm ³)
73.04	245.39	62.18	157.38	20	حجم تاج (سانتی متر مکعب) Crown volume (cm ³)
138.84	625.28	149.03	357.20	20	حجم کل نهال (سانتی متر مکعب) Total volume (cm ³)

برداشت تصاویر

به شکلی تعیین شد که حداقل ۵۰ درصد هم پوشانی بین تصاویر متوالی وجود داشته باشد (Miller et al., 2015).

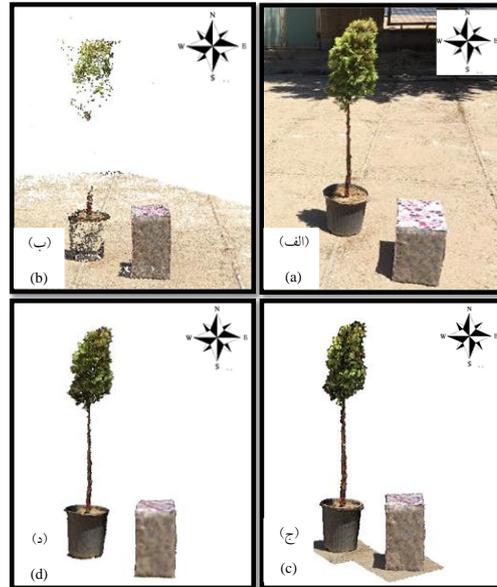
پردازش تصاویر

در این پژوهش از روش SfM-MVS برای ایجاد مدل سه بعدی ساختار نهال‌ها استفاده شد. مراحل انجام این روش به این صورت است که ابتدا در فرآیند بازسازی ساختار حرکتی (SfM) متغیرهای جهت‌یابی درونی (هندسه داخلی دوربین مانند مدل اعوجاج لنز) و بیرونی (موقعیت مکانی و جهت برداشت تصاویر) برای ایجاد ابر نقطه خام اولیه از نهال‌ها در ارتباط با محل قرارگیری دوربین با استفاده از الگوریتم توصیف و تشخیص ترکیب در نرم‌افزار Agisoft، محاسبه می‌شوند (Barazzetti et al., 2010). در مرحله بعد از آنجایی که مدل‌های تولید شده در نرم‌افزار بدون هر گونه مقیاس مکانی یا موقعیت جغرافیایی است، برای کالیبراسیون این مدل‌ها از ابعاد یک جعبه پلاستیکی مکعبی شکل که قبل از عکس برداری در کنار هر یک از نهال‌ها قرار داده

برای انجام عملیات عکس برداری از نهال‌ها، تلفن همراه بر روی یک سه پایه نصب و تقریباً در ارتفاع برابر سینه (۱/۳۰ متری) و به صورت افقی نصب شد. در این پژوهش برای تصویربرداری از روش عکس برداری ساکن - حرکت استفاده شد. در این روش، دوربین به صورت پایدار در هر نقطه قرار گرفته و اقدام به عکس برداری از نهال شد، سپس برای ادامه روند عکس برداری دوربین به نقاط بعدی انتقال داده شد (Liang et al., 2014; Mokroš et al., 2018). برای تعیین نقاط عکس برداری از نهال‌ها از روش پیشنهادی Morgenroth et al. (2014) و Miller et al. (2015) استفاده شد. بر اساس روش پیشنهادی ایشان دو دایره متحدالمرکز اطراف هر نهال ترسیم و بر روی محیط این دوایر و در فواصل منظم اقدام به عکس برداری از هر نهال شد. فاصله دو دایره از هر نهال به شکلی تعیین شد که در تصاویر گرفته شده، تمامی نهال در قاب تصویر موجود باشد. فواصل نقاط عکس برداری در محیط دوایر

داخلی نرم افزار، مشخصه‌هایی از نهال‌ها که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است، مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی تولید شده برای یک نهال در شکل ۱ و کلیه مراحل انجام این پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است.

شده بود، استفاده شد (Miller et al., 2015). سپس برای متراکم‌سازی ابر نقاط خام تولید شده در فرآیند SfM از فرآیند روی هم‌گذاری تصاویر چندوجهی (MVS) استفاده شد (Surový et al., 2016). در گام بعد اقدام به ایجاد مدل مش (Mesh) با استفاده از ابر نقاط متراکم شده شد. در نهایت با استفاده از ابزارهای



شکل ۱- نمونه‌ای از مدل‌های سه‌بعدی تولید شده. الف) تصویر اولیه، ب) ابر نقاط خام، ج) ابر نقاط متراکم شده و د) مش تولید شده

Figure 1. An example of a three-dimensional model, a) Original image, b) Raw point cloud, c) Dense point cloud, and d) Generated mesh

$$RMSE\% = \frac{RMSE}{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{n}} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n} \quad \text{رابطه (۳)}$$

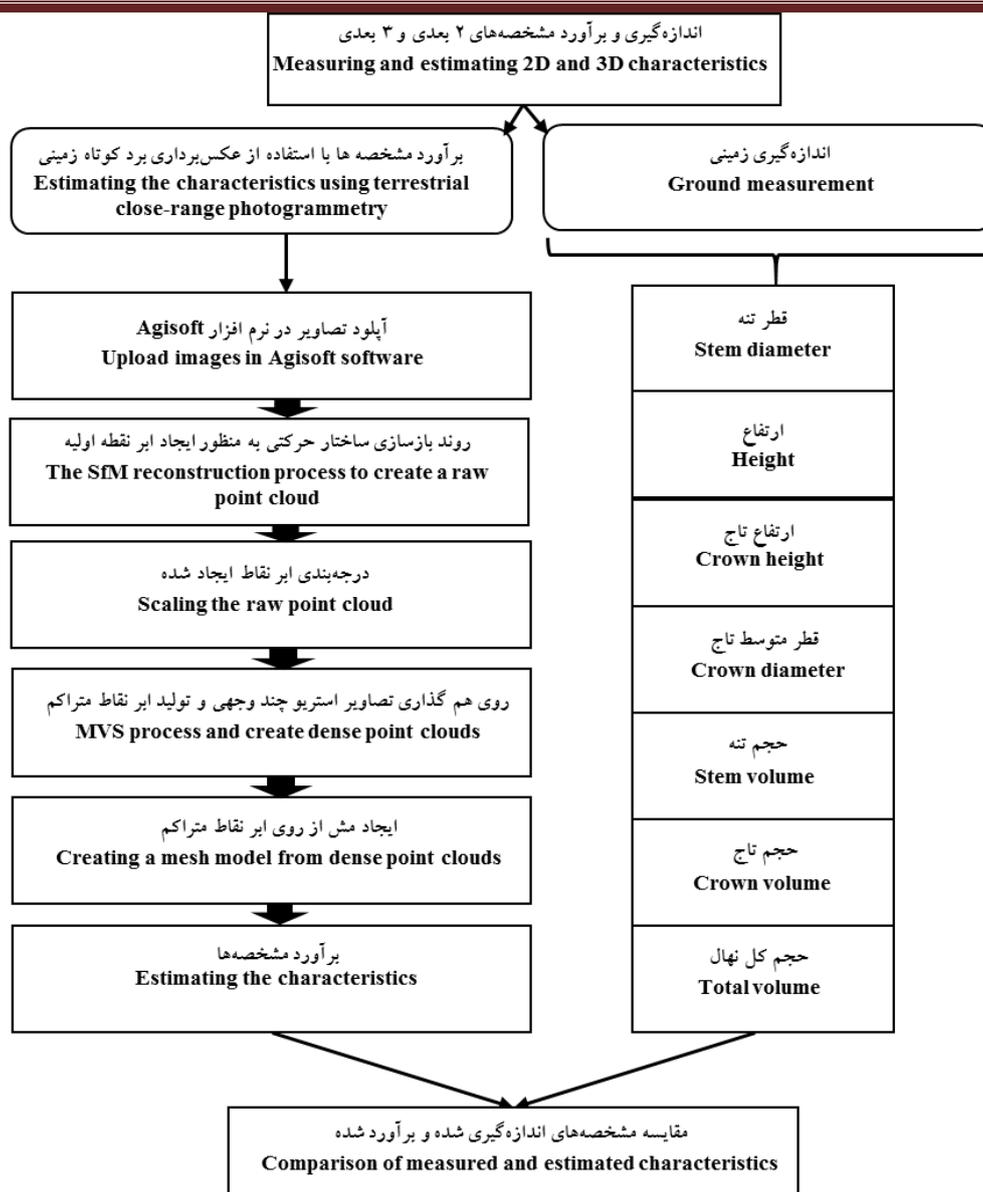
$$Bias\% = \frac{Bias}{\frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i}{n}} \times 100 \quad \text{رابطه (۴)}$$

در روابط فوق، n تعداد کل نهال‌ها، y_i مقدار مشخصه‌های برآوردی و \hat{y}_i مقدار حقیقی مشخصه‌ها است (Mokroš et al., 2018).

تجزیه و تحلیل آماری

برای مقایسه داده‌های برآوردی و مرجع، از آماره‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، درصد مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE%) (رابطه ۱ و ۲) و درصد اریبی (Bias%) (رابطه ۳ و ۴) استفاده شد.

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



شکل ۲- روندنمای انجام پژوهش

Figure 2. Research flowchart

مقادیر واقعی داشته‌اند (شکل ۳). بررسی دیگر آماره-های مورد بررسی نیز نشان داد که با توجه به مقدار $RMSE\%$ و $Bias\%$ محاسبه شده (کمتر از ۱۰ درصد)، مشخصه‌های دوبعدی برآورد-شده با استفاده از تصاویر و مدل مورد استفاده از دقت مناسبی برخوردار بوده‌اند (جدول ۳). لازم به ذکر است که در بین مشخصه‌های دوبعدی مورد بررسی قطر در ارتفاع میانه تنه نهال‌ها با مقدار $RMSE\%$ برابر با ۱/۱۹ درصد کمترین مقدار خطا

نتایج

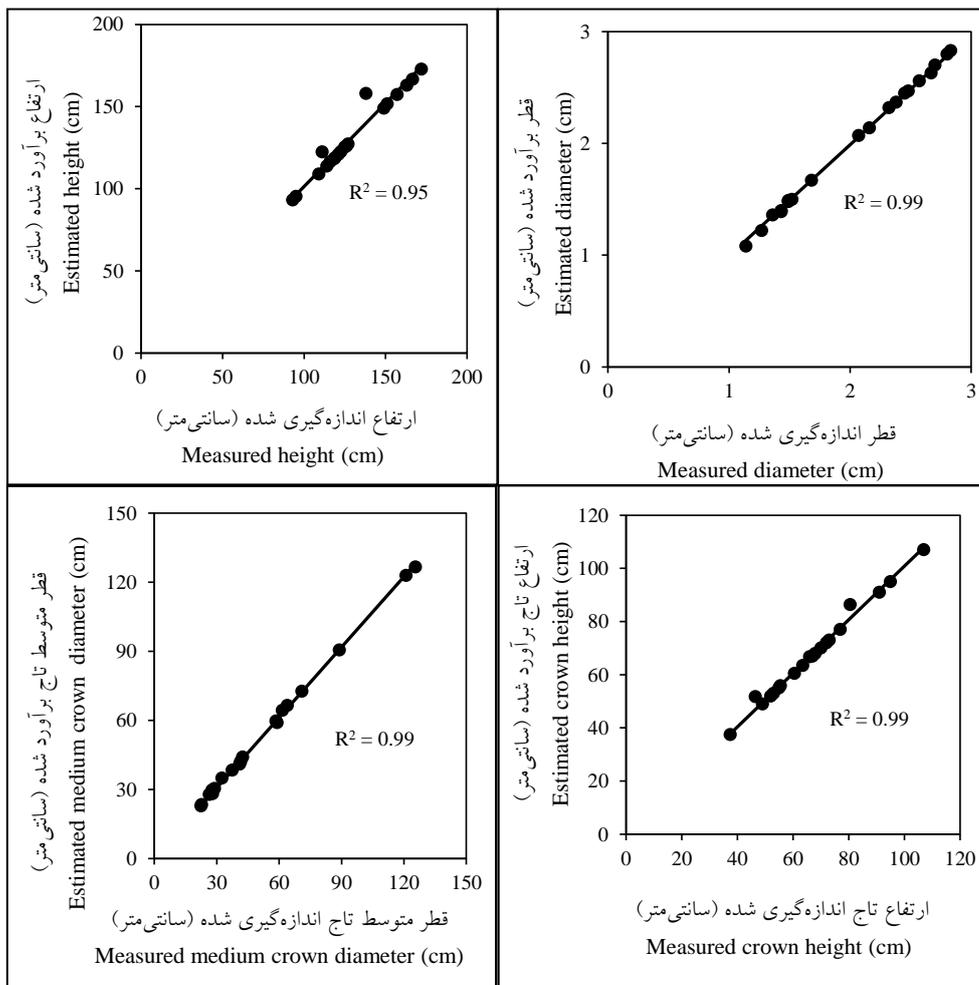
نتایج مقایسه مشخصه‌های دوبعدی برآوردشده با استفاده از تصاویر با واقعیت زمینی نتایج بررسی ارتباط مشخصه‌های دوبعدی برآوردشده با مقادیر واقعیت زمینی با استفاده از رگرسیون خطی، نشان داد که مشخصه‌های قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع کل، ارتفاع تاج و قطر متوسط تاج نهال‌ها به ترتیب با R^2 برابر با ۰/۹۹، ۰/۹۵، ۰/۹۹ و ۰/۹۹ رابطه معنی‌داری با

و ارتفاع با مقدار RMSE% برابر با ۳/۹۸ درصد
بیشترین مقدار خطا را داشته‌اند (جدول ۳).

جدول ۳- آماره‌های مربوط به مقایسه مشخصه‌های دوبعدی برآوردی و مقادیر اندازه‌گیری شده (سانتی‌متر)

Table 3. Statistics comparing between, estimated two-dimensional characteristics and reality values (cm)

Bias%	Bias	RMSE%	RMSE	تعداد Number	مشخصه Characteristic
-0.77	-0.01	1.19	0.02	20	قطر در ارتفاع میانه تنه Diameter at the middle height of stem
1.36	1.76	3.98	5.16	20	ارتفاع Height
0.92	0.61	2.66	1.78	20	ارتفاع تاج Crown height
2.52	1.29	2.97	1.52	20	قطر متوسط تاج Crown diameter



شکل ۳- رگرسیون خطی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشخصه‌های دوبعدی

Figure 3. Linear regression between estimated values and ground measurement of two-dimensional characteristics

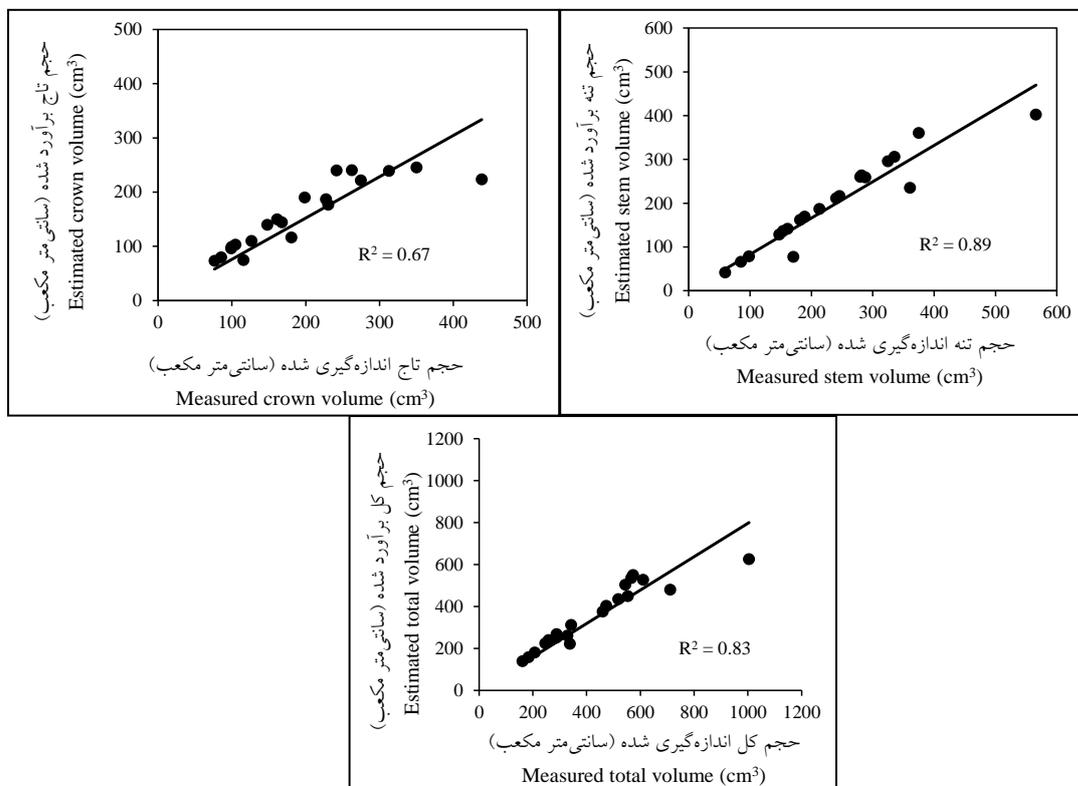
نتایج مقایسه مشخصه‌های سه‌بعدی برآورد شده با استفاده از تصاویر با واقعیت زمینی همانگونه که در شکل ۴ نمایش داده شده است در بین مشخصه‌های سه بعدی مورد بررسی، حجم تنه با R^2 برابر با ۰/۸۹ و حجم تاج با R^2 برابر ۰/۶۷ دارای بیشترین و کمترین مقدار R^2 بوده‌اند. همچنین با توجه

به نتایج به دست آمده مشخص شد که کمترین مقدار آماره‌های $RMSE\%$ و $Bias\%$ مربوط به مشخصه حجم تنه (۲۳/۰۸ و ۱۶/۰۴- درصد) و بیشترین مقدار مربوط به حجم تاج (۳۱/۹۲ و ۱۹/۲۷- درصد) بوده است (جدول ۴).

جدول ۴- آماره‌های مربوط به مقایسه مشخصه‌های سه‌بعدی برآوردی و مقادیر واقعی (سانتی‌متر مکعب)

Table 4. Statistics comparing between, estimated three-dimensional characteristics and reality values (cm^3)

Bias%	Bias	RMSE%	RMSE	تعداد Number	مشخصه Characteristic
-16.04	-38.15	23.08	54.95	20	حجم تنه Stem Volume
-19.27	-37.57	31.92	62.24	20	حجم تاج Crown Volume
-17.49	-75.76	26.33	114.03	20	حجم کل نهال Total Volume



شکل ۴- رگرسیون خطی بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده مشخصه‌های سه بعدی

Figure 4. Linear regression between estimated values and ground measurement of three -dimensional characteristics

بحث

Bias% را برای بیان دقت در برآورد قطر برابر سینه درختان یک توده جنگلی را به ترتیب ۵/۵۸ و ۱/۹۹- گزارش کردند، البته ذکر این نکته ضروری است که در این پژوهش‌ها، مشخصه‌های درختان بالغ مورد بررسی قرار گرفته است.

در زمینه برآورد مشخصه‌های سه بعدی نهال با استفاده عکس برداری برد کوتاه زمینی، نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین مقدار دقت مربوط به برآورد حجم تنه و کمترین مقدار دقت مربوط به برآورد حجم تاج بوده است، ضمن اینکه مقدار دقت برآورد مشخصه‌های سه بعدی از مشخصه‌های دوبعدی کمتر بود. با توجه به شکل نامنظم تاج درختان و وجود فضای خالی بین شاخ و برگ نهال‌ها مقدار حجم برآوردی برای این مشخصه در مقایسه با حجم واقعی محاسبه شده از طریق غوطه-ورسازی متفاوت بود و از آنجایی که حجم کل هر نهال از مجموع حجم تنه و حجم تاج محاسبه شد، این اختلاف تأثیر خود را بر مقدار حجم کل برآوردی نیز نشان داد. در مورد حجم تنه نیز با توجه به کم بودن قطر نهال‌ها به خصوص در قسمت اتصال تنه به تاج حجم مربوط به قسمت‌های انتهایی تنه با اندکی اختلاف برآورد شد. از پژوهش‌های محدود انجام شده در زمینه برآورد حجم نهال‌های درختی با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی، می‌توان به پژوهش Miller et al. (2015) اشاره کرد. ایشان در نتایج پژوهش خود مقدار RMSE% و Bias% را برای تعیین دقت مقادیر برآوردی حجم تنه ۱۲/۳۳ و ۸/۲-، حجم تاج ۴۷/۵۳ و ۳۳/۷۵- و حجم کل نهال‌ها ۱۸/۵۳ و ۱۴/۵۶- گزارش کردند، همچنین ایشان نیز به این نتیجه رسیدند که دقت روش عکس برداری برد- کوتاه زمینی در برآورد مشخصه‌های دو بعدی بیشتر از مشخصه‌های سه بعدی است.

استفاده از روش عکس برداری برد کوتاه زمینی برای برآورد مشخصه‌های درختان یک روش جدید و کاربردی است. در این میان استفاده از دوربین گوشی هوشمند به عنوان یک ابزار غیرتخصصی و کم هزینه که تقریباً در دسترس عموم افراد جامعه قرار دارد، یک روش بسیار ساده و جدید برای برآورد مشخصه‌های دو و سه بعدی درختان جنگلی است (Marzulli et al., 2020). در این راستا در این پژوهش به بررسی کارایی عکس برداری برد کوتاه زمینی در کنار استفاده از روش SfM-MVS برای برآورد مشخصه‌های مختلف نهال-های چند گونه سوزنی برگ و پهن برگ پرداخته شد.

نتایج اندازه گیری مشخصه‌های دوبعدی نهال‌های درختی مورد بررسی در این بررسی با استفاده از تصاویر برداشت شده توسط دوربین iPhone 6s نشان داد که مشخصه‌های دوبعدی مانند قطر، قطر متوسط تاج، ارتفاع تاج و ارتفاع نهال، برآورد شده با استفاده از این تصاویر و مدل مورد استفاده از دقت بالایی برخوردار بوده‌اند (مقدار R^2 بالاتر از ۰/۹۰ و RMSE% و Bias% کمتر از ۱۰ درصد). این نتایج در راستای نتایج به دست آمده در پژوهش انجام شده توسط Morgenroth et al. (2020) است. ایشان نیز در نتایج پژوهش خود دقت عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد قطر و ارتفاع تعدادی نهال و درختان بالغ را به ترتیب با مقدار RMSE% برابر با ۳/۷ درصد و ۲/۵۹ درصد گزارش کردند. (Miller et al. (2015) نیز به دقت بالای روش عکس برداری زمینی در برآورد مشخصه‌های دوبعدی درختان اذعان داشتند. (Liang et al. (2015, Forsman et al. (2016, Roberts et al. (2018, Piermattei et al. (2019) نیز به دقت بالای روش عکس برداری برد کوتاه زمینی در برآورد قطر برابر سینه درختان اشاره کردند. (Marzulli et al. (2020) مقدار RMSE% و

پیشنهاد کرد در پژوهش‌های آتی این روش در برآورد مشخصه‌های مختلف درختان بالغ در سطح تک‌درخت و توده در مناطق مختلف به کار گرفته شود. همچنین با توجه به مرور منابع انجام شده مشخص شد که عوامل متعددی مانند تعداد تصاویر برداشت شده، مقدار هم-پوشانی تصاویر، کیفیت تصاویر، زاویه عکس برداری، شرایط محیطی هنگام عکس برداری و ابعاد درختان در دقت مدل سه بعدی تهیه شده تأثیرگذار است، از این رو می‌توان در پژوهش‌های بعدی به بررسی تأثیر این عوامل در دقت مدل سه بعدی تهیه شده پرداخت.

با توجه به نتایج به دست آمده از این پژوهش می‌توان بیان داشت که مدل سه بعدی تهیه شده با استفاده از عکس برداری برد کوتاه زمینی توسط دوربین گوشی هوشمند iPhone 6s و روش SfM-MVS قابلیت برآورد مشخصه‌هایی مانند قطر در ارتفاع میانه تنه، ارتفاع نهال، ارتفاع تاج، قطر متوسط تاج و حجم تنه نهال‌ها را با دقت بالایی داشته است اما در برآورد مشخصه حجم تاج از دقت مناسبی برخوردار نبوده است. با در نظر داشتن مزایای این روش از قبیل کم هزینه بودن تجهیزات و تخصص کم مورد نیاز می‌توان

References

- Azizi, Z.; Hosseini, A.; Iranmanesh, Y., Estimating Biomass of Single Oak Trees Using Terrestrial Photogrammetry. *Journal of Environmental Science and Technology* **2017**, *19* (4), 81-93.
- Barazzetti, L.; Scaioni, M.; Remondino, F., Orientation and 3D modelling from markerless terrestrial images: combining accuracy with automation. *The Photogrammetric Record* **2010**, *25* (132), 356-381.
- Forsman, M.; Börlin, N.; Holmgren, J., Estimation of tree stem attributes using terrestrial photogrammetry with a camera rig. *Forests* **2016**, *7* (3), 61.
- Getzin, S.; Nuske, R. S.; Wiegand, K., Using unmanned aerial vehicles (UAV) to quantify spatial gap patterns in forests. *Remote Sensing* **2014**, *6* (8), 6988-7004.
- Jaakkola, A.; Hyypä, J.; Kukko, A.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Lehtomäki, M.; Lin, Y., A low-cost multi-sensoral mobile mapping system and its feasibility for tree measurements. *ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **2010**, *65* (6), 514-522.
- Lamont, I., Google Drive & Docs in 30 Minutes: The unofficial guide to the new Google Drive. *Docs, Sheets & Slides/Ian Lamont* **2015**.
- Liang, X.; Jaakkola, A.; Wang, Y.; Hyypä, J.; Honkavaara, E.; Liu, J.; Kaartinen, H., The use of a hand-held camera for individual tree 3D mapping in forest sample plots. *Remote Sensing* **2014**, *6* (7), 6587-6603.
- Liang, X.; Kankare, V.; Hyypä, J.; Wang, Y.; Kukko, A.; Haggrén, H.; Yu, X.; Kaartinen, H.; Jaakkola, A.; Guan, F., Terrestrial laser scanning in forest inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **2016**, *115*, 63-77.
- Liang, X.; Wang, Y.; Jaakkola, A.; Kukko, A.; Kaartinen, H.; Hyypä, J.; Honkavaara, E.; Liu, J., Forest data collection using terrestrial image-based point clouds from a handheld camera compared to terrestrial and personal laser scanning. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing* **2015**, *53* (9), 5117-5132.
- Luhmann, T.; Robson, S.; Kyle, S.; Harley, I., *Close range photogrammetry: principles, techniques and applications*. Whittles publishing Dunbeath: 2006; Vol. 3.
- Marzulli, M. I.; Raunonen, P.; Greco, R.; Persia, M.; Tartarino, P., Estimating tree stem diameters and volume from smartphone photogrammetric point clouds. *Forestry: An International Journal of Forest Research* **2020**, *93* (3), 411-429.
- Mikita, T.; Janata, P.; Surový, P., Forest stand inventory based on combined aerial and terrestrial close-range photogrammetry. *Forests* **2016**, *7* (8), 165.
- Miller, J.; Morgenroth, J.; Gomez, C., 3D modelling of individual trees using a handheld camera: Accuracy of height, diameter and volume estimates. *Urban Forestry & Urban Greening* **2015**, *14* (4), 932-940.
- Mokroš, M.; Liang, X.; Surový, P.; Valent, P.; Čerňava, J.; Chudý, F.; Tunák, D.; Saloň, Š.;

- Merganič, J., Evaluation of close-range photogrammetry image collection methods for estimating tree diameters. *ISPRS International Journal of Geo-Information* **2018**, 7 (3), 93.
- Moradi, G.; Pir Bavaghar, M.; Shakeri, Z.; Fatehi, P., Leaf area index estimation in the northern Zagros forests using remote sensing (Case study: a part of Baneh forests). *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 6 (4), 679-693.
- Morgenroth, J.; Gómez, C., Assessment of tree structure using a 3D image analysis technique—A proof of concept. *Urban Forestry & Urban Greening* **2014**, 13 (1), 198-203.
- Piermattei, L.; Karel, W.; Wang, D.; Wieser, M.; Mokroš, M.; Surový, P.; Koreň, M.; Tomašík, J.; Pfeifer, N.; Hollaus, M., Terrestrial structure from motion photogrammetry for deriving forest inventory data. *Remote Sensing* **2019**, 11 (8), 950.
- Roberts, J. W.; Koeser, A. K.; Abd-Elrahman, A. H.; Hansen, G.; Landry, S. M.; Wilkinson, B. E., Terrestrial photogrammetric stem mensuration for street trees. *Urban Forestry & Urban Greening* **2018**, 35, 66-71.
- Soleimannejad, L.; Bonyad, A. E.; Naghdi, R.; Latifi, H., Classification of quantitative attributes of Zagros forest using Landsat 8-OLI and Random Forest algorithm (Case study: protected area of Manesht forests). *Journal of Forest Research and Development* **2019**, 4 (4), 415-434.
- Surový, P.; Yoshimoto, A.; Panagiotidis, D., Accuracy of reconstruction of the tree stem surface using terrestrial close-range photogrammetry. *Remote Sensing* **2016**, 8 (2), 123.
- Ullman, S., The interpretation of structure from motion. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B. Biological Sciences* **1979**, 203 (1153), 405-426.
- Wu, X.; Zhou, S.; Xu, A.; Chen, B., Passive measurement method of tree diameter at breast height using a smartphone. *Computers and Electronics in Agriculture* **2019**, 163, 104875.

Estimating the quantitative characteristics of seedlings using terrestrial close-range photogrammetry

H. Sadeghian¹, H. Naghavi^{*2}, R. Maleknia³ and J. Sosani⁴

1- Ph.D Student of Forestry, Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (h.s1370@yahoo.com)

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

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

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

Received: 11.01.2021 Accepted: 28.02.2021

Abstract

This study aims to estimate the different two- and three-dimensional characteristics seedlings using terrestrial close-range photogrammetry. Three-dimensional models were prepared using images taken by a smartphone camera and the process of “Structure from Motion with Multi View Stereo photogrammetry” (SfM-MVS). To evaluate the accuracy of the obtained results, characteristics such as diameter at the middle height of stem, height, crown height, crown diameter, stem volume, crown volume and total volume of each seedling were measured. According to the RMSE% and the calculated Bias% (less than 10%), the images and model used to estimate the two-dimensional characteristics of seedlings, had factual accuracy. Also, among the three-dimensional characteristics of the seedlings, the highest and lowest accuracy related to stem volume with $R^2 = 0.89$, RMSE% = 23.08% and crown volume with $R^2 = 0.67$, RMSE% = 31.92% respectively. Overall, it can be concluded that the images taken by the smartphone camera and the SfM-MVS method used in this study have remarkable accuracy to estimate characteristics of seedling such as diameter at the middle height of stem, height, crown height, crown diameter and stem volume, However, it is not accurate enough to estimate the crown volume characteristic.

Keywords: Point clouds, Volume, Structure-from-Motion-Multi-View Stereo-photogrammetry, Seedling.

* Corresponding author

شماره تماس: ۰۹۱۶۳۶۷۸۶۳۵

Tel: +989163678635

نویسنده مسئول

تأثیر ارتفاع از سطح دریا بر ویژگی‌های کمی و کیفی و برآورد مقدار میوه بنه (*Pistacia atlantica* Desf.) توده‌های جنگلی شهرستان سردشت، استان آذربایجان غربی

عایشه اسماعیلی^۱، سیدرستم موسوی میرکلا*^۲، احمد علیجانپور^۳، مرضیه حجاریان^۴ و سجاد قنبری^۵

۱- دانش‌آموخته دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (Ayshe.esmaili@gmail.com)

۲- استادیار، 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. (a.alijanpour@urmia.ac.ir)

۴- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. (m.hajjarian@urmia.ac.ir)

۵- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تبریز، اهر، ایران. (Ghanbarisajad@tabrizu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۲/۰۹

چکیده

هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های بنه در طبقات ارتفاعی و برآوردی از مقدار تولید میوه آن در توده‌های مورد بررسی است. در این بررسی سه طبقه ارتفاعی از جنگل‌های سردشت (کمتر از ۱۴۰۰ متر، بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر) در سامان عرفی شش روستا انتخاب و در توده‌های جنگلی روستاهای مذکور ۲۷ خط نمونه با طول نامساوی به صورت تصادفی برداشت شد. برداشت خط نمونه مشخصه‌های نوع گونه، ارتفاع درخت، قطر برابر سینه، قطر کوچک و بزرگ تاج، مبدأ گونه، وضعیت سلامت اندازه‌گیری شد. همچنین مقدار میوه تولید شده ۸۹ اصله از پایه‌های بنه در طبقات قطری مختلف مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که در توده‌های مورد بررسی بنه ۱۱/۱ درصد آمیختگی را به خود اختصاص داده و میانگین قطر برابر سینه و ارتفاع پایه‌های آن به ترتیب در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ و ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر بیشترین مقدار را دارد. بیشترین درصد دانه‌زادی پایه‌های بنه در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشترین درصد سالم بودن پایه‌ها در طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر مشاهده شد. دو مشخصه ارتفاع و متوسط قطر تاج با مقدار میوه تولیدی هر پایه به طور معنی‌داری همبستگی مثبت نشان دادند. این پژوهش نشان داد که با افزایش ارتفاع از سطح دریا از فراوانی گونه بنه کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بنه، سامان عرفی، جنگل‌های سردشت، میوه.

مقدمه

بی‌رویه واقع شده است. گونه بنبه از خانواده Anacardiaceae، درختی است خزان‌کننده و نورپسند با تاجی متراکم و تقریباً کروی، به‌ندرت درختچه‌ای، مولد صمغ و برگ‌های غالباً شانه‌ای که بیشتر در دامنه‌های جنوبی دیده می‌شود (Mozaffarian, 2010). سطح پراکنش این گونه در ایران حدود 2/4 میلیون هکتار ذکر شده است (Tahmasebi et al., 2001). در خصوص ویژگی‌های کمی و کیفی بنبه در شرایط مختلف فیزیوگرافی پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان انجام شده است. (Falahchahi et al., 2009) در بررسی خود در جنگل‌های ماه‌پرویز یاسوج دریافتند که دامنه ارتفاعی درختان دانه-زاد بنبه ۵ الی ۱۰ متر و در شاخه‌زادها بین ۲ تا ۸ متر است و قطر برابر سینه بیشتر درختان در کلاسه قطری بین ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متری پراکنش دارند. Bagheri et al. (2013) در پژوهش خود در پارک ملی خجیر نشان دادند که بیشترین تعداد درختان، ارتفاع زادآوری و بهترین وضعیت سلامت برگ در دامنه‌های شمالی و در ارتفاع ۱۶۰۰-۱۵۰۰ متر دیده می‌شود. همچنین بیشترین ارتفاع و قطر برابر سینه در ارتفاع ۱۵۰۰-۱۴۰۰ متر ثبت شد. (Abdelkrim et al., 2014) در منطقه شهران الجزایر نشان دادند گونه بنبه از نظر اکولوژیکی یک گونه بسیار متحملی است که با شرایط سخت محیطی تطابق بسیار خوبی دارد و با توجه به این‌که منطقه مورد بررسی دارای متوسط بارش سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر است، رشد آن در ارتفاع ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر از سطح دریا بیشتر است. Iranmanesh et al. (2019) در جنگل‌های چهارمحال و بختیاری نشان دادند که قطر متوسط تاج، قطر برابر سینه و ارتفاع کل درختان تأثیر معنی‌داری در تولید سقز دارد. Yousefi et al. (2020) بیان کردند که کاهش رشد درخت بنبه در اثر تنش ایجاد شده طی برداشت رزین محسوس است.

رشته کوه زاگرس به‌دلیل جذب رطوبت ابرهای باران‌زا از نواحی غربی با مبدأ دریای مدیترانه، شرایط لازم را برای استقرار و گسترش پوشش جنگلی به‌وجود آورده است. جنگل‌های این ناحیه از پیرانشهر در آذربایجان غربی شروع و در امتداد زاگرس تا اطراف جهرم و فسا در استان فارس ادامه می‌یابد (Marvi Mohajer, 2013; Moayeri et al., 2019). یکی از کارکردهای مهم جنگل‌های زاگرس، کارکرد اجتماعی-اقتصادی این جنگل‌ها و نقش آن در معیشت و اقتصاد خانوارهای روستایی و جنگل‌نشین است (Henareh Khalyani et al., 2012). در دهه‌های اخیر به موازات رشد جمعیت و افزایش تعداد دام در جنگل‌های زاگرس، تخریب جنگل‌ها نیز به‌منظور توسعه زمین‌های کشاورزی و تأمین سوخت افزایش یافته است. از سوی دیگر، هم-زمان با افزایش سیر تخریب‌ها، افزایش فقر و بیکاری جوامع محلی سبب تشدید بهره‌برداری‌های بی‌رویه از منابع جنگلی شده است که این عوامل از عمده‌ترین دلایل تخریب جنگل در حوضه رویشی زاگرس هستند (Soltani et al., 2012). در این حوزه رویشی درختان انگشت‌شماری وجود دارند که فاقد محصولات غیرچوبی قابل استفاده انسان و دام هستند و از این نظر جنگل‌های زاگرس از موقعیت ویژه‌ای در بین نواحی رویشی ایران برخوردار است. این محصولات به‌طور مستقیم و غیرمستقیم نقش مهمی در اقتصاد خانوار و در سطح وسیع‌تر در اقتصاد ملی ایفا می‌کنند و در کاهش فقر نواحی روستایی با منابع جنگلی بسیار مؤثرند (Stryamets, 2012). در میان گونه‌های درختی و درختچه‌ای زاگرس، بنبه به‌دلیل ویژه‌گی ممتاز آن، به-خصوص در زمینه تولید سقز و میوه، یکی از باارزش‌ترین گونه‌های جنگلی زاگرس محسوب می‌شود که در طول ادوار گذشته همواره مورد بهره‌برداری‌های

مرطوب محسوب می‌شود. مساحت جنگل‌های سردشت بالغ بر ۸۰۰۰۰ هکتار است (Beygi et al., 2020).

مهم‌ترین گونه‌های جنگلی در این ناحیه سه گونه بلوط مازودار (*Q. infectoria*)، ویول (*Q. libani*) و برودار (*Q. persica*) و گونه‌های همراه از قبیل بنه (*Pistacia atlantica*)، انجیر (*Ficus carica*)، انار (*Punic granatum*)، آلوکک (*Prunus avium* sp)، گلابی (*Pyrus kordata*)، انگور (*Vitis* sp)، زالزالک (*Crataegus* sp)، بادام (*Amygdalus* sp.) و افرا کیکم (*Acer monspessulanum*) است (Mousavi, 2012).

آماربرداری

در این بررسی با توجه به وضعیت پراکنش ارتفاعی جنگل‌های سردشت ابتدا جنگل‌های این منطقه به سه طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۴۰۰ متر، بین ۱۰۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر تقسیم شد. در هر طبقه ارتفاعی، جنگل‌های سامان عرفی دو روستا به‌عنوان نمونه انتخاب و در مجموع شش روستا مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

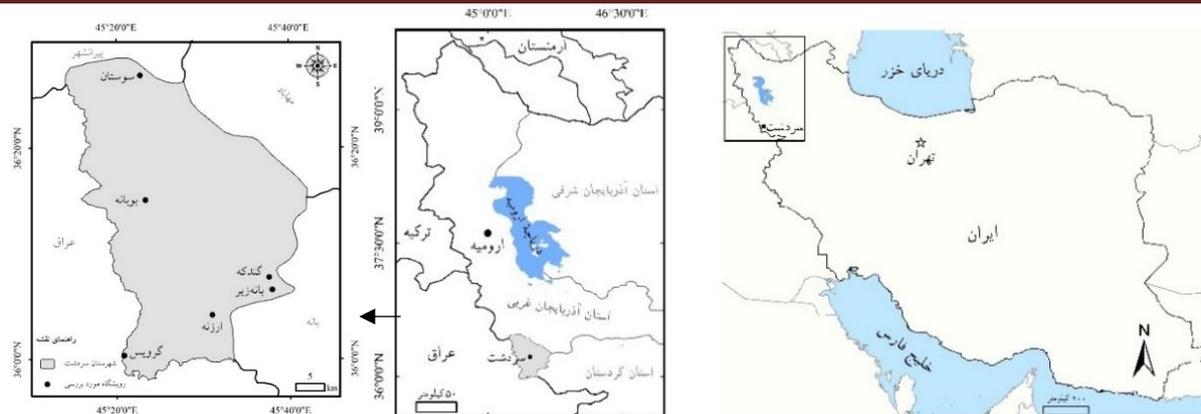
برای جمع‌آوری ویژگی‌های رویشی توده‌های جنگلی مورد بررسی از روش خط‌نمونه استفاده شد. این روش از نظر هزینه و دقت در جنگل‌های زاگرس به‌عنوان یک روش مناسب توصیه شده است (Erfanifard, 2013). ابتدا جنگل‌گردشی دقیقی در منطقه مورد نظر و توده‌های جنگلی روستاهای منتخب انجام شده و نقطه شروع اولین خط‌نمونه به‌صورت تصادفی بر روی نقشه و عرصه مشخص شد. سپس با توجه به وضعیت منطقه خط‌نمونه‌ها با فاصله ۱۰۰۰ متر از هم و با آزمون صفر درجه (در جهت شمال) پیاده شدند. لیست روستاها، موقعیت جغرافیایی، طبقه ارتفاعی و تعداد خط‌نمونه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

(Faraji et al., 2021) نشان دادند که عامل ارتفاع از سطح دریا یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر استقرار زادآوری و رشد نهال‌ها راش شرقی در روستاها محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن میانگین تعداد در هکتار و متوسط تولید هر پایه، حدود ۱۹۰ کیلوگرم میوه در هکتار تولید می‌شود. با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی استفاده از محصولات غیرچوبی جنگل، تدوین روش‌های درست بهره‌برداری از این منابع با مشارکت مردم، تولید و استمرار این فرآورده‌ها را تضمین خواهد کرد. همچنین به‌علت آن که منبع درآمد مستمری در کنار کشاورزی و دامداری برای مردم محلی است، تعلق خاطر به وجود خواهد آورد که در نهایت منجر به حفاظت مستمر جنگل‌ها خواهد شد (Mahdavi, 2011). انجام این اصل بدون شناخت ویژگی‌های زیستی این منابع و چگونگی به فعل درآوردن آن امکان‌پذیر نخواهد بود (Mahdavi, 2009). از این رو هدف از این پژوهش بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی و برآورد میوه توده‌های بنه برای مدیریت بهینه جنگل‌های مورد بررسی براساس وضعیت موجود است. نتایج این پژوهش در ارتباط با طبقات مختلف ارتفاعی می‌تواند در حفظ، بازسازی و استقرار توده‌های با ارزش بنه مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

شهرستان سردشت با وسعتی بالغ بر ۱۴۱۱ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان آذربایجان غربی و در طول جغرافیایی $45^{\circ}28'40''$ شرقی و عرض جغرافیایی $36^{\circ}9'6''$ شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا ۱۵۱۰ متر، میانگین بارندگی سالانه آن ۸۰۷ میلی‌متر و دمای سالانه $13/7$ درجه سانتی‌گراد است. همچنین شاخص دومارتن برای این منطقه ۳۴ و جزء مناطق



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure 1. Location of the study area

جدول ۱ - اطلاعات پایه روستاهای مورد بررسی

Table 1. Basic information of the studied villages

تعداد ترانسکت Number of transects	موقعیت جغرافیایی Geographic location	رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level
4	36°01'11"N 45°31'03"E	ارزنه Arzane	<1000
3	36°00'21"N 45°20'52"E	گرویس Garvis	
6	36°06'33"N 45°37'59"E	گندکه Gandke	1000 - 1400
5	36°07'44"N 45°37'38"E	بانہ زیر Banazer	
7	36°26'52"N 45°22'46"E	سوستان Sostan	>1400
7	36°15'04"N 45°23'21"E	بوبانه Bobane	

۱۴۰۰، ۱۱ ترانسکت و برای ارتفاع بالای ۱۴۰۰ متر ۱۴ ترانسکت برداشت شد. همچنین مقدار میوه تولیدشده و ویژگی‌های کمی ۸۹ اصله از پایه‌های بنه در طبقات قطری مختلف در امتداد خط نمونه‌های پیاده شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از جنگل ابتدا نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی آن‌ها با آزمون لون انجام شد و برای مقایسه متغیرهای کمی از تجزیه واریانس یک طرفه

در برداشت خط نمونه، در امتداد خط مورد نظر حرکت کرده و در طول مسیر خط نمونه، درختانی که تنه یا بخشی از تاج آن‌ها خط نمونه را قطع می‌کرد، مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند. در این درختان اطلاعاتی مانند: نوع گونه‌ها، ارتفاع درخت، قطر برابر سینه، قطر کوچک و بزرگ تاج، مبدأ گونه، وضعیت سلامت و فاصله بین درختان اندازه‌گیری و برداشت شد. خط نمونه‌ها ممتد بوده و تعداد و طول آن‌ها بستگی به طول و عرض محدوده جنگلی هر روستا داشت که در مجموع برای ارتفاع زیر ۱۰۰۰ متر، ۴ ترانسکت برای ارتفاع ۱۰۰۰ تا

و آزمون دانکن استفاده شد. برای بررسی متغیرهای کیفی و مقایسه آن‌ها از آزمون کای اسکویر استفاده شد. محاسبات، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و مدل مناسب رابطه بین مشخصه‌های رویشی اندازه‌گیری شده و مقدار تولید میوه هر پایه در محیط نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۱ انجام شد. در این روش با استفاده از شیوه گام به گام ورود متغیرها و تخمین حداقل مربعات، رابطه و مدل مورد نظر برازش شد و مناسب‌ترین مدل با بالاترین ضریب تبیین معرفی شد.

نتایج
ویژگی‌های توده‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی
ویژگی‌های کمی توده‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی مختلف
ویژگی‌های کمی پایه‌های قرار گرفته در خط نمونه‌ها از قبیل قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، قطر تاج و تعداد جست به تفکیک طبقات ارتفاعی مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های کمی توده مورد بررسی در طبقات ارتفاعی

Table 2. Quantitative characteristics of the studied stand in the elevation classes

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	مشخصه Characteristic	رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level
146	7	1.73	40.51 ^a	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارزنه	<1000
12.00	1.40	0.12	6.03 ^b	ارتفاع (متر) Total height (m)	Arzane	
12.10	1.00	0.14	6.06 ^a	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	گرویس Garvis	
10	0	0.10	1.41 ^a	تعداد جست Coppice shoots		
90	7	0.80	32.94 ^b	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	گندکه	1000 – 1400
13.00	1.30	0.12	6.75 ^a	ارتفاع (متر) Total height (m)	Gandke	
10.80	1.20	0.09	5.12 ^b	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	بان‌زیر Banazer	
14	0	0.10	0.89 ^b	تعداد جست Coppice shoots		
68	7	0.15	14.93 ^c	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	سوستان	>1400
16.10	2.00	0.03	5.09 ^c	ارتفاع (متر) Total height (m)	Sostan	
18.20	0.70	0.03	3.61 ^c	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	بوپانه Bobane	
13	0	0.03	1.55 ^a	تعداد جست Coppice shoots		

با توجه به جدول ۲ و تجزیه واریانس انجام شده (جدول ۳)، معلوم شد که بین قطر برابر سینه، ارتفاع، متوسط قطر تاج و تعداد جست در طبقات ارتفاعی مختلف اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($\alpha=1\%$). براساس آزمون دانکن بیشترین مقدار قطر برابر سینه و متوسط قطر تاج مربوط به ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر و کمترین مقدار این دو مشخصه مربوط به طبقه بیشتر از ۱۴۰۰ متر است. بیشترین و کمترین مقدار ارتفاع به- ترتیب در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر قرار دارد. مقدار جست در دو طبقه کمتر از ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر، بیشترین مقدار و در طبقه ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر کمترین مقدار را دارد.

جدول ۳- تجزیه واریانس مشخصه‌های کمی گونه‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی

Table 3. Analysis of variance of quantitative characteristics of the studied species in the elevation classes

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	مشخصه Characteristic
0.00	40.33	23562.30	2	47124.61	بین گروه Between group
		584.27	339	198068.26	داخل گروه Within group
			341	245192.87	کل Total
0.00	25.45	45.26	2	90.52	بین گروه Between group
		1.78	339	602.78	داخل گروه Within group
			341	693.30	کل Total
0.00	14.93	58.89	2	117.78	بین گروه Between group
		3.98	339	1349.49	داخل گروه Within group
			341	1467.27	کل Total
0.00	9.41	23.83	2	47.67	بین گروه Between group
		2.53	339	858.35	داخل گروه Within group
			341	906.02	کل Total

توده بالغ با قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر در جدول ۴ نشان داده شده است.

ویژگی‌های کیفی توده مورد بررسی در طبقات ارتفاعی درصد آمیختگی

با توجه به کدگذاری انجام شده و تعیین نوع گونه‌های قرار گرفته در خط‌نمونه‌ها، درصد آمیختگی گونه‌ها در

جدول ۴- درصد آمیختگی توده مورد بررسی در طبقات ارتفاعی

Table 4. Composition percent of the studied species in the elevation classes

Acer monspessulanum	Vitis sp	Prunus avium sp	Amygdalus communis	Juglans regia	Crataegus sp	Pyrus kordata	Pistacia atlantica	Q. libani	Q. infectoria	Q. persica	گونه‌ها	ارتفاع از سطح دریا
											Species	Height above sea level
											رویشگاه	
											Habitat	
0	0	0.30	5.10	0	0.90	0.60	38.00	0	10.00	51.90	ارزنه - گرویس	<1000
											Arzane-Garwis	
0	0.30	2.30	0.60	0.60	2.60	0.60	24.70	13.40	39.20	15.90	گندکه - بانه‌زیر	1000 - 1400
											Gandke-Banazer	
0.10	0	0.10	0.10	0.50	6.60	2.10	5.60	30.00	50.60	4.30	سوستان - بوبانه	>1400
											Sostan-Bobane	

منشأ و سلامت
شاخه‌زاد بودن، همچنین سالم و ناسالم بودن پایه‌ها در
فرم آماربرداری یادداشت شد و نتایج تحلیل در جدول
۵ ارائه شده است.

در برداشت خط‌نمونه‌ها کلیه پایه‌های قرارگرفته در
ترانسکت‌ها از نظر مبدأ و سلامت بررسی و دانه‌زاد و

جدول ۵- منشأ و سلامت پایه‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی

Table 5. The Origin and the health percent of the studied species in the elevation classes

سلامت		منشأ		رویشگاه	ارتفاع از سطح دریا
Health		The Origin			
ناسالم	سالم	شاخه‌زاد	دانه‌زاد		
Unhealthy	Healthy	Coppice	Standard		
2.20	97.80	54.40	45.60	ارزنه - گرویس	<1000
				Arzane-Garwis	
4.00	96.00	31.30	68.80	گندکه - بانه‌زیر	1000-1400
				Gandke-Banazer	
3.00	97.00	59.60	40.40	سوستان - بوبانه	>1400
				Sostan-Bobane	

ارتفاعی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. بر این اساس
بیشترین درصد آمیختگی در طبقه ارتفاعی کمتر از
۱۰۰۰ متر را بلوط ایرانی و در دو طبقه ارتفاعی بالاتر
را، گونه بلوط مازودار به خود اختصاص داده‌اند.

براساس جدول ۶، بین درصد آمیختگی و دانه‌زادی
و شاخه‌زادی پایه‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی
متفاوت اختلاف معنی‌دار وجود دارد (یک درصد = α).
اما بین درصد سلامت پایه‌های مورد بررسی در سه طبقه

بیشترین درصد دانه‌زادی هم در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر قرار دارد.

جدول ۶- آزمون کای اسکور ویژگی‌های کیفی پایه‌های مورد بررسی در طبقات ارتفاعی

Table 6. Chi-Square tests qualitative characteristics of the studied species in the elevation classes

Sig.	درجه آزادی Df	ارزش Value	مشخصه Characteristic
0.00	22	1390.78	آمیختگی Composition percent
0.00	2	100.12	منشأ The Origin
0.40	2	1.80	سلامت The Health

معنی‌داری وجود دارد (یک درصد = α). براساس آزمون دانکن انجام شده، بیشترین مقدار ویژگی‌های کمی پایه-های بنه از قبیل قطر برابر سینه، ارتفاع درخت، قطر تاج و تعداد جست به تفکیک طبقات ارتفاعی ارائه شده است (جدول ۷).

ویژگی‌های پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی ویژگی‌های کمی پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی با توجه به جدول ۷ و تجزیه واریانس انجام شده (جدول ۸)، بین قطر برابر سینه، ارتفاع، متوسط قطر تاج و تعداد جست در طبقات ارتفاعی مختلف اختلاف

جدول ۷- ویژگی‌های کمی پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی

Table 7. Quantitative characteristics of *Pistacia atlantica* in the elevation classes

اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	مشخصه Characteristic	رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level
3.45	49.72 ^a	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارزنه (Arzane)	<1000
0.13	5.51 ^b	ارتفاع (متر) Total height (m)		
0.23	6.22 ^a	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	گرویس (Garvis)	
0.18	1.23 ^a	تعداد جست Coppice shoots		
1.34	40.30 ^b	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	گندکه (Gandke)	1000 – 1400
0.13	6.64 ^a	ارتفاع (متر) Total height (m)		
0.13	5.75 ^a	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	بان‌زیر (Banazer)	
0.06	0.25 ^b	تعداد جست Coppice shoots		

ادامه جدول ۷.

Continued table 7.

اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	مشخصه Characteristic	رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا Elevation above sea level
0.87	22.92 ^c	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	سوستان (Sostan)	>1400
0.10	5.42 ^b	ارتفاع (متر) Total height (m)		
0.15	4.88 ^b	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	بویانه (Bobane)	
0.13	0.81 ^a	تعداد جست Coppice shoots		

بر این اساس قطر برابر سینه در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر بیشترین و در طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر کمترین مقدار را دارد. ارتفاع در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر و تعداد جست هم در دو طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر بیشترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۸- تجزیه واریانس مشخصه‌های کمی پایه‌های بانه در طبقات ارتفاعی

Table 8. Analysis of variance quantitative characteristics of *Pistacia atlantica* in the elevation classes

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	مشخصه Characteristic
0.00	39.33	12119.40	2	24238.80	بین گروه Between group
		308.11	320	98596.73	داخل گروه Within Group
			322	122835.50	کل Total
0.00	29.70	120.65	2	241.30	بین گروه Between group
		4.06	320	1299.77	داخل گروه Within Group
			322	1541.07	کل Total
0.00	37.94	166.32	2	332.64	بین گروه Between group
		4.38	320	1402.79	داخل گروه Within Group
			322	1735.44	کل Total

ادامه جدول ۸

Continued table 8.

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	مشخصه Characteristic
0.00	10.75	39.51	2	79.03	بین گروه Between group
		3.67	320	1176.06	داخل گروه Within Group
			322	1255.10	کل Total

ویژگی‌های کیفی پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی منشأ و سلامت
اطلاعات مربوط به منشأ و سلامت یعنی درصد دانه-زادی و شاخه‌زادی و سالم و ناسالم بودن پایه‌های بنه در جدول ۹ ارائه شده‌است.

جدول ۹- منشأ و سلامت پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی مختلف

Table 9. The origin and the health percent of *Pistacia atlantica* in the elevation classes

سلامت The Health		منشأ The Origin		رویشگاه Habitat	ارتفاع از سطح دریا Height above sea level
ناسالم Unhealthy	سالم Healthy	شاخه‌زاد Coppice	دانه‌زاد Standard		
1.70	98.30	43.30	56.70	ارزنه - گرویس Arzane-Garwis	<1000
8.00	92.00	19.50	80.50	گندکه - بانه‌زیر Gandke-Banazer	1000 - 1400
0.0	100	37.80	62.20	سوستان - بوبانه Sostan-Bobane	>1400

براساس جدول ۱۰، بین درصد دانه‌زادی و شاخه‌زادی هم‌چنین درصد سالم و ناسالم بودن پایه‌های بنه اختلاف معنی‌دار وجود دارد ($\alpha=1\%$). بیشترین درصد دانه‌زادی پایه‌های بنه در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشترین درصد سالم بودن پایه‌ها در طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر قرار دارد.

جدول ۱۰- آزمون کای اسکور ویژگی‌های کیفی (منشأ و سلامت) پایه‌های بنه در طبقات ارتفاعی مختلف

Table 10. Chi-Square tests qualitative characteristics of *Pistacia atlantica* in the elevation classes

Sig.	درجه آزادی Df	ارزش Value	مشخصه Characteristic
0.00	2	13.244	منشأ The Origin
0.00	2	14.03	سلامت The Health

میوه تولیدشده پایه‌های بنه مورد بررسی تولیدشده هر پایه (۲۶/۴۴ کیلوگرم) مقدار تولید میوه با توجه به تعداد در هکتار پایه‌های بنه موجود در توده- بنه در هر هکتار ۴۰۹/۰۲ کیلوگرم برآورد شد (جدول های مورد بررسی (۱۶/۶ اصله) و متوسط وزن میوه (۱۱).

جدول ۱۱- ویژگی‌های کمی و وزن میوه تولید شده پایه‌های بنه مورد بررسی

Table 11. Quantitative characteristics and Weight of fruit produced of studied *Pistacia* individuals

حداکثر Maximum	حداقل Minimum	اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	مشخصه Characteristic
122	10	2.80	46.29	قطر برابر سینه (سانتی متر) DBH (cm)
9.80	2.50	0.15	6.37	ارتفاع (متر) Total height (m)
12.20	2.80	0.21	6.62	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)
7	0	0.13	0.53	جست Coppice shoots
47380	2320	1225.65	24647.42	وزن میوه (گرم) Fruit weight (gr)

به طوری که از جدول ۱۲ ملاحظه می‌شود وزن میوه با درصد همبستگی مثبت و معنی‌دار و با تعداد جست در قطر برابر سینه، ارتفاع و متوسط قطر تاج در سطح یک سطح یک درصد همبستگی منفی و معنی‌دار دارد.

جدول ۱۲- همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های کمی پایه‌های بنه مورد بررسی و وزن میوه

Table 12. Pierson correlation between Quantitative characteristics of *Pistacia atlantica* and fruit weight

وزن میوه (گرم) Fruit weight (gr)	جست Coppice shoots	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)	ارتفاع (متر) Height (m)	قطر برابر سینه (سانتی متر) DBH (cm)	مشخصه Characteristic
				1	قطر برابر سینه (سانتی متر) DBH (cm)
			1	0.75**	ارتفاع (متر) Total height (m)
		1	0.65**	0.76**	قطر تاج (متر) Crown diameter (m)
	1	-0.11	-0.35**	-0.31**	تعداد جست Coppice shoots
1	-0.27**	0.65**	0.84**	0.68**	وزن میوه (گرم) Fruit weight (gr)

** : Significant at 0.01

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱

مدل استفاده شده برای برآورد میوه بنه در توده‌های جنگلی با توجه به این که روابط خاصی بین ویژگی‌های کمی و مقدار میوه تولیدی هر پایه وجود دارد (Walder and Walder, 2008). با تعیین مقدار همبستگی بین مشخصه‌های کمی و مدل‌سازی مربوطه می‌توان از طریق مشخصه‌های کمی قابل اندازه‌گیری به برآورد مقدار میوه تولیدی هر پایه پرداخت. در جدول ۱۳، ضریب همبستگی بین مقدار میوه تولیدی با مشخصه‌های مختلف محاسبه شد.

جدول ۱۳- ضریب همبستگی بین مقدار میوه تولیدی و مشخصه‌های مختلف

Table 13. The correlation coefficient between number of produced fruits and quantitative characteristics

ارتفاع × قطر تاج Total height × Crown diameter	ارتفاع Total height	مشخصه Characteristic
0.85	0.84	ضریب همبستگی Pearson Correlation
0.02	0.00	معنی‌داری Sig.

طبق جدول ۱۳ معلوم شد، دو مشخصه ارتفاع و متوسط قطر تاج به طور معنی‌داری با مقدار میوه تولیدی هر پایه همبستگی نشان می‌دهند. مشخصه‌های معنی‌دار نشده یا با معنی‌داری کم وارد مدل نشد. نتایج تجزیه واریانس مربوط به مدل در جدول ۱۴ آمده است.

جدول ۱۴- تجزیه واریانس مربوط به مدل

Table 14. The analysis of variance (ANOVA) table and the F-test

Sig.	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی Df	مجموع مربعات Sum of squares	مدل
0.00	210.92	8329640630	1	8329640630.15	رگرسیون Regression
		39492246.84	87	3435825475.47	باقی‌مانده Residual
			88	11765466105.62	کل Total
0.00	113.74	4268868295.01	2	8537736590.02	رگرسیون Regression
		۳۷۰۳۱۷۳۸،۰۰	86	3227729515.60	باقی‌مانده Residual
			88	11765466105.62	کل Total

در نهایت به دلیل بالا بودن r^2 طبق جدول ۱۵ از هر دو مدل که در یکی از آنها مشخصه ارتفاع و در دیگری دو مشخصه ارتفاع و متوسط قطر تاج دخالت دارند، برای برآورد میوه می‌توان استفاده کرد.

جدول ۱۵- مدل‌های پیشنهاد شده برای برآورد میوه بانه از طریق ویژگی‌های کمی

Table 15. Suggested models for estimation of *Pistacia atlantica* fruit through quantitative characteristics

r^2	رابطه Equation	مدل Model
0.71	Weight = 6617.55 H - 17563.62	1
0.73	Weight = 5713.06 H + 1028.08 CD - 17563.62	2

H: ارتفاع کل، CD: قطر تاج

H: Total height, CD: Crown diameter

بحث

حرارات شرایط رویشی سخت‌تر می‌شود و قطر برابر سینه و متوسط قطر تاج با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. (Moslimany (2008) نشان داد که گونه بانه مقاوم به خشکی و حساس به سرمای شدید است و به‌طور کلی درصد زنده‌مانی درختان بانه به روزهای خشک تابستان وابسته است. (Bagheri et al. (2013) نشان دادند که قطر برابر سینه و متوسط قطر تاج درختان بانه پارک ملی خجیر با افزایش ارتفاع کاهش پیدا می‌کند. در این پژوهش بیشترین مقدار ارتفاع توده‌های مورد بررسی، در طبقه ارتفاعی میانی (۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر) قرار دارد. در مورد پایه‌های بانه نیز این وضعیت صادق است. بر اساس مشاهدات میدانی گلازنی (سرشاخه‌زنی درختان) در بخش میانی منطقه مورد بررسی به‌طور محدود انجام می‌شود و احتمالاً بالا بودن میانگین ارتفاع توده‌ها در این رویشگاه‌ها تحت تأثیر این موضوع است. (Alijanpour (2013) نشان داد که میانگین ارتفاع پایه‌های سماق در منطقه ارسباران، در طبقه ارتفاعی میانی بیشترین مقدار را دارد. به‌نظر می‌رسد که در محدوده ارتفاعی بیشتر و کمتر فعالیت انسان و بهره‌برداری موجودات تأثیرات منفی بیشتری روی توده‌ها داشته‌است. (Bagheri et al. (2013) بیان کردند که ارتفاع درختان بانه در پارک خجیر با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد. وجود صخره و سنگ در ارتفاعات

یکی از عوامل مهم در گسترش و انتشار گونه‌های گیاهی، ارتفاع از سطح دریاست (Heydari and Mahdavi, 2009)، با افزایش یا کاهش این عامل شرایط رویشگاهی به‌ویژه از نظر اقلیمی تغییر می‌کند و گیاهان با توجه به نیاز اکولوژیک خود در یک محدوده ارتفاعی مستقر می‌شوند (Klippel et al., 2017). در این بررسی به تأثیر این عامل بر ویژگی‌های کمی و کیفی توده‌های جنگلی حاوی بانه پرداخته شد. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که بین قطر برابر سینه، ارتفاع، متوسط قطر تاج و تعداد جست در طبقات ارتفاعی مختلف توده‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری وجود دارد ($\alpha=1\%$). میانگین قطر برابر سینه و متوسط قطر تاج توده‌های مورد بررسی با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش پیدا می‌کند. میانگین قطر برابر سینه و قطر تاج این توده‌ها در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر، بیشترین مقدار را دارد. در مورد پایه‌های بانه نیز قطر برابر سینه در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر بیشترین مقدار را دارد. اما بیشترین مقدار متوسط قطر تاج در ارتفاع کمتر از ۱۴۰۰ متر قرار دارد. در شرایط طبیعی با افزایش ارتفاع از سطح دریا از مقدار رویش قطری و ارتفاعی درختان کاسته می‌شود (Dláz-Maroto and Vila-Lameiro, 2008). به‌نظر می‌رسد، در ارتفاعات بالا به‌دلیل کاهش درجه

انبوه‌تر می‌شود. بلوط ایرانی گونه‌ای نورپسند است و در مقایسه با دیگر گونه‌های بلوط مقاومت بیشتری در مقابل تغییرات خاک و رطوبت دارد (Pourbabaei et al., 2015). از این‌رو در این طبقه ارتفاعی بلوط ایرانی بیشترین درصد فراوانی را به‌خود اختصاص می‌دهد. با توجه با این‌که جنگل در طبقه ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر و بیشتر از ۱۴۰۰ متر از تراکم بیشتری برخوردار بوده و شرایط رویشگاهی بهتری نسبت به طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر دارد، از این‌رو احتمالاً این مهم دلیلی بر درصد آمیختگی بیشتر بلوط مازودار در این دو طبقه ارتفاعی باشد. بلوط مازودار نسبت به بلوط ایرانی گونه پرتوقع‌تری است و به‌طور عمده بر روی دامنه‌های شمالی و خاک‌های حاصل‌خیز مستقر می‌شود و از نظر ارتفاعی، در قسمت‌های میان‌بند تشکیل تپ می‌دهد (Fattahi, 1994). براساس پژوهش حاضر بیشترین فراوانی پایه‌های بنه در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر قرار دارد و با افزایش ارتفاع از سطح دریا از تعداد و فراوانی آن کاسته می‌شود. گونه بنه مقاوم به خشکی و حساس به سرمای شدید است، از این‌رو احتمالاً کاهش تعداد و فراوانی بنه با افزایش ارتفاع می‌تواند به‌دلیل افزایش وزش باد، کاهش درجه حرارت، وجود خاک‌های نامناسب و شرایط رویشی سخت در ارتفاعات بالا باشد. Rostamikia et al. (2010) طی پژوهشی در جنگل‌های خلخال بیان کردند که ارتفاع از سطح دریا عامل عمده در پراکنش گونه بنه است، به‌طوری که این گونه در ارتفاعات پایین به‌صورت خالص بوده و با افزایش ارتفاع از سطح دریا تمایل به تشکیل تپ با دیگر گونه‌ها را دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین درصد دانه‌زادی توده‌های مورد بررسی و پایه‌های بنه در طبقه ارتفاعی ۱۰۰۰-۱۴۰۰ قرار دارد. Alijanpour (2013) نشان داد که درصد دانه‌زادی پایه‌های سماق با ارتفاع از سطح دریا رابطه معنی‌دار ندارد. Bagheri et

بالا، عمق کم خاک و شدت سرما سبب شده درختان ارتفاعات بالا ضعیف‌تر از ارتفاعات پایین باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که تعداد جست در توده‌های مورد بررسی در طبقه ارتفاعی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ متر کمترین مقدار را دارد و در دو طبقه دیگر اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. این وضعیت در مورد پایه‌های بنه نیز صادق است. از عوامل مؤثر در تعداد جست می‌توان به عامل انسانی و دسترسی انسان به جنگل اشاره کرد، به‌طوری که ممکن است یک پایه به دفعات بیشتری قطع شود و پس از مدتی با کاهش عناصر موجود در خاک، توان جست‌دهی کنده نیز با افزایش سن کاهش یابد (Talebi et al., 2006). براساس مشاهدات میدانی و بررسی‌های اقتصادی - اجتماعی که تحت این پژوهش انجام شده، تعداد دام در این طبقه ارتفاعی زیاد است، و چرای دام سبب کوبیدگی شدید خاک به‌دلیل تردد دام شده و امکان جست‌دهی را کاهش می‌دهد (Pourhashemi, 2005). (Soleymani et al., 2009) در پژوهشی در جنگل بابا کوسه علیا (استان کرمانشاه)، بیان کردند که بیشترین تعداد جست‌گروه‌های گونه بلوط در طبقه ارتفاعی 1600-1700 متر قرار دارد و از این ارتفاع به بعد تعداد جست کاهش می‌یابد که دلیل آن عمدتاً به‌خاطر کاهش درجه حرارت با افزایش ارتفاع از سطح دریا است. (Amiri et al., 2009) نشان دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا فراوانی نهال‌ها و نونهال‌های بلندمازو به‌طور منظم تغییر نمی‌کند، در ارتفاعات پایین فراوانی زادآوری افزایش، سپس در ارتفاع میانی کاهش و با افزایش ارتفاع دوباره افزایش می‌یابد که مطابق با نتایج این پژوهش است.

براساس نتایج این بررسی در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر، بیشترین درصد آمیختگی مربوط به بلوط ایرانی بوده و توده تنک‌تر است اما در ارتفاعات بالاتر، حضور بلوط مازودار چشمگیرتر شده و توده جنگلی

ضریب تبیین به‌دست‌آمده ($r^2 = 0.71$ و $r^2 = 0.73$) نشان‌دهنده همبستگی قابل توجه بین میوه تولیدشده هر پایه با مشخصه ارتفاع و متوسط قطر تاج در پایه‌های بنه است. براساس بررسی (Daryaei et al. (2012) در جنگل‌های ایلام بین قطر تاج با میوه بنه همبستگی مثبت وجود دارد. (Alijanpour (2013) نشان داد که سه مشخصه قطر تاج، قطر یقه پایه اصلی و تعداد جست بیشترین همبستگی معنی‌دار را با مقدار میوه تولیدی پایه‌های ذغال‌اخته دارند. (Mousavi Mirkala et al. (2017) بیان کردند که مقدار میوه تولیدی پایه‌های سنجد بیشترین همبستگی را با ارتفاع درخت دارد و در مدل برآورد میوه سنجد از دو مشخصه ارتفاع و متوسط قطر تاج به‌دلیل ضریب تبیین بالا استفاده کردند. (Keyvan Behju et al. (2017) در شهرستان رودسر در مورد میوه ازگیل جنگلی مشخصه‌هایی مانند قطر بزرگ و کوچک تاج و قطر برابر سینه را در برآورد مقدار میوه مهم عنوان کردند. در نهایت در این بررسی معلوم شد پایه‌های بلوط ایرانی در طبقه ارتفاعی کمتر از ۱۰۰۰ متر از سطح دریا بیشترین فراوانی را داشته و با افزایش ارتفاع حضور گونه بلوط مازودار چشم‌گیرتر می‌شود. در این میان فراوانی پایه‌های بنه با آمیختگی ضعیف تا متوسط با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد و ویژگی‌های کمی و کیفی آن تغییرات معنی‌داری را نشان می‌دهد.

al. (2013) بیان کردند که بیشترین درصد شاخه‌زادی درختان بنه پارک ملی خجیر، در ارتفاع ۱۶۰۰-۱۵۰۰ متر قرار دارد. در این بررسی بین درصد سلامت توده‌های مختلف مورد بررسی در سه طبقه ارتفاعی اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

Fallah et al. و Alijanpour et al. (2011)

(2016) نشان دادند که سلامت درختان با ارتفاع از سطح دریا رابطه معنی‌دار ندارد که با این پژوهش هم‌خوانی دارد. همچنین درصد سلامت پایه‌های بنه در طبقه ارتفاعی بیشتر از ۱۴۰۰ متر بیشترین مقدار را دارد، به‌نظر می‌رسد احتمالاً در طبقات پایینی و میانی سلامت پایه‌های بنه تحت تأثیر بهره‌برداری از سقز همراه با دیگر فعالیت‌های انسانی کاهش پیدا کرده است. (Khosrojerdi et al. (2009) نشان دادند که شادابی درختان بنه جنگل‌های خواجه کلات از نظر آماری با ارتفاع از سطح دریا ارتباط معنی‌داری ندارد، با این حال در ارتفاعات بالاتر از شادابی بیشتری برخوردار بودند. در این بررسی میانگین مقدار میوه تولیدی هر پایه

بنه برابر 24/64 کیلوگرم برآورد شد. (Daryaei et al. (2012) بیان کردند که درختان بنه با قطر 10 سانتی‌متر و ۲۰ سال سن، حدود 4 کیلوگرم و درختی با قطر ۵۵ سانتی‌متر و با سن تقریبی ۱۰۰ سال حدود ۴۵ کیلوگرم بذر تولید می‌کند. نتایج این پژوهش نشان داد دو مشخصه ارتفاع درخت و متوسط قطر تاج بیشترین همبستگی معنی‌دار را با مقدار میوه تولیدی دارند.

References

Abdelkrim, L.; Noria, S.-S.; Gradziel, T., Root architecture of Atlas pistachio in relation to underlying soil properties under arid conditions. *African Journal of Agricultural Research* **2014**, 9 (6), 620-626.

Alijanpour, A., Effect of physiographical factors on qualitative and quantitative characteristics of *Rhus coriaria* L. natural stands in

Arasbaran region. *Iranian Journal of Forest* **2014**, 5 (4), 431-442. (In Persian)

Alijanpour, A.; Eshagi 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)

Amiri, M.; Mohammadi, J.; Dargahi, D.; Habashi, H., Effect of geographic situation on natural regeneration of oak (*Quercus*

- castaneifoila* C.A. Mey) in Loveh forest, Pajouhesh and Sazandegi, **2009**, (special issue), *21*, 116 - 123. (In Persian)
- Bagheri, J.; Salehi, A.; Abkenar, K. T., Effective factors on regeneration establishment and quantitative and qualitative characteristics of *Pistacia atlantica* in different physiographic conditions (case study: Khojir National Park). *Ecology of Iranian Forest* **2014**, *2* (3), 1-12. (In Persian)
- Beygi Heidarlou, H.; Shafiei, A. B.; Erfanian, M.; Tayyebi, A.; Alijanpour, A., Armed conflict and land-use changes: Insights from Iraq-Iran war in Zagros forests. *Forest Policy and Economics* **2020**, *118*, 102246.
- Daryaei M.G.; Hoseiny, S.K.; Taheri, K.; Mirzaei, J.; Mzbani, A., Effect of morphological variables of *Pistacia atlantica* on gum and seed production. *Iranian Journal of Biology* **2012**, *25* (2), 303-315. (In Persian)
- Díaz-Maroto, I.; Vila-Lameiro, P., Pedunculate oak (*Quercus robur* L.) silviculture in natural stands of NW Spain: Environmental conditioners. *Forest ecology and management* **2008**, *256* (4), 702-711.
- El-Moslimany, A. P., Ecology and late-Quaternary history of the Kurdo-Zagrosian oak forest near Lake Zeribar, western Iran. *Vegetatio* **1986**, *68* (1), 55-63.
- Erfanifard, S. Y., Efficiency of LTS and LIS methods for density estimation of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) trees in Zagros woodlands, Iran. *Wood & Forest Science and Technology* **2013**, *20* (2), 23-40. (In Persian)
- Falahchai, M. M.; Firouzan, A. H.; Yousefi, M.; Panahpour, H.; Falahchai, S.R., Survey of some vegetative characteristics *Pistacia mutica* species in Yasuj forestes. (Mah Parviz local forests), *Journal of Biology Science* **2009**, *3* (1), 29-41. (In Persian)
- Fallah, A.; Kooch, Y.; Rastaghi, A. A., Effect of Altitude Changes on Quantitative and Qualitative Characteristics and Environmental Afforestation Stand of *Pinus Brutia* Ten. *Journal of Environmental science and Technology* **2016**, *18* (2), 128-143. (In Persian)
- Faraji, F.; Eshaghi Rad, J.; Parhizkar, P.; Manthey, M., Quantitative characteristics of regeneration in natural and harvested made canopy gaps in different elevations in oriental beech (*Fagus orientalis*) forests. *Journal of Forest Research and Development* **2021**, *6* (4), 661-678. (InPersian)
- Fattahi, M., *Checking Zagros oak forests and their major degradation factors*. Research Institute of Forests and Rangelands., 1994, p 63. (InPersian)
- Henareh Khalyani, J.; Namiranian, M.; Vaezin, S. H.; Fegghi, J., Development and evaluation of local communities' incentive programs for improving the traditional forest management: A case study of Northern Zagros forests, Iran. *Journal of forestry research* **2014**, *25* (1), 205-210.
- Heydari, M.; Mahdavi, A., Pattern of plant species diversity in related to physiographic factors in Melah Gavan protected area, Iran. *Asian Journal of Biological Sciences* **2009**, *2* (1), 21-28.
- Iranmanesh, Y.; Jahanbazy, H.; Talebi, M.; Mahinpour, H., Effect of morphological variables, altitude and tree gender on gum production of *Pistacia atlantica* in Chahar-Mahal & Bakhtiari Province forests. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 195-207. (InPersian)
- Keyvan Behju, F.; Ghanbari, S.; Moradi, Gh., Study on production amount and importance of forest byproducts in forest household's income at Rudсар, Guilan Province, Case study: Medlar (*Mespilus germanica*) fruit. *Journal of Forest Research and Development* **2017**, *3* (2), 147-162. (InPersian)
- Khosrojerdi, E.; Darroudi, H.; Namdost, T., Effects of physiographical factors on some qualitative and quantitative characteristics of *Pistacia vera* L. at Khajeh Kalat forest in Khorasan Razavi province, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2009**, *17* (3), 337-347. (In Persian)
- Klippel, L.; Krusic, P. J.; Brandes, R.; Hartl-Meier, C.; Trouet, V.; Meko, M.; Esper, J., High-elevation inter-site differences in Mount Smolikas tree-ring width data. *Dendrochronologia* **2017**, *44*, 164-173.
- Mahdavi, A.; Shamekhi, T.; Sobhani, H., The role of non-wood forest products in livelihood of forest dwellers (Case study: Kamyaran city, Kurdistan province). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2011**, *19* (3), 370-379. (In Persian)
- Mahdavi, A.; Sobhani, H.; Shamekhi, T.; Fattahi, M., Investigation on non-wood forest products and the utilization methods in Kamyaran forests. *Iranian journal of Forest and Poplar Research* **2009**, *16* (4); 507-520. (In Persian)

- Marvi Mohajer, R., *Silviculture*. University of Tehran Press., 2013; p 387. (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. *Journal of Forest Research and Development* 2020, 6 (1), 15-27. (In Persian)
- Mousavi Mirkala, S. R.; Menbari, M.; Eshaghi rad, J., Study on ecological and growth characteristics of *Elaeagnus angustifolia* in West Azerbaijan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)* 2017, 30 (1), 200-213. (In Persian)
- Mousavi, R., Non-wood forest products, the utilization, and harvesting methods in Sardasht, North West Iran. *International Journal of Forest, Soil and Erosion*, 2012, 2 (3), 133-136
- Mozaffarian, V. *Tree and Shrubs of Iran*. Farhang Moaser Publishers, 2010; p 1054. (In Persian)
- Pourbabaei, H.; Cheraghi, R.; Ebrahimi, S. S., The Study of Woody Species Structure and Diversity in the Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) Site, Dashtak, Yasouj, Western Iran. *Journal of Zagros Forests Researches* 2015, 2 (1), 105-114. (In Persian)
- Pourhashemi, M.; Marvi Mohajer, M. R.; Zobeiri, M.; Zahedi Amiri, Gh.; Panahi, P., A Study of the Factors Effective on Sprouting of Oak Species in Marivan Forests (Case study: Doveyse forest). *Journal of the Iranian Natural Resources* 2005, 59 (4), 819-830.
- Rostamikia.; Y, Imani, A. A.; Fattahi, M.; Sharifi, J., Site demands, quantitative and qualitative characteristics of wild pistachio in Khalkhal forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2010., 17 (4), 489-499. (In Persian)
- Soleymani, N.; Dargahi, D.; Pourhashemi, M.; Amiri, M., Effects of physiographical factors on oak sprout-clumps structure in Baba-Kooseh forest; Kermanshah province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2009, 16 (3), 467-477. (In Persian)
- Soltani, A.; Angelsen, A.; Eid, T.; Naieni, M. S. N.; Shamekhi, T., Poverty, sustainability, and household livelihood strategies in Zagros, Iran. *Ecological Economics* 2012, 79, 60-70.
- Stryamets, N., Productos forestales no maderables como medios de vida. *Bosque (Valdivia)* 2012, 33 (3), 329-332.
- Tahmasebi, M.; Fattahi, M., Study the ecological factors with *Pistacia atlantica*'s qualitative and quantitative factors in Ilam, Proceedings of *Pistacia atlantica* Desf. second national conference, Fars province, *Research Institute for Forests and Rangelands* 2001, 1st volume, 145-170.
- Talebi, M.; Sagheb-Talebi, Kh.; Jahanbazi, H., Site demands and some quantitative and qualitative characteristics of Persian Oak (*Quercus brantii* Lindl.) in Chaharmahal & Bakhtiari Province (western Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* 2006, 14 (1), 67-79. (In Persian)
- Wälder, K.; Wälder, O., Analyzing interaction effects in forests using the mark correlation function, *I Forest- Bio geosciences and Forestry* 2008, 1 (1), 34-38.
- Yousefi, A.; Ghahramany, L.; Ghazanfari, H.; Pulido, F.; Moreno, G., Biometric indices of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) trees under resin extraction in Western Iran. *Agroforestry Systems* 2020, 94 (5), 1977-1988.

The effect of altitude on quantitative and qualitative characteristics and estimation of *Pistacia atlantica* fruits in the forest stands in Sardasht, West Azerbaijan province

A. Esmaili¹, S. R. Mousavi Mirkala^{*2}, A. Alijanpour³, M. Hajarian⁴ and S. Ghanbari⁵

1- Ph.D. Candidate of forestry, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, I. R. Iran. (Ayshe.esmaili@gmail.com)

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

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

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

5- Assistant Professor, Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, I. R. Iran. (Ghanbarisajad@tabrizu.ac.ir)

Received: 27.02.2021 Accepted: 06.06.2021

Abstract

The study aimed to investigate the quantitative and qualitative characteristics of *Pistacia atlantica* stands in altitude classes and to estimate the amount of fruit production in the studied stands. In this study, in three altitude classes of Sardasht forests (less than 1400 m, 1000 -1400 m, and more than 1400 m), the traditional utilization area of six villages was selected and, in the forest, stands of the mentioned villages, 27 transects of unequal length were randomly established. In the transects, characteristics such as species type, tree height, d.b.h, small and large crown diameter, origin, health status, and distance between trees were measured. Also, the amount of fruit of 89 individuals in different diameter classes was measured. The results showed that in the studied stands, *Pistacia atlantica* accounted for 11.1% of the mixture, and the average d.b.h and the height of trees were the highest in the elevation class less than 1000 m and 1400-1000 m, respectively. The highest seed-originated trees percentage of *Pistacia atlantica* individuals was observed in the altitude class of 1400-1000 m and the highest percentage of healthy trees was observed in the altitude class of more than 1400 m. The two characteristics of height and average diameter of the crown show a positive correlation with the amount of fruit produced in each individual. This study showed that with increasing altitude, the abundance of *Pistacia* species decreases.

Keywords: *Pistacia atlantica*, Traditional utilization area, Sardasht forest, Fruit.

* Corresponding author

Tel: +989104052230

تنوع و ساختار ژنتیکی سیب جنگلی ایران (*Malus orientalis Uglitzk*) در دو ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره

حمید بینا^۱، حامد یوسفزاده^{۲*}، بتول حسین پور^۳ و حمید عبدالمهی^۴

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (hamid.bina67@gmail.com)

۲- استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس، تهران، ایران. (h.yousefzadeh@modares.ac.ir)

۳- دانشیار، پژوهشکده کشاورزی، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، تهران، ایران. (bhosseinpour@gmail.com)

۳- دانشیار، بخش باغبانی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج، کرج، ایران. (habdollahi@yahoo.it)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۰۹

چکیده

سیب قفقازی (*Malus orientalis Uglitzk*) یکی از گونه‌های جنگلی - باغی ایران است که در دو ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس در ایران پراکنش دارد. در این پژوهش تنوع و ساختار ژنتیکی جمعیت‌های سیب قفقازی ایران، با استفاده از ۲۶ نشانگر ریزماهواره مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر هتروزیگوسیتی مشاهده شده بین ۰/۴۶ - ۰/۸۳ و غنای آلی بین ۱/۵۴ - ۱/۸۴ بود. در بیش از ۸۰ درصد رویشگاه‌ها هتروزیگوسیتی مشاهده شده در حد هتروزیگوسیتی مورد انتظار بود و علائمی از بروز تنگنای ژنتیکی در هیچ یک از جمعیت‌ها مشاهده نشد. دامنه ضریب درون‌آمیزی برای سیب قفقازی در ناحیه رویشی هیرکانی بین ۰/۸۱ - ۰/۸۴ و ۰/۸۱ و برای ناحیه رویشی زاگرس بین ۰/۲ - ۰/۸۱ بود. میانگین جریان ژن نیز به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۶۹ برای ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس بود. تعادل هاردی-واینبرگ در تمامی رویشگاه‌های مورد بررسی به جز، رویشگاه‌های استان لرستان و رویشگاه دورک از استان گلستان برقرار بود. بررسی نتایج ساختار ژنتیکی نیز حاکی از شکل‌گیری سه ساختار کاملاً متمایز برای جمعیت‌های سیب قفقازی در ایران است. در تحلیل تجزیه به مولفه‌های اصلی ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس ساختار کاملاً متمایزی از یکدیگر نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: تنگنای ژنتیکی، سیب جنگلی، جریان ژنی، ژنتیک حفاظت.

M. sieversii و با گونه (Gharghani et al., 2009)

M. Roem (Lebed) که یکی از اجداد اصلی گونه *M. domestica* است؛ ارتباط ژنتیکی بالایی دارد. در ایران به علت دخالت‌های گسترده انسان در طبیعت و تخریب رویشگاه‌ها، این گونه در وضعیت مطلوبی قرار ندارد و وقوع پدیده قطعه‌قطعه‌شدن رویشگاه‌های سیب قفقازی، حفاظت و تنوع ژنتیکی این گونه را که منبع مهمی برای اصلاح گونه‌های سیب باغی در سراسر دنیا است؛ با چالش روبه‌رو کرده است (Khodadoost et al., 2017).

در حال حاضر از ابزارهای مختلفی برای شناسایی و حفاظت از ژنوتیپ‌های ارزشمند وحشی و یا فرزندان به‌جای مانده از آن‌ها استفاده می‌شود. شناسایی ساختار ژنتیکی جمعیت‌ها با استفاده از نشانگرهای ریزماهوره، ابزاری قدرتمند برای بررسی هیبریداسیون و شناسایی واحدهای حفاظتی در بین گونه‌ها هستند (Wiens, 2011). از برتری‌های نشانگرهای ریز ماهوره می‌توان به انعطاف‌پذیر نبودن آن‌ها در زمینه تکامل همگرا و همچنین صحت اطلاعات آن‌ها در مورد ساختار ژنتیکی گونه‌ها اشاره کرد. پژوهش‌های گذشته که در مورد ساختار ژنتیکی سیب قفقازی در اروپا و ایران با استفاده از نشانگرهای ریزماهوره انجام شد، اغلب ساختار ژنتیکی خیلی ضعیفی از این گونه را بر اساس منطق بودن بر مناطق جغرافیایی نشان داد (Cornille et al., 2013; Cornille et al., 2014; Gharaghani et al., 2016). از دیگر پژوهش‌هایی که در زمینه ساختار ژنتیکی سیب‌های قفقازی در ایران انجام شد می‌توان به بررسی (Rostami et al., 2019) و Amirchakhmaghi et al. (2018) اشاره کرد؛ که نتایج آن‌ها شباهت بسیار بالای مناطق مورد بررسی را از نظر ساختار ژنتیکی از همدیگر نشان داد. بنابراین این پژوهش با استفاده از ۲۶ نشانگر ریزماهوره در نظر دارد؛ (۱) شاخص‌های عددی تنوع ژنتیکی سیب قفقازی در دو ناحیه هیرکانی و

قطعه‌قطعه‌شدن رویشگاه‌ها، فعالیت‌های انسانی و ناشناخته‌ماندن الگوهای تولید مثلی در بسیاری از گیاهان، حفظ تنوع ژنتیکی گیاهان را به یک چالش بزرگ تبدیل کرده است. به‌طور معمول قطعه‌قطعه‌شدن رویشگاه اثرهای زیانباری در کیفیت رویشگاه‌ها، چشم‌انداز رویشگاه‌ها، اندازه جمعیت‌ها (Ne)، تولیدمثل جمعیت‌ها، پویایی تکامل جمعیت‌ها و افزایش نرخ انقراض گونه‌ها خواهد داشت (Evenson and Gollin, 2003).

سیب وحشی قفقازی (*M. orientalis*) یکی از گونه‌هایی است که با وجود ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی بالا، بررسی‌های کمی در مورد ساختار ژنتیکی آن انجام شد. این گونه در طول زمان از ناحیه قفقاز منشأ پیدا کرده و به‌سمت ارمنستان، Trans Caucasus و تمدن یونان باستان حرکت کرده و در امتداد جاده ابریشم به‌سمت ترکیه و اروپا مهاجرت کرد (Mittermeier et al., 1999). سیب وحشی قفقازی در ایران، در نواحی رویشی هیرکانی و زاگرس در امتداد جاده ابریشم به‌صورت لکه‌ای گسترش یافته و یکی از منابع مهم برای غذا، داروهای مختلف و اصلاح نژاد گونه‌های باغی سیب در این نواحی است (Cornille et al., 2014). این گونه به‌صورت گسترده در ناحیه قفقاز و اروپا نسبت به شرایط مختلف آب و هوایی سازگار شد؛ اما بیشتر در مناطق سنگلاخی حضور دارد. از نظر شکل رویشی و میوه، سیب قفقازی بسیار متنوع است. مردم نواحی اوراسیا از میوه، چوب و خواص دارویی این گونه در طب سنتی استفاده می‌کردند. ارقام محلی از این گونه در نواحی قفقاز به‌صورت گسترده‌ای کشت می‌شوند (Fischer and Schmidt, 1938). بیشتر پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که سیب قفقازی یکی از اجداد گونه *M. domestica* Borkh است

نقطه اوج بودند از مجموعه داده‌ها حذف شدند. برای یافتن غنای آلی از نرم‌افزار ADZE استفاده شد (Szpiech et al., 2008). برای بررسی ساختار جمعیت‌ها و بررسی نسب ساختارهای به‌دست آمده از روش Admixture و نرم‌افزار STRUCTURE 2.3.3 و TESS استفاده شد (Pritchard et al., 2000; Hubisz et al., 2009). تغییرات مقدار عددی K برای جمعیت‌های مورد بررسی از ۲ تا ۱۰ در نظر گرفته شد (Cornille et al., 2013). در مجموع برای هر K، ده تکرار به‌صورت مستقل و با در نظر گرفتن MCMC=۱۰۰۰۰۰۰ و Burn-in=۵۰۰۰۰ و بسته CLUMPP (الگوریتم Greedy) استفاده شد (Szpiech et al., 2008). در نهایت در نمودار دلتا بهترین مقدار عددی K برای انتخاب و ساختار مناسب استفاده شد (شکل ۱b). برای محاسبه هتروزیگوسیتی، انحراف از تعادل هاردی-واینبرگ، عدم همبستگی گونه‌ها، ضریب درون‌آمیزی و فاصله ژنتیکی از نرم‌افزار GENEPOP 4.0 استفاده شد (Rousset, 2008). برای تحلیل فراوانی آلل‌ها در موقعیت‌های مکانی مختلف (Alleles In Space) از نرم‌افزار AIS version 1.0 استفاده شد (Miller, 2005). بررسی آزمون تنگنای ژنتیکی جمعیت‌های سیب جنگلی ایران، با استفاده از آزمون‌های سیگن و ویلکاکسون و مدل‌های آلی نامحدود (IAM) و جهش گام به گام (SMM) با استفاده از نرم‌افزار BOTTLENECK 1.2.02 انجام شد (Piry et al., 1999).

نتایج

تنوع ژنتیکی سیب قفقازی در ایران

بر اساس تعداد آلل‌های مشاهده در بین جمعیت‌ها، رویشگاه‌های گزناسرا، تیلک و وطن‌به‌ترتیب با تعداد ۱۴/۹، ۱۳/۵۶ و ۱۳/۳۴ بیشترین تعداد آلل مشاهده شده

زاگرس را مشخص کند؛ ۲) و همچنین جریان ژنی، احتمال فرسایش ژنتیکی و مقدار تمایز جمعیت‌های سیب قفقازی را در رویشگاه‌های هیرکانی و زاگرس بررسی کند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری، استخراج DNA و واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز

برای انجام این پژوهش، نمونه‌برداری از برگ سیب‌قفقازی در ناحیه رویشی هیرکانی (پنج درخت از یک رویشگاه در استان گیلان؛ ۶۰ درخت از شش رویشگاه در استان مازندران؛ ۶۷ درخت از هفت رویشگاه در استان گلستان) و ناحیه رویشی زاگرس (۱۳ درخت از سه رویشگاه در استان کردستان؛ ۲۲ درخت از سه رویشگاه در استان لرستان) انجام شد (جدول ۱). برای استخراج DNA ژنومی از برگ سیب قفقازی از کیت استخراج NucleoSpin (Macherey and Nagel, Germany) استفاده شد و در مرحله بعد واکنش زنجیره‌ای پلی‌مراز Multiple microsatellite PCR با استفاده از ۲۶ نشانگر ریزماهواره گزارش شده که روی ۱۷ کروموزوم سیب دارای جایگاه هستند، انجام شد (Patocchi et al., 2009). برای خوانش طول باند هر یک از نشانگرها، محصولات PCR به شرکت Qiagen ارسال شد. پس از دریافت داده‌های اولیه، نمونه‌هایی که بیش از ۲۰ درصد طول باندهایشان فاقد اطلاعات بود، حذف شدند. در مرحله بعد تمامی نمونه‌ها در سه مرحله با استفاده از نرم‌افزار GeneMapper ویرایش چشمی شدند و داده‌های اولیه به‌دست آمد.

تجزیه و تحلیل ژنتیکی

اولین گام در تجزیه و تحلیل ژنتیکی شناسایی پایه‌های پلی‌پلوئید است. افرادی که در الکتروگرام دارای چندین

را داشتند و رویشگاه‌های اسالم، ارسام، سقز و درود به‌ترتیب با مقادیر ۴/۷۳، ۳/۶۹، ۱/۸۰ و ۳/۵ دارای کمترین تعداد آل مشاهده شده بودند. بیشترین مقدار هتروزیگوسیتی در رویشگاه‌های سنگده، اسالم و آب اسک (۰/۸۳، ۰/۸۱، ۰/۸۰) و کمترین مقادیر در رویشگاه‌های واز، گرگان و بوفلو (۰/۴۶، ۰/۴۵، ۰/۵۸) مشاهده شد (جدول ۱). جمعیت‌های سقز، آب اسک و ارسام (۱/۸۴، ۱/۸، ۱/۸۱) بیشترین مقدار و جمعیت‌های درود، نوزیان، گرین و ارسام (۱/۵۴، ۱/۶۰، ۱/۶۹، ۱/۶۲) دارای کمترین مقدار غنای آلی بودند. از نظر آل‌های اختصاصی نیز جمعیت‌های بوفلو و اسالم (۰/۳۵، ۰/۳۱) دارای بیشترین مقدار و جمعیت‌های ارسام، توسکستان و دورک (۰/۷۰، ۰/۷۰، ۰/۶۰) دارای کمترین مقدار بودند (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات مناطق نمونه‌برداری شده و شاخص‌های تنوع ژنتیکی جمعیت‌های ایران

Table 1. Characteristic of sampling regions and indexes of genetic diversity in Iranian populations

آزمون هاردی- واینبرگ Weinberg test	آل‌های اختصاصی Allelic private	غنای آلی Allelic richness	تعداد آل Number of alleles	ضریب درون آمیزی Inbreeding coefficient	هتروزیگوسیتی Expected heterozygosity	هموزیگوسیتی Observed heterozygosity	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	تعداد افراد Number of samples	رویشگاه Habitat	استان Province
ns	0.31	1.81	4.73	0.07	0.81	0.75	48.86	37.75	5	اسالم	
ns	0.19	1.80	8.30	-0.00	0.80	0.81	52.62	36.29	9	اب اسک	گیلان Gilan
ns	0.24	1.78	8.07	0.11	0.83	0.73	53.28	36.10	9	سنگده	
ns	0.25	1.75	14.19	0.00	0.76	0.76	53.09	36.33	16	گزناسرا	
ns	0.19	1.74	3.46	0.03	0.78	0.75	53.37	36.54	4	شیت	مازندران Mazandaran
ns	0.21	1.75	12.73	-0.08	0.69	0.75	53.61	36.07	14	تیلک	
ns	0.18	1.75	8.42	-0.83	0.46	0.85	52.94	36.01	8	واز	
ns	0.19	1.70	13.65	0.81	0.45	0.82	54.30	36.71	14	گرگان	
ns	0.21	1.77	13.34	0.03	0.70	0.67	53.99	36.66	14	وطنا	

آزمون هاردی- واینبرگ (ns: عدم معنی داری، $P < 0.05$, $** P < 0.01$, $*** P < 0.001$)

Weinberg test (ns, *, * * And ***, respectively, were not significant and significant at the level of $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.001$)

ادامه جدول ۱.

Continued table 1.

آزمون هاردی-واینبرگ Weinberg test	آل‌های اختصاصی Allelic private	غناي آللی Allelic richness	تعداد آلل Number of alleles	ضریب درون آمیزی Inbreeding coefficient	هتروزایگوسیتی Expected heterozygosity	هموزایگوسیتی Observed heterozygosity	عرض جغرافیایی Latitude	طول جغرافیایی Longitude	تعداد افراد Number of samples	رویشگاه Habitat	استان Province
ns	0.21	1.74	6.76	-0.01	0.75	0.76	55.13	36.90	7	شش آب Sheshab	گلستان Golestan
ns	0.17	1.62	3.69	-0.02	0.71	0.73	54.66	36.67	4	ارسام Arsam	
ns	0.17	1.73	9.38	0.05	0.74	0.70	54.53	36.76	10	توسکستان Toskestan	
*	0.16	1.78	8.65	0.08	0.76	0.70	54.38	36.75	9	دورک Dorak	
ns	0.20	1.75	5.23	0.05	0.74	0.70	55.10	36.79	9	سیامرزکوه Siamarzkoh	
ns	0.26	1.77	5.67	0.00	0.72	0.72	46.34	35.40	6	مرویوان Marivan	
ns	0.31	1.84	1.80	-0.08	0.79	0.79	46.60	36.46	2	سقر Sagez	کردستان Kurdistan
ns	0.35	1.87	4.57	-0.02	0.70	0.70	46.23	33.26	5	بوفلو Buflo	
**	0.16	1.69	9.42	0.02	0.72	0.72	48.86	33.59	10	سفیدکوه Sepedkoh	
**	0.11	1.66	7.53	0.06	0.65	0.65	48.58	33.23	8	نوژیان Nozhyan	لرستان Lorestan
*	0.14	1.54	3.50	-	-	-	49.31	33.24	4	دروود Droud	

آزمون هاردی-واینبرگ (ns: عدم معنی داری، $P < 0.05$, ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$)

Weinberg test (ns, *, * * And ***, respectively, were not significant and significant at the level of $p \leq 0.05$, $p \leq 0.01$ and $p \leq 0.001$)

ساختار و تمایز ژنتیکی

(جدول ۲). علاوه بر آن مقایسه دو به دو شاخص تثبیت (Fst) در رویشگاه‌های نمونه‌برداری شده، نشان از تمایز بین رویشگاه‌های متعلق به استان گلستان با دیگر رویشگاه‌های مورد بررسی در این پژوهش را دارد. بر اساس این شاخص دو رویشگاه درود و نوژیان نیز از همدیگر متمایز هستند ($P \leq 0.05$: جدول ۴).

مقدار تنوع مشاهده شده در سیب‌های قفقازی ایران بر اساس دو رویشگاه اصلی این گونه در ایران (هیرکانی و زاگرس) چهار درصد مشاهده شد. به عبارت دیگر سهم قابل توجهی از تفاوت در تنوع مشاهده شده در سیب‌های جنگلی ایران بر اساس آزمون AMOVA، اختصاص به محل رویشگاه و ناحیه رویشی نشان داد

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس مولکولی در جمعیت‌های سیب قفقازی در پنج استان مورد بررسی

Table 2. The result of AMOVA test Caucus's apples among five provinces in this study

منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	اجزاء واریانس	درصد واریانس	اختلاف معنی داری
Source of changes	Degrees of freedom	Sum of squares	Components of variance	Percentage of Variance	Significant
بین دو رویشگاه هیرکانی و زاگرس Between Hyrcanian forest and Zagros forest	1	74.71	0.45	4	P < 0.05
بین جمعیت‌های دو رویشگاه هیرکانی و زاگرس Between populations from Hyrcanian forest and Zagros forest	18	454059	0.87	8	P < 0.05
بین نمونه‌ها Among samples	147	1573.85	0.88	8	
درون نمونه‌ها within samples	167	1493	8.94	80	
مجموع Total	333	3596.15	11.15	100	

آزمون تنگنای ژنتیکی

هتروزیگوسیتی اضافی در اثر کاهش اندازه مؤثر جمعیت‌ها است و مقادیر منفی نشان از گسترش جمعیت بدون آلل‌های نادر است (Piry et al., 1999). بر اساس این پارامتر در مدل جهش گام به گام جمعیت‌های ارسام، دورک و نوژیان کاهش اندازه مؤثر جمعیت‌ها رخ داده است (جدول ۳).

در تمامی جمعیت‌های سیب جنگلی، تعداد مورد انتظار جایگاه‌های ژنی با هتروزیگوسیتی اضافی از تعداد مکان‌های ژنی با کمبود هتروزیگوسیتی بیشتر بود، بر این اساس فرض صفر که بر اساس آن، جمعیت در تعادل جهش-رانس (Mutation-drift) است، پذیرفته می‌شود. مقادیر مثبت در پارامتر T2 نشان از بروز تنوع

جدول ۳- آنالیز تنگنای ژنتیکی در جمعیت‌های مورد بررسی بر اساس ۲۶ نشانگر ریزماهواره

Table 3. The result of Bottleneck among populations based on 26 microsatellites marker

آزمون استاندارد شده تفاوت		آزمون ویلکاکسون		آزمون سیگن		جمعیت				
Standardized differences test		Wilcoxon test		Sign test		Population				
SMM	IAM	SMM	IAM	SMM	IAM	H _e /H _d	H _e /H _d			
احتمال	T2	احتمال	T2	احتمال	H _e /H _d	احتمال	H _e /H _d			
0.364	-0.348	0.327	0.446	0.691	0.758	0.758	16/10	0.488	14/12	اسالم Asalem
0.133	-1.112	0.030	1.867	0.104	0.993	0.038	20/6	0.004	20/6	اب اسک Abesk

He: تعداد مورد انتظار جایگاه‌های ژنی با هتروزیگوسیتی اضافی، Hd: تعداد مورد انتظار جایگاه‌های ژنی با کمبود هتروزیگوسیتی، IAM: مدل آلی نامحدود، SMM: مدل جهش گام به گام

Expected number of loci with heterozygosity excess (He), Expected number of loci with heterozygosity deficiency (Hd), Infinite Alleles Model (IAM), Stepwise Mutation Model (SMM)

ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

آزمون استاندارد شده تفاوت		آزمون ویلکاکسون		آزمون سیگن		جمعیت				
Standardized differences test		Wilcoxon test		Sign test		Population				
SMM		IAM		SMM		IAM				
احتمال	T2	احتمال	T2	احتمال	احتمال	احتمال	H _e /H _d	احتمال	H _e /H _d	
0.000	-3.387	0.318	0.472	0.093	0.781	0.162	12/14	0.444	16/10	سنگده Sangdeh
0.000	-3.359	0.026	1.934	0.041	0.992	0.026	16/10	0.208	18/8	گزناسرا Gaznasara
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شیت Shit
0.000	-3.85	0.065	1.507	0.020	0.978	0.025	16/10	0.25	18/8	تیلک Tilak
0.137	-1.09	0.032	1.841	0.226	0.994	0.0100	12/14	0.061	19/7	واز Vaz
0.023	-1.98	0.010	2.13	0.090	0.993	0.059	15/11	0.017	21/5	گرگان Gorgan
0.000	-3.837	0.060	1.548	0.012	0.970	0.055	15/11	0.226	18/8	وطنا Vatna
0.050	-1.637	0.137	1.091	0.064	0.932	0.043	15/11	0.309	17/9	شش آب Sheshab
0.308	1.763	0.000	3.129	0.966	0.997	0.038	20/6	0.004	20/6	ارسام Arsam
0.000	-3.896	0.198	0.848	0.047	0.955	0.111	14/12	0.301	17/9	توسکستان Toskestan
0.131	1.119	0.000	3.706	0.94	1	0.524	16/10	0.000	24/2	دورک Dorak
0.003	-2.689	0.090	1.340	0.042	0.975	0.087	15/11	0.318	21/5	سیامرزکوه Siamarzkoh
0.403	0.245	0.005	2.530	0.917	0.999	0.358	17/9	0.002	22/4	مرویوان Marivan
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	سقز Sagez
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	بوفلو Buflo
0.126	-1.41	0.010	2.322	0.353	0.996	0.514	16/10	0.178	18/8	سفیدکوه Sepedkoh
0.008	2.402	0.000	4.417	0.999	1	0.008	21/5	0.000	24/2	نوزیان Nozhyan
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	درود Droud

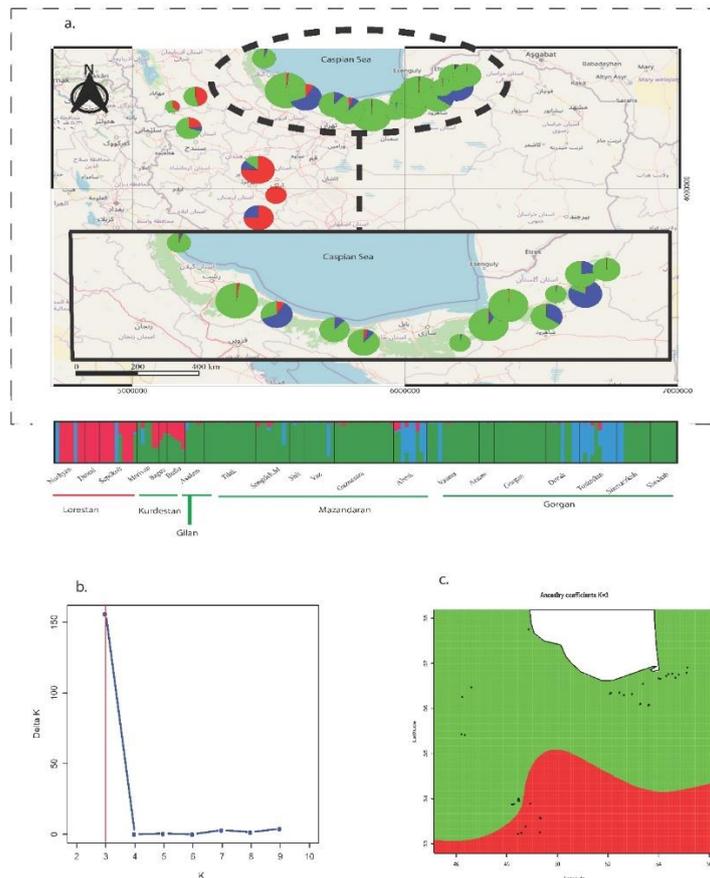
He: تعداد مورد انتظار جایگاه‌های ژنی با هتروزیگوسیتی اضافی، Hd: تعداد مورد انتظار جایگاه‌های ژنی با کمبود هتروزیگوسیتی، IAM: مدل آلی نامحدود، SMM: مدل جهش گام به گام

Expected number of loci with heterozygosity excess (He), Expected number of loci with heterozygosity deficiency (Hd), Infinite Alleles Model (IAM), Stepwise Mutation Model (SMM)

ساختار خوشه‌بندی ژنتیکی

وطن، ارسام، گرگان دورک، سیامرزکوه و شش آب) در گروه سبز قرار گرفتند. در این بین نمونه‌های آب اسک مازندران و توسکستان گرگان در گروه آبی قرار گرفتند. به‌طور کلی تحلیل STRUCTURE، سطح بالایی از مقدار ناهمگنی و تفاوت ژنتیکی را بر اساس ناحیه ریشی در بین نمونه‌های ایران نشان داد (شکل ۱a). نتایج ساختار TESS نشان داد که جمعیت‌های متعلق به سه استان شمالی ایران و کردستان دارای یک منشأ مشترک بوده و جمعیت‌های لرستان به تنهایی دارای منشأ جداگانه هستند (شکل ۱b).

پس از رسم بارپلات‌های حاصل از STRUCTURE برای $K=2$ تا $K=10$ بر اساس نمودار دلتا K ، مقدار عددی $K=3$ ، به‌عنوان بهترین K برای تعداد ساختار متمایز ژنتیکی سیب قفقازی ایران انتخاب شد (Li and Liu, 2018) (شکل ۱). بر این اساس تحلیل نمونه‌های مربوط به استان لرستان (ناحیه ریشی زاگرسی) به‌صورت کامل در گروه قرمز، نمونه‌های استان کردستان به حالت ترکیبی در گروه قرمز و سبز قرار گرفتند. جمعیت‌های مربوط به بخش‌های غربی هیرکانی (اسالم گیلان) و مرکزی هیرکانی (تیلک، سنکده، شیت، واز، گزناسرا،



شکل ۱- a: ساختار ژنتیکی سیب قفقازی ایران ($N=167$) بر اساس تحلیل STRUCTURE برای مقدار $K=3$ با استفاده از ۲۶ نشانگر، b: نمودار دلتا K برای سیب‌های قفقازی ایران، c: اجداد سیب‌های قفقازی ایران بر اساس تحلیل TESS در مقدار عددی $K=3$

Figure 1. a: Genetic structure of Iranian Caucasus's apples ($N=167$) based on STRUCTURE for $K=3$, using 26 microsatellite markers; Plot of delta K values for Iranian Caucasus's apples, c: Ancestry coefficients $K=3$ for Iranian Caucasus's apples based on TESS analysis at the value $K=3$.

جدول ۴- مقدار جریان ژنی (Nm) و تمایز (Fst) بین ۲۰ جمعیت مورد بررسی بر اساس ۲۶ نشانگر ریزماهوره

Table 3. Gene flow (Nm) and genetic differentiation (Fst) among 20 populations based on 26 microsatellites marker

نوزیان Nozhyan	درود Droud	سپیدکوه Sepdkoh	مربوان Marivan	سغز Sagez	بوفلو Bufloo	اسالم Asalem	تیلک Tilak	سنگده Sngdeh	شیت Shit	واز Vaz	گزناسرا Gaznasara	آب اسک Abesk	وئنا Vaina	ارسام Arsam	گوغان Gorgan	دورک Dorak	توسکستان Toskestan	سیامرزکوه Siamarzkoh	شش آب Sheshab	رویشگاه Habitat	استان Province
0	0.04*	0.11	0.12	0.17	0.12	0.14	0.13	0.11	0.17	0.13	0.12	0.09	0.12	0.17	0.14	0.1	0.11	0.11	0.13	نوزیان Nozhyan	لرستان Lorestan
0.07	0	0.17	0.18	0.23	0.17	0.21	0.19	0.17	0.24	0.2	0.18	0.18	0.18	0.23	0.2	0.18	0.2	0.18	0.2	درود Droud	لرستان Lorestan
0.62	0.72	0	1.1	0.13	0.18	0.1	0.09	0.09	0.14	0.1	0.08	0.08	0.08	0.16	0.11	0.09	0.1	0.09	0.11	سپیدکوه Sepdkoh	
0.85	0.92	0.65	0	0.13	0.09	0.08	0.07	0.07	0.11	0.08	0.06	0.08	0.05*	0.13	0.08	0.07	0.1	0.07	0.07	مربوان Marivan	کردستان Kurdistan
0.97	1.02	0.72	0.8	0	0.12	0.12	0.13	0.12	0.17	0.15	0.13	0.15	0.14	0.21	0.15	0.15	0.18	0.14	0.14	سغز Sagez	کردستان Kurdistan
0.84	0.83	0.56	0.71	0.67	0	0.09	0.09	0.09	0.15	0.11	0.09	0.1	0.09	0.15	0.11	0.09	0.13	0.1	0.1	بوفلو Bufloo	
1.15	1.2	0.67	0.6	0.72	0.67	0	0.07	0.06	0.1	0.08	0.06	0.09	0.06	0.14	0.09	0.09	0.12	0.1	0.07	اسالم Asalem	گیلان Gilan
0.98	1.04	0.64	0.46	0.87	0.72	0.49	0	0.05*	0.08	0.05*	0.04*	0.08	0.04*	0.12	0.06	0.07	0.12	0.05*	0.04*	تیلک Tilak	گیلان Gilan
0.77	0.87	0.65	0.5	0.76	0.68	0.5	0.35	0	0.1	0.06	0.04*	0.08	0.05*	0.1	0.07	0.06	0.1	0.05*	0.05*	سنگده Sngdeh	
1.14	1.29	0.89	0.66	1.02	1.14	0.65	0.45	0.6	0	0.09	0.08	0.11	0.07	0.17	0.1	0.11	0.15	0.09	0.08	شیت Shit	
0.9	1.03	0.67	0.52	1.06	0.87	0.58	0.31	0.41	0.51	0	0.04*	0.08	0.04*	0.12	0.07	0.07	0.1	0.05*	0.05*	واز Vaz	مازندران Mazandara
0.87	0.9	0.56	0.43	0.88	0.66	0.42	0.24	0.32	0.46	0.27	0	0.09	0.04*	0.11	0.06	0.06	0.11	0.05*	0.04*	گزناسرا Gaznasara	مازندران Mazandara
0.6	0.92	0.58	0.63	1.21	0.89	0.83	0.75	0.71	0.83	0.59	0.77	0	0.07	0.15	0.1	0.07	0.02*	0.07	0.09	آب اسک Abesk	

جریان ژنتیکی (قسمت چپ) (Nm) و شاخص تنبیت (Fst) (قسمت راست) (* معنی داری در سطح $p \leq 0.05$)

Gene flow (Nm; Left section) and genetic differentiation (Fst) (Right section), (*significant at the level of $p \leq 0.05$)

ادامه جدول ۴.
Continued table 4.

نوزیان Nozhyan	درد Droud	سپیدکوه Sepdkoh	مریوان Marivan	سغز Sagez	بو فلر Buflo	اسالم Asalem	تیلک Tilak	سنگده Sngdeh	شیت Shit	واز Vaz	گزناسرا Gaznasara	آب اسک Abesk	وطن Vatna	ارسام Arsam	گرگان Gorgan	دورک Dorak	توسکستان Toskestan	سیامرزکوه Siamarzkoh	شش آب Sheshab	رویشگاه Habitat	استان Province
0.94	1.04	0.56	0.39	0.99	0.71	0.48	0.3	0.39	0.42	0.3	0.25	0.64	0	0.11	0.04*	0.05*	0.09	0.04*	0.04*	وطن Vatna	
0.93	0.04	0.87	0.72	1.16	0.58	0.76	0.57	0.49	0.81	0.6	0.55	0.98	0.52	0	0.11	0.11	0.18	0.1	0.11	ارسام Arsam	
0.95	1.01	0.67	0.47	0.99	0.79	0.58	0.37	0.45	0.5	0.41	0.35	0.83	0.25	0.52	0	0.05*	0.12	0.07	0.05*	گرگان Gorgan	
0.67	0.96	0.62	0.53	1.15	0.7	0.74	0.5	0.47	0.69	0.48	0.42	0.57	0.35	0.55	0.31	0	0.07	0.05*	0.06	دورک Dorak	گلستان Golesta n
0.67	1.13	0.68	0.8	1.47	1.23	1.15	1.05	0.89	1.07	0.78	1.01	0.14	0.75	1.16	0.93	0.52	0	0.08	0.11	توسکستان Toskestan	
0.76	0.98	0.64	0.52	1.03	0.87	0.78	0.37	0.38	0.58	0.31	0.34	0.55	0.32	0.49	0.44	0.37	0.64	0	0.04*	سیامرزکوه Siamarzkoh	
1	1.08	0.79	0.46	0.93	0.78	0.55	0.28	0.38	0.47	0.3	0.29	0.82	0.24	0.51	0.26	0.41	0.49	0.26	0	شش آب Sheshab	

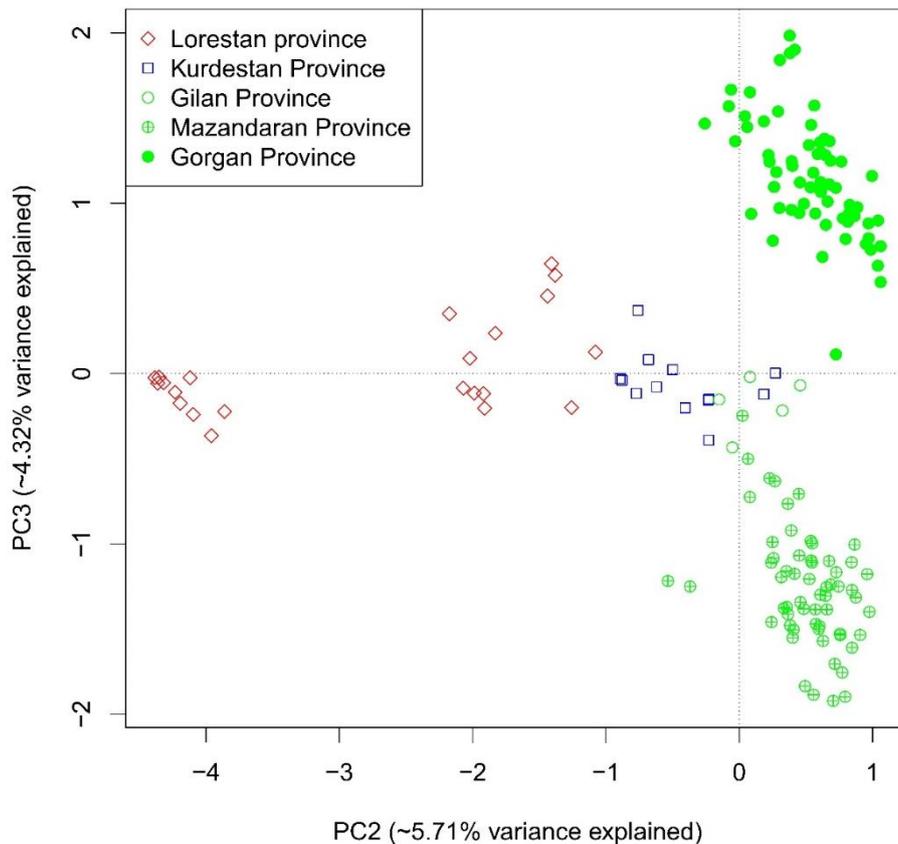
جریان ژنتیکی (قسمت چپ) (Nm) و شاخص تنبیت (Fst) (قسمت راست) (* معنی داری در سطح $p \leq 0.05$)

Gene flow (Nm; Left section) and genetic differentiation (Fst) (Right section), (*significant at the level of $p \leq 0.05$)

تجزیه به مولفه‌های اصلی

بررسی روابط بین جمعیتی براساس تجزیه به مولفه‌های اصلی در محور اول و دوم به ترتیب ۵/۲۸ و ۴/۴۵ درصد از واریانس بین جمعیت‌ها را توجیه می‌کند. بر این اساس جمعیت‌های ناحیه رویشی زاگرس به دو گروه مجزا از همدیگر تقسیم شدند و هیچ‌گونه هم‌پوشانی با همدیگر ندارند. همچنین جمعیت‌های متعلق به ناحیه

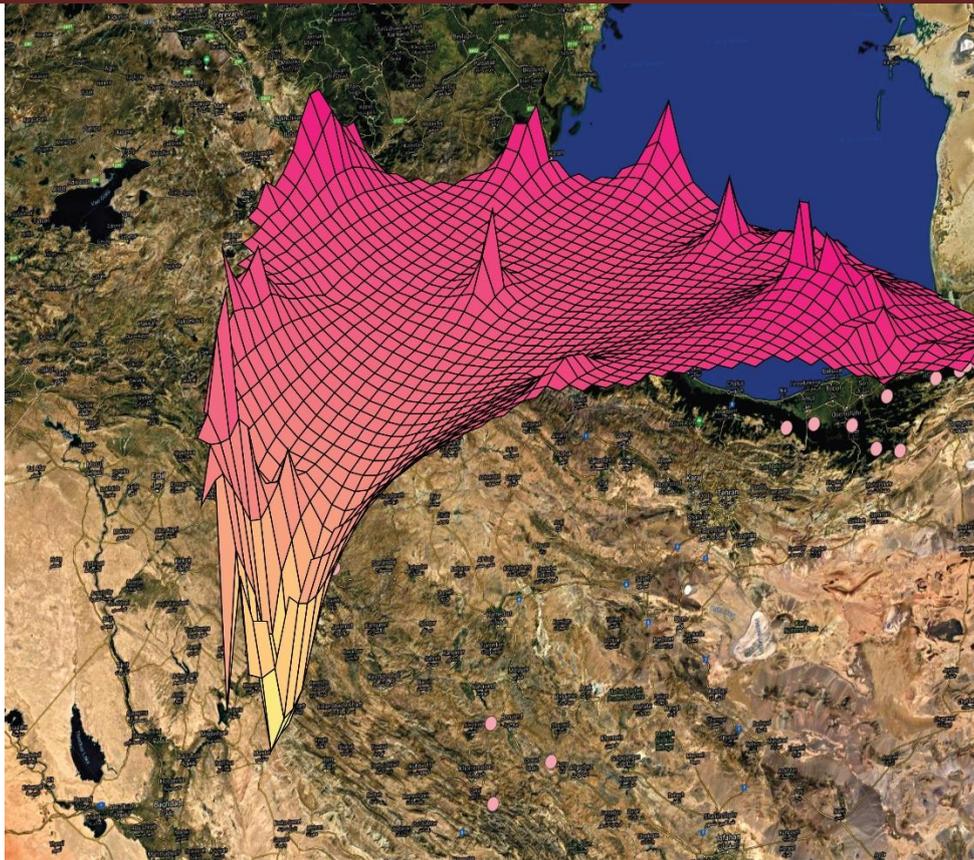
رویشی هیرکانی نیز به دو گروه مجزا تقسیم شدند، گروه اول؛ که از نظر طول جغرافیایی به بخش مرکزی نزدیک‌تر است دارای هم‌پوشانی زیادی با نمونه‌های مرکزی هیرکانی است، ولی گروه دوم از نمونه‌های بخش غربی هیرکانی در گروهی مجزا نسبت به دیگر نمونه‌های مورد بررسی در این پژوهش قرار گرفتند (شکل ۲).



شکل ۲- تجزیه به مولفه‌های اصلی در پنج استان مورد بررسی با استفاده از ۲۶ نشانگر ریزماهوره
Figure 2. Principal component analyses of five province, using 26 microsatellite markers.

سیب قفقازی در این ناحیه به صورت تصادفی باشد (Miller, 2005). در مجموع دو کلنی متفاوت از سیب جنگلی در ناحیه رویشی زاگرس و هیرکانی مشاهده شد. در رویشگاه هیرکانی، همبستگی بالایی بین جمعیت‌های نمونه‌برداری شده مشاهده شد (شکل ۳).

تحلیل همبستگی بین ساختارها را نشان می‌دهد بر اساس این تحلیل، همبستگی بسیار کمی بین رویشگاه‌های لرستان و کردستان از ناحیه رویشی زاگرس وجود دارد و همچنین در بین جمعیت‌های زاگرس، تجمع آلی به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد که این مورد می‌تواند به علت تجمع آل‌های



شکل ۳ - تحلیل Allelic space نمونه‌های سیب قفقازی ایران بر اساس ۲۶ نشانگر مورد بررسی

Fig 3. Allelic space among Iranian population Caucasus's apples base on 26 microsatellites markers

سیب قفقازی در رویشگاه‌های هیرکانی و زاگرس وجود

بحث

دارد.

غنای آلی جمعیت‌ها در بررسی‌های ژنتیکی جمعیت‌ها، بیشترین اهمیت را در بین دیگر پارامترهای تنوع ژنتیکی دارد و آگاهی از آن به برنامه‌های حفاظت و استراتژی‌های جدید حفاظت از گونه‌ها کمک خواهد کرد (Coart et al., 2003). کاهش غنای آلی در بین جمعیت‌ها در نهایت منجر به کاهش اندازه جمعیت‌ها و خطر انقراض جمعیت‌ها می‌شود (Nei et al., 1975). میانگین غنای آلی سیب‌های ایران ($66/73 \pm 0/1$) در مقایسه با سیب‌های اروپا و چین ($4/2 \pm 0/6$) کمتر است (Cornille et al., 2013) که نشان‌دهنده کاهش اندازه جمعیت‌های سیب ایران است. هتروزیگوسیتی بالا در پژوهش‌های ژنتیک جمعیت نشان‌دهنده مقدار تنوع

امروزه استفاده از نشانگرهای ژنتیکی برای مدیریت منابع ژنتیکی، شناسایی و حفاظت از آن‌ها گسترش یافته است (Van Treuren et al., 2001). کشور ایران با وجود رویشگاه‌های مختلف هیرکانی و زاگرس، یکی از مراکز تنوع ژنتیکی گونه‌های پهن برگ به‌ویژه سیب قفقازی در دنیا است (Gharghani et al., 2009; Amirchakhmaghi et al., 2018). این بررسی در مقایسه با دیگر بررسی‌هایی که در زمینه ساختار ژنتیکی سیب قفقازی ایران با استفاده از نشانگرهای ریزماهواره انجام شد (Gharghani et al., 2009; Amirchakhmaghi et al., 2018; Rostami et al., 2019)، از نشانگرهای بیشتری استفاده شد و علاوه بر آن نمونه‌برداری در مقیاس وسیع‌تری انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد، ساختارهای ژنتیکی متمایزی بین

بر تقسیم‌بندی جغرافیایی دارد، در این بررسی جمعیت‌های ایران از نظر شاخص F_{st} (۰/۰۹) مقدار تمایز متوسطی را از خود نشان دادند. اما ساختار ژنتیکی سیب‌های قفقازی در ایران در دو رویشگاه اصلی زاگرس و هیرکانی و در طول جغرافیایی بررسی شد که ساختارهای کاملاً مجزا در آن‌ها مشاهده شد. در دنیا با انجام پژوهش‌های مورفولوژی و ژنتیکی، ساختارهای مختلف را شناسایی کرده و از بذر آن‌ها، برای حفظ گونه‌های ارزشمند وحشی گیاهی و جانوری، در بانک ژن محافظت می‌شود، به همین دلیل جمعیت‌های سیب قفقازی در دو ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس می‌توانند در پشتیبانی و مدیریت بانک ژن در آینده سودمند باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

ارزش‌های اکولوژیکی کریدورهای ارتباطی بین جمعیت‌ها از نظر تأثیر بر حیات وحش و حفاظت ژنتیکی آن‌ها ثابت شده است (Rosenberg and Raphael, 1986). علاوه بر آن دورگه‌گیری نیز یکی دیگر از روش‌های محافظت از ژنوم گونه‌های وحشی است (Wiens, 1997). نتایج این تحقیق نشان داد سیب‌های قفقازی ایران واقع در دو ناحیه رویشی هیرکانی و زاگرس دارای دو ساختار ژنتیکی مجزا از همدیگر هستند. با توجه به منفی بودن شاخص درون-آمیزی و رخ دادن رانش ژنتیکی بین جمعیت‌های سیب جنگلی ایران شرایط رویشگاهی برای ادامه حیات این گونه در ایران در حد متوسط است و می‌توان با دورگه‌گیری و ایجاد کریدورهای ارتباطی در جمعیت‌هایی که فاصله جغرافیایی زیادی از یک‌دیگر ندارند به ویژه در زاگرس، شرایط رویشگاهی را به برای حفظ این گونه ارزشمند بهبود بخشید.

بالای آلی در یک جمعیت است (Rousset, 2008). میانگین هتروزیگوسیتی مشاهده‌شده بر اساس نتایج این پژوهش برای سیب‌های جنگلی ایران ۰/۷۴ است که این مقدار برای سیب‌های اروپا و چین ۰/۸ است. مقدار هتروزیگوسیتی نمونه‌های ایران در این پژوهش همانند نتایج Rostami et al. (2019) نسبت به نمونه‌های اروپا و چین کمتر است؛ که این نشان‌دهنده رشد یکنواخت‌تر و تعداد آل‌های کمتر در نمونه‌های ایران است (Zouros et al., 1980). ضریب درون‌آمیزی به پیش‌بینی نسل آینده جمعیت‌ها کمک می‌کند و وضعیت جمعیت‌ها را از نظر استقرار زادآوری مشخص می‌کند (Belkhir et al., 2002). مقادیر بالای FIS نشان‌دهنده هم‌نژادی جمعیت‌های مورد بررسی است و مقادیر منفی FIS بدین معنی است که اجداد گونه‌ها از نظر زادآوری و استقرار آن‌ها موفق نبوده و هر چه موفق‌تر باشند واریانس این عدد کمتر خواهد شد (Belkhir et al., 2002). در این تحقیق مقدار ضریب درون‌آمیزی برای جمعیت‌های ایران -0.02 ± 0.08 بود که این مقدار در مقایسه با جمعیت‌های اروپا و چین (0.06 ± 0.04) و همچنین دیگر پژوهش‌های انجام‌شده بسیار کمتر است (Gharghani et al., 2009). بر اساس نتایج ضریب درون‌آمیزی، استقرار زادآوری در بین جمعیت‌های ایران ضعیف است و می‌توان بیان داشت جمعیت‌های ایران به‌خصوص جمعیت‌های کردستان دارای نژادهای مختلفی هستند. هرگاه مقادیر جریان ژنی کمتر از یک باشد، می‌توان عامل رانش ژنتیکی را به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تمایز بین جمعیت‌ها دانست (Henzler et al., 2007). محاسبه میانگین جریان ژنی (Nm) در این بررسی ۰/۶ بود که این مقدار نشان‌دهنده رخ‌دادن رانش ژنتیکی در بین جمعیت‌های سیب قفقازی ایران است. بر اساس نتایج Cornille et al. (2013) گونه سیب قفقازی از نظر ساختار ژنتیکی تطبیق‌پذیری خیلی کمی،

We thank Amandine Cornille for her supervision in the project and hosting in her lab, and the Génétique Quantitative et Evolution-Le Moulon lab, the programme Campus France Franco-Iranien « Gundhishapur » 2016-2018, the Institut Diversité Écologie et Évolution du Vivant (IDEEV), and ATIP-Avenir for funding. We also thank Adrien Falce, Olivier Langella and Benoit Johannet for help and support for the bioinformatic analyses on the INRAE-Génétique Quantitative et Evolution-Le Moulon lab cluster, and, Anthony Venon, Carine Remoué and Matthieu Flaque as well as the Plateforme de Génotypage GENTYANE INRA UMR 1095 for their help for genotyping. We are grateful to well as the INRAE MIGALE bioinformatics platform (<http://migale.jouy.inra.fr>) for providing help and support, in particular to Véronique Martin, Eric Montaubon and Valentin Loux. "

تشکر و قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که این تحقیق به عنوان بخشی از طرح شماره ۹۷۰۱۵۱۱۳ با عنوان " شارش ژنی بین سیب جنگلی (*Malus*) با عنوان (*orientalis*) Uglitz و سیب خوراکی (*Malus domestica*) Borkh و ساختار ژنتیکی مکانی سیب‌های جنگلی در ایران" مورد حمایت این صندوق انجام شده است، تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- Amirchakhmaghi, N.; Yousefzadeh, H.; Hosseinpour, B.; Espahbodi, K.; Aldaghi, M.; Cornille, A., First Insight into Genetic Diversity and Population Structure of the Caucasian Wild Apple (*Malus Orientalis* Uglitzk.) in the Hyrcanian Forest (Iran) and Its Resistance to Apple Scab and Powdery Mildew. *Genetic resources and crop evolution* **2018**, 65 (4), 1255–1268.
- Belkhir, K.; Castric, V.; Bonhomme, F., IDENTIX, a Software to Test for Relatedness in a Population Using Permutation Methods. *Molecular ecology* **2002**, 2 (4), 611–614.
- Coart, E.; Vekemans, X.; Smulders, M. J. M.; Wagner, I.; Van Huylenbroeck, J.; Van Bockstaele, E.; Roldán-Ruiz, I., Genetic Variation in the Endangered Wild Apple (*Malus Sylvestris* (L.) Mill.) in Belgium as Revealed by Amplified Fragment Length Polymorphism and Microsatellite Markers. *Molecular ecology* **2003**, 12 (4), 845–857.
- Cornille, A.; Giraud, T.; Smulders, M. J. M.; Roldán-Ruiz, I.; Gladieux, P., The Domestication and Evolutionary Ecology of Apples. *Trends Genet* **2014**, 30 (2), 57–65.
- Cornille, A.; Gladieux, P.; Giraud, T., Crop-to-Wild Gene Flow and Spatial Genetic Structure in the Closest Wild Relatives of the Cultivated Apple. *Evolutionary Applications* **2013**, 6 (5), 737–748.
- Evenson, R. E.; Gollin, D., Assessing the Impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science* **2003**, 300 (5620), 758–762.
- Fischer, A.; Schmidt, M., Wilde Kern-Und Steinobstarten, Ihre Heimat Und Ihre Bedeutung Für Die Entstehung Der Kultursorten Und Die Züchtung. *Der Züchter* **1938**, 10 (6), 157–167.
- Gharaghani, A.; Solhjoo, S.; Oraguzie, N., A Review of Genetic Resources of Pome Fruits in Iran. *Genet. Resour. Crop Evolution* **2016**, 63 (1), 151–172.
- Gharaghani, A.; Zamani, Z.; Talaie, A.; Oraguzie, N. C.; Fatahi, R.; Hajnajari, H.; Wiedow, C.; Gardiner, S. E., Genetic Identity and Relationships of Iranian Apple (*Malus* × *Domestica* Borkh.) Cultivars and Landraces, Wild *Malus* Species and Representative Old Apple Cultivars Based on Simple Sequence Repeat (SSR) Marker Analysis. *Genetic Resources and Crop Evolution* **2009**, 56 (6), 829–842.
- Henzler-Wildman, K. A.; Lei, M.; Thai, V.; Kerns, S. J.; Karplus, M.; Kern, D. A., Hierarchy of Timescales in Protein Dynamics Is Linked to Enzyme Catalysis. *Nature* **2007**, 450 (7171), 913–916.
- Hubisz, M. J.; Falush, D.; Stephens, M.; Pritchard, J. K., Inferring Weak Population Structure with the Assistance of Sample Group Information. *Molecular ecology resources* **2009**, 9 (5), 1322–1332.
- Li, Y. L.; Liu, J. X., StructureSelector: A Web-Based Software to Select and Visualize the Optimal Number of Clusters Using Multiple Methods. *Molecular ecology resources* **2018**, 18 (1), 176–177.
- Miller, M. P., Alleles In Space (AIS): Computer Software for the Joint Analysis of Interindividual Spatial and Genetic

- Information. *Journal of Heredity* **2005**, *96* (6), 722–724.
- Mittermeier, R. A.; Gil, P.; Hoffman, M.; Pilgrim, J.; Brooks, T.; Mittermeier, C. G., Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions. *México: CEMEX* **1999**.
- Nei, M.; Maruyama, T.; Chakraborty, R., The Bottleneck Effect and Genetic Variability in Populations. *Evolution* **1975**, 1–10.
- Patocchi, A.; Frei, A.; Frey, J. E.; Kellerhals, M., Towards Improvement of Marker Assisted Selection of Apple Scab Resistant Cultivars: Venturia Inaequalis Virulence Surveys and Standardization of Molecular Marker Alleles Associated with Resistance Genes. *Molecular Breeding* **2009**, *24* (4), 337–347.
- Piry, S.; Luikart, G.; Cornuet, J.-M., Computer Note. BOTTLENECK: A Computer Program for Detecting Recent Reductions in the Effective Size Using Allele Frequency Data. *Journal of Heredity* **1999**, *90* (4), 502–503.
- Pritchard, J. K.; Stephens, M.; Donnelly, P., Inference of Population Structure Using Multilocus Genotype Data. *Genetics* **2000**, *155* (2), 945–959.
- Rosenberg, K. V.; Raphael, M. G., Effects of Forest Fragmentation on Vertebrates in Douglas-Fir Forests **1986**.
- Rostami, R.; Seyedi, N.; Yousefzadeh, H., Genetic Diversity of Wild Apple (*Malus Orientalis* Uglitz.) in Hyrcanian Forests of Iran by SSR Markers. *Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 169–172 (In Persian)
- Rousset, F. Genepop'007: A Complete Re-implementation of the Genepop Software for Windows and Linux. *Molecular ecology resources* **2008**, *8* (1), 103–106.
- Szpiech, Z. A.; Jakobsson, M.; Rosenberg, N. A., ADZE: A Rarefaction Approach for Counting Alleles Private to Combinations of Populations. *Bioinformatics* **2008**, *24* (21), 2498–2504.
- Van Treuren, R.; Van Soest, L. J. M.; Van Hintum, T. J. L., Marker-Assisted Rationalisation of Genetic Resource Collections: A Case Study in Flax Using AFLPs. *Theoretical and Applied Genetics* **2001**, *103* (1), 144–152.
- Wiens, J. A., Metapopulation Dynamics and Landscape Ecology. In *Metapopulation biology* **1997**; pp 43–62.
- Wiens, J. J., The Niche, Biogeography and Species Interactions. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* **2011**, *366* (1576), 2336–2350.
- Khodadoost, A.; Yousefzadeh, H.; Amirchakhmaghi, N.; Abdollahi, H.; Hoseinzadeh, A., Genetic Diversity of *Malus Orientalis* in Hyrcanian Forest Using ISSR-PCR Markers. *Journal of Cellular and Molecular Research* **2017**, *29* (4), 359–369 (In Persian).
- Zouros, E.; Singh, S. M.; Miles, H. E., Growth Rate in Oysters: An Overdominant Phenotype and Its Possible Explanations. *Evolution* **1980**, 856–867.

Genetic diversity and structure of Iranian wild apple (*Malus orientalis* Uglitzk) distributed in Iran using SSR markers

H. Bina¹, H. Yousefzadeh^{*2}, B. Hosseinpour³ and H. Abdollahi⁴

1- Ph.D. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran. (hamid.bina67@gmail.com)

2- Associate Professor, Department of Environment Science, Faculty of Natural sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran. (h.yousefzadeh@modares.ac.ir)

3- Assistant Professor, Department of Agriculture, Institute of Agriculture, Iranian Research Organization for Science and Technology (IROST), Tehran, I. R. Iran. (bhosseinpour@gmail.com)

4- Assistant Professor, Temperate Fruits Research Centre, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, I. R. Iran. (habdollahi@yahoo.it)

Received: 07.12.2020 Accepted: 29.03.2021

Abstract

Caucasian apple (*Malus orientalis* Uglitzk) is one of the forest-garden species of Iran that is distributed in Hyrcanian and Zagros vegetation areas in Iran. In this study, the diversity and genetic structure of Caucasian apples were investigated using 26 microsatellite markers. The results showed that the observed heterozygosity was between 0.46 - 0.83 and the allelic richness was between 1.54 - 1.84. In more than 80% of habitats, heterozygosity was expected to be within the expected range. Our finding suggests that between Iranian populations wild apples have not experienced a genetic bottleneck in the recent result. The range of inoculation coefficient for Caucasian apples in Hyrcanian forest was between -0.84 and 0.81 and for Zagros forest was between -0.2 and 0.81. The mean gene flow is 0.24 and 0.69 for Hyrcanian forest and Zagros forest, respectively. Based on Hardy-Weinberg equilibrium only populations from Lorestan province and Dorak region from Golestan province were deviated. The study of the results of genetic structure also indicates the formation of three completely different structures for Caucasian apple populations in Iran. based on the analysis of principal components analysis, Hyrcanian and Zagros regions showed a completely different structure from each other.

Keywords: Bottleneck, Conservation genetics, Gene flow, Wild apple.

* Corresponding author

Tel: +989114420397

تعیین کننده‌های مصرف انرژی خانگی در سه روستای جنگلی شهرستان خرم‌آباد

احمد بازگیر^۱، رحیم ملک‌نیا^{۲*} و مهدی رحیمیان^۳

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. (bazgir.ah@fa.lu.ac.ir)

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

۳- دانشیار، گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران. (rahimian.m@lu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۹/۲۴

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۵/۲۶

چکیده

هدف از این پژوهش شناخت عوامل مؤثر بر مصرف انرژی خانگی در سه روستای جنگلی شهرستان خرم‌آباد بود. این سه روستا شامل گوشه‌شهنشاه دارای گاز طبیعی لوله‌کشی، چناربگالی دارای جایگاه نفت سفید و گاز مایع و ملیم‌دول فاقد گاز طبیعی، نفت سفید و گاز مایع بود. برای انجام پژوهش ۱۴۶ خانوار به‌عنوان نمونه و به‌صورت تصادفی ساده انتخاب شدند. روش پژوهش این بررسی، پیمایش بوده و داده‌ها با استفاده از ابزار پرسشنامه گردآوری شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS انجام شد و برای بررسی همبستگی بین متغیرهای مستقل با مصرف سالیانه سوخت از آزمون پیرسون و برای مقایسه میانگین مصرف سوخت در گروه‌بندی‌های دووجهی از آزمون t مستقل و من-ویتنی استفاده شد. نتایج نشان داد در روستای گوشه‌شهنشاه بین مصرف سالیانه گاز طبیعی با متغیرهای درآمد، بعد خانوار، مقدار مساحت گرم‌شده منزل و تعداد بخاری رابطه مثبت و معنی‌دار و با متغیر قدمت منزل رابطه منفی و معنی‌داری وجود داشت. همچنین در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول بین مصرف سالیانه هیزم با متغیرهای بعد خانوار، تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال، مقدار مساحت گرم‌شده منزل و تعداد بخاری رابطه مثبت و معنی‌دار و با درآمد رابطه منفی و معنی‌داری وجود داشت. نتایج پژوهش بیانگر این بود که مصرف سوخت خانگی تحت تأثیر عوامل متعددی است ولی دسترسی به یک منبع انرژی پاک با بهره‌وری بالا، قیمت مناسب و دسترسی راحت می‌تواند مصرف هیزم را به مقدار قابل توجهی بکاهد و تخریب جنگل‌ها را کاهش دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوی مصرف، خانوارهای روستایی، سوخت، گاز طبیعی، هیزم.

منابع انرژی غیراقتصادی و آلاینده به منابع انرژی نو و پاک‌تر در کشورهای درحال توسعه و کشور ایران به‌ویژه در بخش خانگی که بیشترین سهم را در مصرف انرژی دارد، مورد توجه سیاست‌گذاران و دولتمردان قرار گرفته است (Zare Shahabadi et al., 2013). «الگوی مصرف انرژی» به کمیت و کیفیت و یا مقدار و چگونگی مصرف انرژی‌هایی مانند نفت، گاز، برق و از این قبیل موارد در مصارف مختلف صنعتی و خانگی و به‌منظور تولید و یا برآوردن نیازها اطلاق می‌شود (Zare Shahabadi et al., 2013). برنامه‌های انجام شده در کشور برای تغییر الگوی مصرف انرژی خانگی و کاهش وابستگی به منابع انرژی غیراقتصادی با هدف جایگزین کردن نفت سفید با سوخت‌های سنتی (غیراقتصادی) در مناطق روستایی از پیش از انقلاب شروع شده است. بعد از انقلاب اسلامی توزیع گسترده نفت سفید در سطح روستاها ادامه یافت و گاز مایع نیز وارد الگوی مصرف سوخت روستاییان شد (Shaditalab and Naidar, 2009). در زمینه تأمین انرژی برق روستایی طبق جدیدترین آمار منتشر شده از وزارت نیرو ۹۹/۹ درصد از خانوارهای روستایی ایران تا پایان سال ۱۳۹۴ برق‌رسانی شده‌اند (Ministry of Energy, 2016). همچنین طی دهه‌های اخیر سیاست جایگزینی گاز طبیعی بجای نفت سفید و فرآورده‌های نفتی به‌عنوان یکی از سیاست‌های راهبردی حاکم بر بخش انرژی بوده که نتیجه آن گازرسانی به حدود ۴۲ درصد از روستاهای کشور تا سال ۱۳۹۷ است (Emami Meybodi et al., 2019; Ashouri et al., 2010).

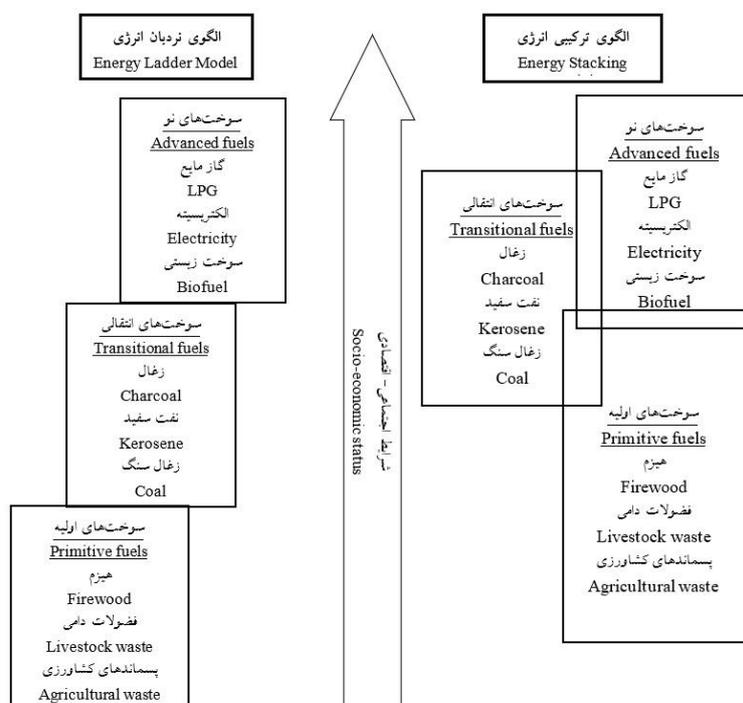
این تلاش‌ها که توسط ارگان‌ها و دستگاه‌های مختلف با صرف هزینه‌های کلان اقتصادی انجام شده است منجر به شکل‌گیری الگوهای متفاوت مصرف انرژی خانگی به‌ویژه در مناطق جنگلی شده است، الگوهایی که شکل‌گیری و مقدار مصرف انرژی در آن‌ها

بخش قابل توجهی از جمعیت کشورهای درحال توسعه در نقاط روستایی زندگی می‌کنند (Li et al., 2019). در کشور ایران که از کشورهای درحال توسعه است بر اساس آمار در سال ۱۳۹۵، ۲۱ میلیون نفر، معادل ۲۵/۹ درصد از جمعیت کشور در نقاط روستایی زندگی می‌کنند (Statistical Center of Iran, 2016). هر چند سهم روستاییان در جمعیت کشور در گذشته بسیار بیشتر بوده و در دهه‌های گذشته رو به کاهش نهاده است، با این حال امروز جمعیت روستایی برای تأمین انرژی خانگی مورد نیاز خود به انواع منابع انرژی اقتصادی (Commercial) و غیراقتصادی (Non-commercial) وابسته است (Bazgir et al., 2020). انرژی‌های اقتصادی شامل زغال سنگ، گازوئیل، نفت، بنزین، گازمایع و برق و انرژی‌های غیراقتصادی شامل ساقه محصولات کشاورزی، هیزم و بیوگاز است (Li et al., 2019). بخش قابل توجهی از مصرف انرژی در مناطق روستایی کشورهای درحال توسعه (مانند ایران) وابسته به انرژی‌های غیراقتصادی به‌ویژه زیست‌توده است که بهره‌وری پایینی دارد (Ghanbari et al., 2015; Eshaghi and Mahmoudi, 2020). شکل غالب استفاده از زیست‌توده، هیزم است که استفاده ناپایدار از آن موجب ایجاد مشکلات محیط زیستی و تخریب جنگل‌ها می‌شود و از طرفی به دلیل ایجاد گازهای سمی در فضای داخلی منازل مرگ زودرس افراد به‌ویژه زنان و کودکان را در پی دارد (Rahut et al., 2016; IEA, 2016). استفاده از هیزم جنگلی در کشور ایران که از نظر سطح جنگل فقیر است از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Marvi Mohajer, 2013; Eshaghi and Mahmoudi, 2020).

به دلایل نگرانی‌های یاد شده در ارتباط با منابع انرژی غیراقتصادی مسئله تغییر الگوی مصرف انرژی از

پژوهشگران نشان دادند که درآمد تنها عامل مؤثر بر تغییر منبع تأمین انرژی نیست و عوامل مؤثر دیگر در تغییر الگوی مصرف انرژی خانگی نقش دارند (Han et al., 2018). Kowsari and Zerriffi (2011) به‌طور کلی عوامل مؤثر بر الگوی مصرف انرژی را به دو دسته عوامل درونی و بیرونی تقسیم‌بندی می‌کنند. عوامل درونی شامل درآمد، سن، تحصیلات، جنسیت، رفتار و فرهنگ خانوار و عوامل بیرونی شامل سیاست‌ها و قوانین محیط فیزیکی زندگی، دسترسی به انرژی و ویژگی وسایل مصرف انرژی است. مجموع این عوامل سبب شکل‌گیری الگوی دیگری به نام الگوی ترکیبی انرژی (Energy Stacking Model) می‌شود (شکل ۱). در این الگو خانوارها تحت تأثیر عوامل ذکر شده از منابع انرژی اقتصادی و غیراقتصادی به شکل ترکیبی استفاده می‌کنند (Kowsari and Zerriffi, 2011; Han et al., 2018).

تحت تأثیر عوامل مختلفی است. با این حال کمیت و کیفیت اطلاعات در زمینه عوامل مؤثر بر الگوی مصرف انرژی خانگی روستاییان به‌ویژه در مناطق جنگلی که از حساسیت بیشتری برخوردار است بسیار محدود است. دست‌یابی به این اطلاعات علاوه بر بیان اندازه موفقیت اقدامات انجام شده می‌تواند راهنمای مناسبی برای ترسیم چشم‌انداز و برنامه‌ریزی‌های آینده برای جهت‌دهی به تغییر الگوی مصرف انرژی خانوارها باشد. نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داده است که تغییر الگوی مصرف انرژی خانگی از دو الگوی کلی پیروی می‌کند. الگوی اول که در ابتدای سال ۱۹۹۰ میلادی شناخته شد الگوی نردبان انرژی (Energy Ladder Model) است. الگوی نردبان انرژی بیانگر این نظریه است که با افزایش درآمد مصرف انرژی خانوار از منابع انرژی غیراقتصادی به منابع انرژی اقتصادی تغییر می‌یابد (Kowsari and Zerriffi, 2011; Lee et al., 2015; Han et al., 2018).



شکل ۱- الگوی نردبان انرژی و الگوی ترکیبی انرژی (Han et al., 2018)

Figure 1. Energy Ladder Model and Energy Stacking Model (Han et al., 2018)

روشنایی است. (Bazgir et al. (2015) در پژوهشی به روش میدانی در روستایی جنگلی از شهرستان خرم‌آباد دریافتند که هر خانوار روستایی به‌طور میانگین سالیانه ۲۴/۱۸ مترمکعب هیزم برای استفاده بخاری (۷۴ درصد)، پخت نان (۱۳ درصد)، زغال‌گیری (هفت درصد) و استحمام (شش درصد) مصرف می‌کند. Lee و همکاران (2015) پژوهشی در شرق اندونزی با هدف بررسی تغییر الگوی انرژی روستاییان به روش پیمایشی انجام دادند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که با اینکه سوخت گاز مایع از سال ۲۰۰۷ در دسترس است ولی ۸۰ درصد خانوارها از سوخت هیزمی به‌عنوان سوخت اولیه خود استفاده می‌کنند. پژوهشگران دلیل موفقیت‌نبودن جایگزینی گاز مایع با هیزم را با ویژگی‌های غیراقتصادی خانوار و عوامل بیرونی مانند سیاست‌های دولت و دسترسی به هیزم مرتبط می‌دانند. (Rahut et al. (2016) در پژوهشی در کشور بوتان نشان دادند که استفاده از انرژی‌های پاک و اقتصادی وابسته به ویژگی‌های سرپرست خانوار و دسترسی به منبع انرژی است. خانوارهای ثروتمندتر و با تحصیلات بالاتر از سوخت‌های پاک و اقتصادی استفاده می‌کنند در حالی که خانوارهای فقیرتر وابسته به سوخت‌های غیر-اقتصادی هستند. (Han et al. (2018) در پژوهشی به بررسی تعیین‌کننده‌های الگوی مصرف انرژی خانگی در روستاهای چین پرداختند. نتایج همبستگی در این پژوهش نشان داد که بین بعد خانوار و تجهیزات منزل با مصرف سوخت‌های اقتصادی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین قیمت سوخت‌های اقتصادی با مصرف زیست توده رابطه مثبتی و معنی‌داری دارند. (Li et al. (2019) پژوهشی با هدف بررسی الگوی مصرف انرژی روستاییان در چین انجام دادند که نتایج آن نشان داد در سال ۱۹۹۸ زیست‌توده

اگرچه پژوهش‌های متعددی در سراسر دنیا به بررسی تعیین‌کننده‌های الگوی مصرف انرژی پرداخته‌اند، اما پژوهش‌های انجام‌شده در کشور ایران بسیار محدود است. (Miah et al. (2010) پژوهشی با هدف بررسی الگوی مصرف انرژی خانوارهای روستایی در بنگلادش انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد ۹۲ درصد از خانوارها از زیست‌توده، ۲۷ درصد از شمع، ۷۸ درصد از الکتریسیته، ۸۹ درصد از نفت و ۲۸ درصد از گاز مایع استفاده می‌کردند. نتایج پژوهش فوق بیانگر این است که روستاییان با افزایش درآمد از منابع انرژی اقتصادی و خانوارهای با درآمد کم از سوخت‌های غیراقتصادی استفاده می‌کنند. همچنین منازل با قدمت بیشتر مصرف الکتریسیته و زیست‌توده کمتری نسبت به خانه‌های جدید داشته‌اند. از طرف دیگر با افزایش مساحت خانه‌ها مصرف انرژی نیز افزایش یافت. تحصیلات رابطه مثبتی با مصرف سوخت‌های اقتصادی داشت. همچنین بین میانگین بعد خانوار و استفاده از سوخت‌های غیراقتصادی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود داشت. نتایج پژوهش Peng et al. (2010) در مورد تغییر منابع مصرف انرژی خانوارهای روستایی در چین نشان داد که الگوی مصرف انرژی خانوارها از الگوی ترکیبی انرژی پیروی می‌کند، ولی زیست‌توده هنوز ۶۵ درصد انرژی مصرفی خانوارها را شامل می‌شود. در آن منطقه افزایش درآمد و مساحت منزل رابطه منفی و قیمت زغال سنگ رابطه مثبتی با استفاده از زیست‌توده داشت. سطح تحصیلات رابطه معنی‌داری با مصرف زیست‌توده نداشت. (Sharifzadeh and Shahrekie (2014) پژوهشی در بین روستاییان بخش مرکزی شهرستان زاهدان که دسترسی به گاز لوله‌کشی ندارند انجام دادند و نتایج آن نشان داد که نفت بیشترین انرژی مصرفی برای گرمایی، گاز مایع برای پخت و پز، هیزم برای تهیه نان و برق برای

۷۳/۷ درصد انرژی روستاییان را تأمین می‌کرد در حالی - که در سال ۲۰۱۶ این مقدار به ۳۷ درصد رسید. دلیل این کاهش مصرف زیست‌توده دسترسی به منابع انرژی جایگزین بوده است. (Zou and Luo (2019 پژوهشی به روش پیمایشی در روستاهای کشور چین با هدف شناسایی تعیین‌کننده‌های مصرف انرژی خانگی انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که جنسیت سرپرست خانوار تأثیر معنی‌داری بر مصرف انرژی ندارد، از طرفی سن سرپرست خانوار تأثیر منفی و معنی‌داری بر مصرف زغال سنگ و تأثیر مثبتی بر مصرف گاز دارد. همچنین بین متغیرهای تحصیلات و درآمد ماهیانه سرپرست خانوار با استفاده از سوخت‌های اقتصادی رابطه مثبتی وجود داشت، در حالی که مصرف زیست‌توده با تحصیلات سرپرست و مساحت محل سکونت رابطه منفی و با تعداد نیروی کار خانواده و قدمت منزل رابطه مثبتی دارد. (Eshaghi and Mahmoudi (2020 در پژوهشی تقاضای مصرف چوب هیزمی خانوارهای جنگل‌نشین ناحیه عرفی سردشت شهرستان لردگان را با استفاده از ابزار پژوهش پرسشنامه مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که همبستگی معنی‌داری بین متغیرهای سن سرپرست خانوار، هزینه خانوار، تحصیلات، تعداد دام و مقدار برداشت محصولات زراعی با تقاضا برای مصرف چوب جنگلی وجود دارد. نتایج کلی پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تعیین‌کننده‌های الگوی مصرف انرژی خانگی در مناطق مختلف می‌تواند متفاوت باشد. هدف از این پژوهش شناسایی تعیین‌کننده‌های مصرف انرژی خانگی روستاییان جنگلی شهرستان خرم‌آباد است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

همان‌طور که در مقدمه بیان شد مهم‌ترین اقدامات انجام‌شده در کشور ایران برای تغییر الگوی مصرف انرژی خانگی روستاییان از منابع انرژی غیراقتصادی به منابع انرژی اقتصادی ایجاد شبکه توزیع نفت سفید و گاز مایع و نیز گازرسانی با گاز طبیعی به روستاها بوده است. با توجه به این اقدامات، سه روستای جنگلی شهرستان خرم‌آباد از استان لرستان به‌عنوان روستاهای مورد بررسی انتخاب شدند. این سه روستاها در همسایگی هم قرار دارند و هرکدام شرایط متفاوتی از نظر دسترسی به سوخت‌های اقتصادی دارند. روستای گوشه شهنشاه دارای گاز طبیعی لوله‌کشی است. روستای چناربگالی دارای جایگاه توزیع نفت سفید و گاز مایع است ولی بدون گاز طبیعی لوله‌کشی است. روستای ملیم‌دول بدون شبکه توزیع نفت سفید، گاز مایع و گاز طبیعی است. در جدول ۱ امکانات روستاهای مورد بررسی آمده است.

روستای گوشه شهنشاه در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ}23'53''$ عرض شمالی و $48^{\circ}16'55''$ طول شرقی و در ارتفاع ۱۳۸۰ متر از سطح دریا، روستای چناربگالی در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ}20'32''$ عرض شمالی و $48^{\circ}15'40''$ طول شرقی و در ارتفاع ۱۴۶۵ متر از سطح و روستای ملیم‌دول در موقعیت جغرافیایی $33^{\circ}18'30''$ عرض شمالی و $48^{\circ}16'21''$ طول شرقی و در ارتفاع ۱۸۳۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است (شکل ۲). فاصله روستاهای گوشه شهنشاه، چناربگالی و ملیم‌دول نسبت به مرکز شهر خرم‌آباد به ترتیب ۱۲، ۲۴ و ۳۲ کیلومتر است. نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد بررسی ایستگاه هواشناسی خرم‌آباد است که در جنوب غربی این شهرستان و در ارتفاع ۱۱۵۵ متر از سطح دریا واقع شده است. بر اساس آمار دوره ده ساله (۱۳۹۰-۱۳۸۱)، متوسط دمای سالیانه در این ایستگاه $17/2$ درجه است. کمینه و بیشینه مطلق دما به ترتیب

۱۴/۶- و ۴۷ درجه برآورد شده و نوع اقلیم منطقه بر اساس نمایه خشکی دومارتن نیمه خشک است (Bazgir et al., 2015).

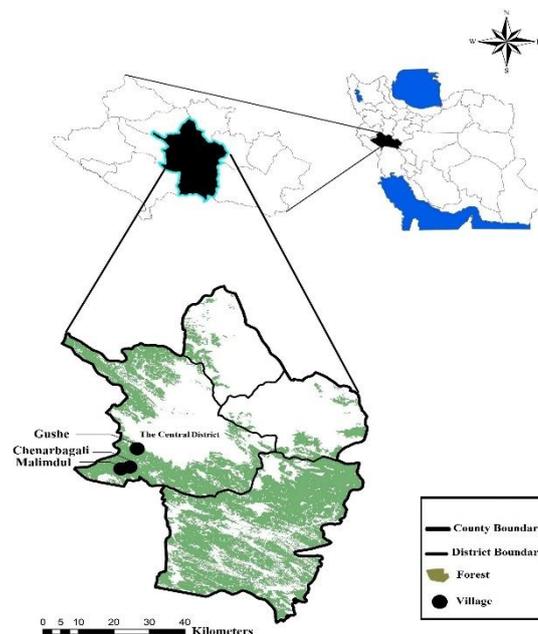
جدول ۱- امکانات روستاهای مورد بررسی

Table 1. Facilities of the study villages

نام روستا Name of village	گاز لوله کشی Natural gas piped	کerosene and نفت سفید Kerosene and Liquefied petroleum gas	گاز مایع Liquefied petroleum gas	دسترسی به جنگل Access to the forest	برق سراسری Electricity	جاده آسفالت Asphalt road	خانه بهداشت Health House	آب لوله کشی Plumbing water	مدرسه ابتدایی Elementary School	مدرسه راهنمایی Junior High School
گوشه Gushe	*	-	-	*	*	*	-	*	*	-
چنارباغالی Chenarbagali	-	*	*	*	*	*	-	*	*	-
ملیم دول Malimdul	-	-	-	*	*	*	-	*	*	-

* دسترسی به امکاناتی که مورد نظر است. -: عدم دسترسی به امکاناتی که مورد نظر است.

*: Access to the facilities that are desired. -: Lack of access to the facilities that are desired.



شکل ۲- موقعیت روستاهای مورد بررسی در شهرستان خرم آباد در استان لرستان

Figure 2. Location of the Study villages in Khorramabad County in Lorestan province.

روش پژوهش

این پژوهش از روش پیمایش و از نوع مقطعی (Cross Sectional) آن بهره برد. منظور از پژوهش مقطعی، پژوهشی است که در مقایسه با پژوهش طولی (Longitudinal) که در چند مقطع زمانی انجام می‌گیرد، تنها در یک مقطع زمانی انجام می‌شود. جامعه آماری پژوهش شامل خانوارهای سه روستای گوشه شهنشاه، چنارباغالی و ملیم‌دول (۱۷۵ خانوار) بوده که حجم نمونه هر روستا با استفاده از جدول کرجسی - مورگان به دست آمده است (جدول ۲). نمونه‌ها در هر روستا به صورت تصادفی ساده برگزیده شد.

روند جمع‌آوری اطلاعات پژوهش به این صورت بود که در گام اول برای دستیابی به اطلاعات اولیه در زمینه مصرف سوخت از پژوهش کیفی و مصاحبه بدون ساختار استفاده شد. در این مرحله با ۱۴ نفر از اطلاع رسانیان کلیدی مصاحبه کیفی با میانگین زمان ۳۷ دقیقه انجام شد. اطلاع رسانیان کلیدی شامل شوراهای روستاها، مسئولین جایگاه سوخت نفت و گاز مایع و

افراد آگاه در دو روستای چنارباغالی و ملیم‌دول بوده که همگی مرد و با میانگین سن ۳۹/۴ سال بودند. با کمک این داده‌ها، بررسی سوابق پژوهش و نیز کمک‌گرفتن از نظر استادان دانشگاه و کارشناسان اداره منابع طبیعی پرسشنامه‌ای ساختارمند تهیه شد. روایی محتوایی پرسشنامه با کمک‌گرفتن از نظر استادان دانشگاه، پژوهشگران فعال در زمینه اجتماعی - اقتصادی جنگل مورد تأیید قرار گرفت. پس از آن در گام دوم به شیوه پیمایشی و با استفاده از ابزار پژوهش مشاهده مستقیم، مصاحبه و پرسشنامه ساختارمند اطلاعات مورد نیاز پژوهش مانند اطلاعات اجتماعی - اقتصادی خانوارها، ویژگی‌های مسکن روستاییان و اطلاعات مصرف سوخت آن‌ها شامل موارد استفاده از انواع سوخت، مقدار مصرف انواع سوخت برای انواع استفاده‌ها و دیگر اطلاعات مورد نیاز گردآوری شد. داده‌های این پژوهش در بازه زمانی بهار ۱۳۹۶ تا تابستان ۱۳۹۷ در طول یک سال جمع‌آوری شد.

جدول ۲- تعداد خانوارهای روستاهای مورد بررسی و حجم نمونه آن‌ها

Table 2. Number of households in the study villages and their sample size

نام روستا	تعداد خانوار	جمعیت	حجم نمونه
Name of village	Number of households	Population	Sample size
گوشه Gushe	90	340	71
چنارباغالی Chenarbagali	65	210	56
ملیم‌دول Malimdul	20	76	19
جمع Total	175	626	146

هر خانوار مقدار مصرف سالیانه گاز هر کدام از فروردین سال ۱۳۹۶ تا فروردین ۱۳۹۷ از طریق سایت

برای محاسبه مقدار مصرف گاز خانگی در روستای گازرسانی شده، با دریافت شماره اشتراک گاز

هیزم (بغل، بار الاغ و بار تراکتور) استفاده شد. پس از شناسایی واحدها، حجم هر واحد مصرفی محاسبه شد. به این روش که طول و قطر میانه قطعه چوب‌های هر واحد مصرفی به وسیله متر تا دقت سانتی متر اندازه‌گیری شده و با استفاده از رابطه هوبر (رابطه ۱) حجم آن‌ها محاسبه شده و در نهایت حجم کل هر واحد از مجموع حجم قطعه چوب‌ها به دست آمد (Namiranian, 2006).

$$V=L \times g_m \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه بالا V: حجم قطعه هیزم، g_m : سطح مقطع قطعه هیزم در میانه و L: طول قطعه هیزم است. برای محاسبه مصرف کلی انرژی در روستاهای مورد بررسی، از شاخص تبدیل انواع انرژی مصرفی به معادل زغال سنگ استاندارد آن استفاده شد (جدول ۳).

شرکت گاز ایران استخراج شد. برای محاسبه مقدار مصرف گاز مایع و نفت سفید واحد مصرفی هر کدام از سوخت‌ها از روستاییان پرسش شده و مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. الکتریسیته نوع دیگری از انرژی مصرفی بود که با توجه به شرایط مشابه سه روستا در دسترسی به این منبع انرژی و نیز عدم امکان دست‌یابی به مصرف الکتریسیته مشترکین به دلیل محدودیت‌های شرکت توزیع نیروی برق، از آمار متوسط مصرف سالیانه برق خانگی هر خانوار شهرستان خرم‌آباد در سال ۱۳۹۵ (Lorestan Province Management and Planning Organization, 2017)، استفاده از این آمار برای نشان دادن سهم مصرف سالیانه الکتریسیته در کل مصرف سالیانه انرژی خانوار است. برای اندازه‌گیری کمی حجم هیزم مصرفی روستاییان، از واحدهای محلی مصرف

جدول ۳- شاخص تبدیل انواع انرژی مصرفی به معادل زغال سنگ استاندارد

Table 3. Index of conversion of energy consumption to the equivalent of standard coal

منبع Reference	معادل Equivalent		نوع انرژی Type of energy
	زغال سنگ استاندارد (کیلوگرم) Standard coal (Kg)	واحد Unit	
Hu et al. (2016)	1.27	مترمکعب M ³	گاز طبیعی Natural gas
Peng et al. (2010), Cai and Jiang (2010)	1.7	کیلوگرم Kg	گاز مایع LPG
Peng et al. (2010), Cai and Jiang (2010)	0.6	کیلوگرم* Kg	هیزم Firewood
Peng et al. (2010)	1.46	کیلوگرم** Kg	نفت سفید Kerosene
Cai and Jiang (2010)	0.12	کیلووات ساعت Kw/h	الکتریسیته Electricity

*: جرم ویژه چوب بلوط برابر با ۰/۷ تا ۰/۸ گرم بر سانتی متر مکعب است که از این ضریب برای تبدیل مترمکعب به کیلوگرم استفاده شده است (Bazgir et al., 2015).

** : چگالی نفت سفید برابر ۰/۸ گرم بر سانتی متر مکعب است که با استفاده از این ضریب مقدار نفت مصرفی بر حسب لیتر به کیلوگرم تبدیل شده است. *: The specific weight of oak is 0.7 to 0.8 g/cm³ that this coefficient has been used to convert cubic meters to kilograms (Bazgir et al., 2015).

***: The density of kerosene is equal to 0.8 g/cm³ that with using this coefficient, the amount of oil consumed in liters is converted to kilograms.

روش تحلیل داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌های گردآوری شده با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش از دو آمار توصیفی و استنباطی استفاده شد. در بخش آمار توصیفی ویژگی‌های سرپرستان خانوار شامل سن، سطح تحصیلات، بعد خانوار، درآمد ماهیانه خانوار، تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال و ویژگی‌های مسکن شامل مقدار مساحت گرم‌شده منزل و قدمت منزل مورد بررسی قرار گرفت. در روستاهای مورد بررسی مردان معمولاً از سن ۱۵ سالگی توانایی کارکردن و جمع‌آوری هیزم را دارند، همچنین زنان در این روستاها نقشی در جمع‌آوری هیزم از طبیعت را ندارند به همین دلیل متغیر تعداد نیروی مرد بالای ۱۵ سال به‌عنوان یک متغیر تأثیرگذار در مصرف سوخت هیزمی مورد بررسی قرار گرفت. برای سطح تحصیلات گروه اکثریت مشخص شد و برای متغیرهای کمی علاوه بر گروه اکثریت، میانگین و دامنه نیز تعیین شد. در بخش آمار استنباطی نیز از ضریب همبستگی پیرسون برای بررسی ارتباط بین متغیر اصلی پژوهش یعنی مصرف سالیانه سوخت غالب با متغیرهای سن، تحصیلات، درآمد ماهیانه خانوار، بعد خانوار، تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال، تعداد بخاری و ویژگی‌های مسکن شامل مقدار مساحت گرم‌شده منزل و قدمت منزل استفاده شد. آزمون t مستقل برای مقایسه میانگین مصرف سوخت در گروه‌بندی‌های دوجبهی (مانند مرد و زن) مورد استفاده قرار گرفت و در صورت نداشتن شرط آزمون پارامتری آزمون من-ویتنی جایگزین آن شد.

نتایج

ویژگی‌های پاسخگویان

نتایج توصیفی پژوهش در ارتباط با ویژگی‌های سرپرستان خانوار (پاسخگویان) در جدول ۴ ارائه شد. نتایج در ارتباط با ترکیب جنسیتی پاسخگویان نشان می‌دهد که در روستای گوشه ۶۷/۶ درصد و در روستای چناربگالی و ملیم‌دول به ترتیب ۹۸/۲ و ۹۴/۷ درصد مرد بود. شغل یا یکی از مشاغل اکثریت سرپرستان خانوار (۶۴/۸ درصد) در گوشه باغداری است ولی در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول کشاورزی با درصد فراوانی ۸۹/۳ و ۸۹/۵ به ترتیب بیشترین فراوانی را دارد. سرپرستان خانوار ممکن است یک یا چند شغل داشته باشند که تأمین کننده معیشت آن‌ها باشد. در روستای گوشه پس از باغداری حقوق بازنشستگی (۳۹/۴ درصد) و در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول دامداری به ترتیب با ۷۸/۶ درصد و ۶۸/۴ درصد بیشترین فراوانی را در بین منابع تأمین معیشت دارد. از نظر سطح تحصیلات گروه اکثریت در گوشه بی‌سواد، در چناربگالی متوسطه و در ملیم‌دول نیز بی‌سواد است. همچنین متوسط درآمد ماهیانه سرپرستان خانوار در گوشه برابر یک میلیون و ۴۸۲ هزار تومان و در چناربگالی برابر دو میلیون و ۲۴۶ هزار تومان و در ملیم‌دول برابر با دو میلیون و ۳۳۲ هزار تومان است. دلیل اصلی اختلاف درآمد روستاییان چناربگالی و ملیم‌دول با روستاییان گوشه، تفاوت در نوع مشاغل آن‌ها است چرا که در این روستاها بیشتر به کشاورزی و دامداری اشتغال دارند که درآمدی به مراتب بیشتر از باغداری با سطح محدود و حقوق بازنشستگی داشت.

وضعیت مصرف انرژی در منطقه مورد بررسی

نتایج کلی مصرف سالیانه هیزم، نفت سفید، گاز مایع و گاز طبیعی نشان می‌دهد که در روستای گوشه هر خانوار به‌طور میانگین سالیانه ۷۸۷/۴ کیلوگرم هیزم، ۱۸/۲ لیتر نفت سفید، ۵۳ کیلوگرم گاز مایع و ۱۳۲۵/۸ مترمکعب گاز طبیعی مصرف می‌کند، درحالی‌که در

تأمین می‌کند. همانطور که مشخص است در روستای گوشه گاز طبیعی بخش عمده (۶۸/۲ درصد) مصرف انرژی خانوارها را تأمین می‌کند از این رو در ادامه در روستای گوشه به بررسی عوامل مؤثر بر مصرف گاز طبیعی در بین ۶۸ خانوار دارای گاز طبیعی پرداخته خواهد شد و در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول که هیزم بخش عمده انرژی روستاییان را تأمین می‌کند به بررسی عوامل مؤثر بر مصرف هیزم پرداخته خواهد شد.

روستای چناربگالی مقدار مصرف سالیانه سوخت هر خانوار برابر با ۷۶۵۵/۴ کیلوگرم هیزم، ۷۹۰ لیتر نفت سفید و ۳۸۸/۴ کیلوگرم گاز مایع است. میانگین مصرف سالیانه سوخت در روستای ملیم‌دول برابر ۱۶۷۱۰ کیلوگرم هیزم، صفر لیتر نفت و ۳۵۴/۲ کیلوگرم گاز مایع است. به‌طور کلی میانگین مصرف سالیانه انرژی خانگی هر خانوار در روستاهای گوشه، چناربگالی و ملیم‌دول به ترتیب برابر با ۲۵۷۹/۴، ۶۳۲۸/۸ و ۱۰۸۶۵/۷ کیلوگرم زغال سنگ استاندارد است که هیزم در این روستاها به ترتیب ۱۸/۳، ۷۲/۶ و ۹۲/۳ درصد آن را

جدول ۴- ویژگی‌های سرپرستان خانوار و ویژگی‌های مسکن

Table 4. Characteristics of heads of households and characteristics of housing

Antiquity of house (year)	The amount of heated area of the house (square meters)	Male work force over 15 years (persons)	Monthly household income (thousand tomans)	Family size (Person)	Education (year)	Age (Year)	Variable	Rوستا Village
24	34.9	0.55	1482	3.34	3.4	64.27	میانگین Mean	
3-60	10-90	0-3	700-3500	1-8	0-15	34-90	دامنه Range	گوشه Gushe
1-10	16-30 46-60	0	1000-2000	1-3	0	> 60	گروه اکثریت Majority group	
31	22.88	0.39	2246	3.5	5.25	47.98	میانگین Mean	
3-56	8-75	0-2	500-5000	2-7	0-15	24-86	دامنه Range	چنار بگالی Chenarbagali
1-10	16-30	0	1000-2000	1-3	6-9	> 60	گروه اکثریت Majority group	
28	28.89	0.68	2332	3.74	4.84	48.53	میانگین Mean	
5-50	12-110	0-3	800-10000	2-6	0-11	26-78	دامنه Range	ملیم‌دول Malimdul
1-10	16-30	0	1000-2000	4-6	0	41-50	گروه اکثریت Majority group	

تحلیل همبستگی

در جدول ۵ رابطه بین متغیرهای وابسته مصرف سالیانه گاز طبیعی در روستای گوشه و مصرف سالیانه هیزم در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول با متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون همبستگی نشان داد که در روستای گوشه بین مصرف سالیانه گاز طبیعی و متغیرهای درآمد، بعد خانوار و مقدار مساحت گرم‌شده منزل در سطح یک درصد (به احتمال ۹۹ درصد) رابطه مستقیم و معنی‌دار وجود دارد؛ در واقع با افزایش این متغیرها مصرف سالیانه گاز طبیعی خانوار افزایش پیدا می‌کند. از طرفی بین مصرف گاز طبیعی با متغیر قدمت منزل در سطح یک درصد رابطه معکوس و معنی‌داری وجود دارد، یعنی با افزایش قدمت منزل مقدار مصرف سالیانه گاز طبیعی کاهش پیدا می‌کند. همچنین بین مصرف سالیانه گاز طبیعی و متغیرهای سن سرپرست خانوار و تحصیلات سرپرست خانوار رابطه معنی‌داری وجود ندارد. قابل ذکر است که به دلیل اینکه مصرف سالیانه گاز طبیعی نمی‌تواند تحت تأثیر متغیر تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال خانوار باشد همبستگی بین آن‌ها بررسی نشد.

مقایسه میانگین‌ها

برای بررسی تفاوت مصرف سالیانه گاز طبیعی و هیزم در بین متغیرهای اسمی دووجهی و چندوجهی اسمی از مقایسه میانگین کمک گرفته شد. برای مقایسه میانگین مصرف گاز طبیعی و هیزم در بین گروه‌های مختلف از آزمون پارامتریک t مستقل استفاده شد و برای گروه‌هایی که شرایط آزمون پارامتریک وجود نداشت، از آزمون جایگزین آن یعنی من-ویتنی استفاده شد که نتایج آن‌ها در جدول ۶ و جدول ۷ آمده است. قابل ذکر است که

یکی از عوامل مهم در مصرف گاز طبیعی، استفاده از بخاری گازی توسط خانوارهای مورد بررسی است که به دلیل استفاده تمام خانوارهای گازدار از بخاری گازی نشان‌دادن نقش آن در مصرف گاز طبیعی قابل بررسی نبود. نتایج نشان می‌دهد که در روستای گوشه بین میانگین مصرف سالیانه گاز طبیعی خانوارهایی که از آبگرم تانکر در فصل گرم سال برای استحمام استفاده می‌کنند و خانوارهایی که از آبگرم تانکر استفاده ندارند به احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. نحوه استفاده از آبگرم تانکر به این صورت است که خانوارهایی که بر روی پشت بام خود تانکر آب دارند این آب در فصل گرم سال با حرارت خورشید گرم می‌شود و از آن برای استحمام استفاده می‌شود. میانگین مصرف سالیانه گاز طبیعی بین گروه‌ها بر اساس استفاده از گاز طبیعی برای طبخ نان و استفاده از گاز طبیعی برای آبگرم‌کن به احتمال ۹۹ درصد باهم تفاوت معنی‌داری دارد. همچنین بین میانگین مصرف سالیانه گاز طبیعی در گروه‌های استفاده‌کننده از چراغ نفتی، استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم ظرفشویی، روشویی و توالت و استفاده از گاز طبیعی برای گرم کردن شیر تفاوت معنی‌داری وجود ندارد.

در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول بین مصرف سالیانه هیزم و متغیرهای درآمد، بعد خانوار، تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال و مقدار مساحت گرم‌شده منزل در سطح یک درصد رابطه مستقیم و معنی‌داری وجود دارد، یعنی با افزایش این متغیرها مصرف سالیانه هیزم نیز افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین بین مصرف سالیانه هیزم و متغیرهای سن سرپرست، تحصیلات سرپرست خانوار و قدمت منزل رابطه معنی‌داری وجود ندارد.

جدول ۵- رابطه متغیرهای مستقل پژوهش و مصرف سالیانه سوخت غالب در روستاها

Table 5. Relationship between independent variables of research and annual consumption of fuel dominant in the villages

چنارباغالی و ملیمدول Chenarbagali and Malimdul		گوشه Gushe		روستا Village		متغیر تصادفی اول First random variable
سطح معنی داری Significant level	ضریب همبستگی Correlation coefficient	سطح معنی داری Significant level	ضریب همبستگی Correlation coefficient	نوع آزمون Type of test	متغیر تصادفی دوم Second random variable	مصرف سالیانه سوخت غالب Annual consumption of dominant fuel
0.394	0.110 ^{n.s}	0.423	-0.099 ^{n.s}	پیرسون Pearson	سن سرپرست خانوار Age of head of household	
0.075	-0.207 ^{n.s}	0.247	0.142 ^{n.s}	پیرسون Pearson	تعداد سال‌های تحصیل Number of years of education	
0.008	-0.305 ^{**}	0.004	0.345 ^{**}	پیرسون Pearson	درآمد ماهیانه Monthly income	
0.000	0.507 ^{**}	0.000	0.461 ^{**}	پیرسون Pearson	بعد خانوار Family size	
0.000	0.497 ^{**}	-	-	پیرسون Pearson	تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال Male work force over 15 years	
0.000	0.501 ^{**}	0.000	0.531 ^{**}	پیرسون Pearson	مقدار مساحت گرم شده منزل The amount of heated area of the house	
0.000	0.877 ^{**}	0.004	0.324 ^{**}	پیرسون Pearson	تعداد بخاری Number of heaters	
0.835	-0.024 ^{n.s}	0.000	-0.428 ^{**}	پیرسون Pearson	قدمت منزل Antiquity of house	

*: سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۵ است. **: سطح معنی داری کمتر از ۰/۰۱ است. n.s: عدم معنی داری

*: Significance level is less than 0.05. **: Significance level is less than 0.01. n.s: No significant

از چراغ نفتی، استفاده از گرمکن برقی و استفاده از هیزم برای گرم کردن دوغ به احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنی دار وجود دارد. از طرفی به احتمال ۹۹ درصد، میانگین مصرف سالیانه هیزم بین گروه‌ها بر اساس استفاده از بخاری هیزمی، بخاری نفتی، استفاده از هیزم برای طبخ نان، استفاده از هیزم برای آبگرمکن، استفاده از آبگرم تانکر در فصل گرم سال برای استحمام و استفاده از هیزم برای گرم کردن شیر تفاوت معنی دار وجود دارد.

در جدول ۷ نتایج مقایسه میانگین مصرف سالیانه هیزم در روستاهای چنارباغالی و ملیمدول بر اساس متغیرهای گروه‌بندی آمده است. گروه‌بندی متغیرها در این روستاها در برخی موارد با گروه‌بندی متغیرها در روستای گوشه متفاوت است، که دلیل آن تفاوت در الگوی مصرف انرژی خانوارها و نیز تفاوت استفاده‌هایی است که از هیزم دارند. نتایج نشان می‌دهد که در روستاهای چنارباغالی و ملیمدول میانگین مصرف سالیانه هیزم در بین گروه‌ها بر اساس متغیرهای استفاده

جدول ۶- مقایسه میانگین مصرف سالیانه گاز طبیعی بر اساس گروه‌بندی‌های مختلف در روستای گوشه

Table 6. Comparison of average annual consumption of natural gas based on different groupings in Gushe village

سطح معنی‌داری Significance level	مقدار آماره (z/t) Statistics value (z/t)	انحراف معیار*** Standard deviation***	تعداد افراد		گروه‌ها Groups	متغیر گروه‌بندی Grouping variable	متغیر وابسته Dependent variable
			میانگین Mean	گروه Number of group members			
0.369	-0.898 ^{n.s}	-	28.14	7	بله Yes	استفاده از چراغ نفتی Use of kerosene lamp	مصرف سالیانه گاز طبیعی Annual consumption of natural gas
			35.23	61	خیر No		
0.000	-4.161 ^{**}	626.459	1820.45	22	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای طبخ نان Use of natural gas to cook bread	
		583.712	1175.76	46	خیر No		
0.01	-2.573 ^{**}	-	36.42	62	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای آبگرمکن Use of natural gas to water heater	
			14.67	9	خیر No		
0.037	2.133 [*]	624.429	1230.57	37	بله Yes	استفاده از آبگرم تانکر در فصل گرم برای استحمام Use of the tanker spa in the hot season for bathing	
		678.319	1567.87	31	خیر No		
0.105	-1.644 ^{n.s}	655.985	1500.89	38	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم ظرفشویی Use of natural gas for hot water for washing dishes	
		660.918	1236.70	30	خیر No		
0.061	-1.909 ^{n.s}	609.803	1559.83	29	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم روشویی Use of natural gas for hot water for wash basin	
		984.223	1253.85	39	خیر No		
0.848	-0.192 ^{n.s}	-	35.86	7	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای گرم کردن شیر Use of natural gas to heat milk	
			34.34	61	خیر No		
0.420	-0.807 ^{n.s}	-	28.79	7	بله Yes	استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم توالت Use of natural gas for hot water for toilet	
			35.16	61	خیر No		

*: معنی‌داری در سطح پنج درصد، **: معنی‌داری در سطح یک درصد، n.s: عدم معنی‌داری، و ***: در مواردی که از آزمون من-وینتی استفاده شده است انحراف معیار گزارش نشده است.

*: Significance level is less than 0.05. **: Significance level is less than 0.01. n.s: No significant, ***: No standard deviation was reported when the Mann-Whitney test was used.

جدول ۷- مقایسه میانگین مصرف سالیانه هیزم بر اساس گروه‌بندی‌های مختلف در روستاهای چنارباغالی و ملیم‌دول

Table 7. Comparison of mean annual firewood consumption based on different groupings in the villages of Chenarbagali and Malimdul

متغیر وابسته Dependent variable	متغیر گروه‌بندی Grouping variable	گروه‌ها Groups	تعداد افراد گروه Number of group members	میانگین Mean	انحراف معیار*** Standard deviation***	مقدار آماره (t/z) Statistics value (z/t)	سطح معنی‌داری Significance level
مصرف سالیانه هیزم Annual consumption of firewood	استفاده از بخاری هیزمی Use of wood-burning stove	بله Yes	50	13095.3	5775.10	-6.777**	0.000
		خیر No	25	3655.5	2040		
	استفاده از بخاری نفتی Use of kerosene heater	بله Yes	24	4031.87	6031.62	8.651**	0.000
		خیر No	51	12733.09	2675.62		
	استفاده از چراغ نفتی Use of kerosene lamp	بله Yes	22	7042.50	4322.06	2.548*	0.013
		خیر No	53	11155.05	7022.02		
	استفاده از گرمکن برقی Use of electrical heater	بله Yes	23	7384.89	7042.60	2.303*	0.024
		خیر No	52	11082.69	6119.84		
	استفاده از هیزم برای طبخ نان Use of firewood to cook bread	بله Yes	68	40.49	-	-3.078**	0.002
		خیر No	7	13.79	-		
	استفاده از هیزم برای آبگرمکن Use of firewood to water heater	بله Yes	43	11827.5	5076.51	-3.011**	0.004
		خیر No	32	7424.06	7580.01		
	استفاده از آبگرم‌تانکر در فصل گرم برای استحمام Use of the tanker spa in the hot season for bathing	بله Yes	38	7713.16	6897.88	3.149**	0.002
		خیر No	37	12244.66	5505.34		
استفاده از هیزم برای گرم کردن شیر Use of firewood to heat the milk	بله Yes	19	53.97	-	-3.697**	0.000	
	خیر No	56	32.58	-			
استفاده از هیزم برای گرم کردن دوغ Use of firewood to heat the dough	بله Yes	34	11603.16	5971.75	-2.019*	0.047	
	خیر No	41	8576.71	7012.04			

*: معنی‌داری در سطح پنج درصد ***: معنی‌داری در سطح یک درصد n.s: عدم معنی‌داری، ***: در مواردی که از آزمون من-ویتنی استفاده شد، انحراف معیار گزارش نشد.

*: Significance level is less than 0.05. **: Significance level is less than 0.01. n.s: No significant, ***: No standard deviation was reported when the Mann-Whitney test was used.

بحث

هم‌خوانی می‌تواند مربوط به دسترسی به هیزم و عدم دسترسی به نفت سفید باشد، البته اختلاف دمای روستای ملیم‌دول نسبت به چنارباغالی در نتیجه اختلاف ارتفاع ۳۶۵ متری آن نیز می‌تواند در مصرف بیشتر هیزم در فصل زمستان به‌منظور گرمایش منزل مؤثر باشد. نتایج پژوهش در ارتباط به الگوی مصرف انرژی در کل نشان داد که الگوی مصرف انرژی روستاییان از الگوی ترکیبی انرژی پیروی می‌کند و درآمد خانوار به تنهایی نمی‌تواند الگوی مصرف انرژی را تغییر دهد، که با نتایج بسیاری پژوهش‌ها در دیگر نقاط جهان هم‌خوانی دارد (Peng et al., 2010; Sharifzadeh and Shahrekie, 2014; Han et al., 2018).

نتایج تحلیل همبستگی در روستای گوشه نشان داد بین متغیرهای سن و تحصیلات سرپرست خانوار با مصرف سالیانه گاز طبیعی رابطه معنی‌داری وجود ندارد. (Miah et al. (2010) نشان دادند که بین تحصیلات و مصرف سوخت‌های اقتصادی رابطه مثبتی وجود دارد. در این پژوهش دسترسی راحت به گاز طبیعی لوله‌کشی و قیمت مناسب آن می‌تواند سبب عدم معنی‌داری رابطه سن و تحصیلات با مصرف سالیانه گاز طبیعی باشد. همچنین نتایج در روستای گوشه نشان داد که بین متغیرهای درآمد ماهیانه خانوار، بعد خانوار، مقدار مساحت گرم شده منزل و تعداد بخاری با مصرف سالیانه گاز لوله‌کشی در سطح ۹۹ درصد اطمینان رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. نتایج پژوهش‌های (Rahut et al. (2016), Kowsari and Zerriffi (2011) و Zou and Luo (2019) با یافته‌های این پژوهش هم‌خوانی دارد و آن‌ها را تأیید می‌کنند. در همین راستا Han et al. (2018) نیز در پژوهش خود اشاره می‌کنند که بین بعد خانوار و تجهیزات منزل (تعداد بخاری در این پژوهش) با مصرف سوخت‌های اقتصادی رابطه مثبت و معنی‌داری وجود دارد. نتایج همچنین نشان داد

نتایج نشان داد که در روستای گازرسانی شده میانگین مصرف انرژی سالیانه هر خانوار برابر با ۲۵۷۹/۴ کیلوگرم زغال سنگ استاندارد است که نسبت به روستای چنارباغالی ۵۹/۲۴ درصد و نسبت به روستای ملیم‌دول ۷۶/۲۶ درصد کاهش یافت. دلیل اصلی کاهش چشمگیر مصرف انرژی می‌تواند جایگزینی گاز طبیعی با سوخت‌های با بهره‌وری پایین مانند هیزم باشد (Li et al., 2019). ۶۸/۲ درصد انرژی مصرف در روستای گازرسانی شده از گاز طبیعی تأمین می‌شود که نشان می‌دهد گاز طبیعی توانسته به سوخت عمده مصرفی روستا مبدل شود و جایگزین منابع انرژی پیشین مانند هیزم و نفت سفید شود. جایگزینی مناسب گاز طبیعی می‌تواند به دلیل دسترسی راحت‌تر، راحتی استفاده و نیز قیمت مناسب آن باشد (Li et al., 2019).

با وجود جایگزینی مناسب گاز طبیعی در روستای گوشه، نفت سفید و گاز مایع نتوانسته به‌خوبی جایگزین هیزم در روستای چنارباغالی شود و هنوز ۷۲/۶ درصد انرژی مصرفی سالیانه خانوارها از هیزم تأمین می‌شود، که با نتایج پژوهش (Peng et al. (2010) و Li et al. (2019) هم‌خوانی دارد. دلیل این عدم جایگزینی مناسب نفت سفید و گاز مایع می‌تواند مربوط به مقدار راحتی استفاده از این سوخت‌ها، قیمت تمام شده آن‌ها، مقدار سهمیه نفت یارانه‌ای، دسترسی به هیزم و فرهنگ جوامع محلی باشد (Lee et al., 2015; Rahut et al., 2018; Coelho et al., 2016). در روستای ملیم‌دول که به سوخت‌های جایگزین دسترسی ندارند ۹۲/۳ درصد انرژی مصرفی سالیانه خانوارها از هیزم تأمین می‌شود که با نتایج (Lee et al. (2015) همسو است ولی با نتایج (Sharifzadeh and Shahrekie (2014) که نشان دادند نفت سفید سوخت عمده مصرفی برای گرمایی در روستاها است هم‌خوانی ندارد، دلیل اصلی این عدم

و این پژوهش است. همچنین قابل ذکر است که معنی دار نبودن رابطه قدمت منزل و مصرف سالیانه هیزم می تواند چند دلیل داشته باشد، دلیل اول اینکه در منازل جدید بسیاری از بخاری های هیزمی استفاده نمی شود بنابراین مصرف هیزم در منازل جدید تا حد زیادی پایین می آید، دلیل دوم اینکه بخاری هیزمی مانند بخاری گازی قابل تنظیم نیست که با تغییر شدت سرمای هوا شعله آن را کم یا زیاد کرد بلکه معمولاً در منازل که بخاری هیزمی حرارت کافی برای گرمایش منزل را ندارد (معمولاً منازل با قدم کم) از وسایل کمک گرمایشی مانند چراغ نفتی یا گرمکن برقی استفاده می شود.

نتایج همبستگی به دست آمده در روستاهای چناربگالی و ملیم دول همچنین نشان می دهد که بین درآمد ماهیانه خانوار، بعد خانوار، تعداد نیروی کار مرد بالای ۱۵ سال، مقدار مساحت گرم شده منزل و تعداد بخاری هیزمی با مصرف سالیانه هیزم در سطح ۹۹ اطمینان درصد اطمینان رابطه مثبت و معنی داری وجود دارد. تأثیر مثبت عوامل ذکر شده بر مصرف زیست توده توسط پژوهشگرانی مانند (Miah et al. 2010)، Zou and Luo (2019) و Eshaghi and Mahmoudi (2020) مورد تأکید قرار گرفت. از طرف دیگر بین درآمد ماهیانه خانوار با مصرف سالیانه هیزم در سطح ۹۹ درصد اطمینان رابطه منفی و معنی داری وجود دارد. Miah et al. (2010)، Peng et al. (2010)، Rahut et al. (2010) و Zou and Luo (2019) نشان دادند که با افزایش درآمد استفاده از سوخت های اقتصادی بیشتر شد و مصرف سوختی های غیر اقتصادی مانند زیست توده کاهش یافت، که با نتایج این پژوهش هم خوانی دارد.

نتایج مقایسه میانگین بین گروه ها حاکی از آن است که در روستای گوشه مصرف سالیانه گاز طبیعی بین گروه ها بر اساس متغیرهای استفاده از چراغ نفتی،

که بین متغیر قدمت منزل با مصرف سالیانه گاز طبیعی در سطح ۹۹ درصد اطمینان رابطه منفی و معنی داری وجود دارد. (Miah et al. 2010) نیز بیان کردند که منازل با قدمت بیشتر مصرف انرژی کمتری دارند که نشان می دهد منازل قدیمی نسبت منازل جدید مصرف انرژی کمتری دارند. مصرف انرژی پایین خانه های قدیمی در این پژوهش می تواند به دلیل نوع معماری و مصالح به کار برده شده در ساخت منازل در گذشته باشد. ضخامت دیوارهای خانه های قدیمی بسیار بیشتر از خانه های جدید (حدود ۳۰-۵۰ سانتی متری) است، معماری خانه های قدیمی به گونه ای است که معمولاً از اتاق های کوچک و مجزا ساخته شده است که برای گرمایش و سرمایش آن ها نیاز به مصرف انرژی کمتری است.

نتایج به دست آمده از تحلیل همبستگی در روستاهای چناربگالی و ملیم دول حاکی از آن است که بین متغیرهای سن و تحصیلات سرپرست خانوار و قدمت منزل با مصرف سالیانه هیزم رابطه معنی داری وجود ندارد. (Zou and Luo 2019) نشان دادند که سن سرپرست خانوار تأثیر مثبتی بر مصرف گاز مایع و تأثیر منفی و معنی داری بر مصرف زغال دارد، ولی در این پژوهش تأثیر سن در مصرف سالیانه هیزم ثابت نشد. در راستای نتایج به دست آمده (Peng et al. 2010) اشاره می کنند که تحصیلات رابطه معنی داری با مصرف زیست توده نداشت. نتایج پژوهش (Miah et al. 2010) بیانگر آن بود که منازل با قدمت بیشتر مصرف زیست توده کمتری نسبت به خانه های جدید داشتند که با نتایج این پژوهش هم خوانی ندارد. (Zou and Luo 2019) نیز در نتایج پژوهش خود بیان کرده اند که مصرف زیست توده با قدمت منزل رابطه مثبتی دارد، دلیل اصلی عدم هم خوانی نتایج این پژوهش ها می تواند مربوط به تفاوت در معماری و مصالح ساخت مسکن در این پژوهش ها

هیزم بین گروه‌ها بر اساس متغیرهای استفاده از چراغ نفتی، استفاده از گرمکن برقی و استفاده از هیزم برای گرم کردن دوغ به احتمال ۹۵ درصد تفاوت معنی‌دار وجود دارد. از طرفی به احتمال ۹۹ درصد، میانگین مصرف سالیانه هیزم بین گروه‌ها بر اساس استفاده از بخاری هیزمی، بخاری نفتی، استفاده از هیزم برای پختن نان، استفاده از هیزم برای آبگرمکن، استفاده از آبگرم‌تانکر در فصل گرم سال برای استحمام و استفاده از هیزم برای گرم کردن شیر تفاوت معنی‌دار وجود دارد. تأثیر استفاده از هیزم برای گرم کردن شیر و دوغ، استفاده از آبگرمکن هیزمی و استفاده از هیزم برای طبخ نان بر مصرف سالیانه هیزم در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شد (Miah et al., 2010; Bazgir et al., 2015; Lee et al., 2015; Han et al., 2018; Li et al., 2019). همچنین تأثیر استفاده از وسایل گرمایشی جایگزین یا همراه با بخاری هیزمی مانند چراغ نفتی، گرمکن برقی و بخاری نفتی بر کاهش مصرف سالیانه هیزم در پژوهش‌های (Sharifzadeh and Shahrekie, 2014) و Rahut et al. (2016) اشاره شد.

نتایج کلی پژوهش نشان داد که گازرسانی با گاز طبیعی به روستای گوشه توانسته به مقدار قابل توجهی مصرف کلی انرژی خانوار و مصرف هیزم را کاهش دهد، ولی در روستای چناربگالی که دارای جایگاه نفت سفید و گاز مایع است، این سوخت‌ها با وجود تأثیر مثبت در کاهش مصرف هیزم ولی نتوانسته‌اند به مقدار قابل پذیرشی جایگزین سوخت هیزمی شوند. با توجه به دسترسی یکسان هر ۳ روستا به جنگل و هیزم این نتایج نشان می‌دهد درآمد خانوار تنها می‌تواند یک عامل در استفاده از سوخت‌های اقتصادی و پاک باشد و علاوه بر آن دسترسی به یک منبع انرژی پاک با بهره‌وری بالا، قیمت مناسب و دسترسی راحت می‌تواند مصرف انرژی و هیزم را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد، بنابراین

استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم ظرفشویی، استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم روشویی، استفاده از گاز طبیعی برای گرم کردن شیر و استفاده از گاز طبیعی برای آب گرم توالت با هم تفاوت معنی‌داری ندارند، که نشان می‌دهد این عوامل تأثیر بالایی بر مصرف سالیانه گاز طبیعی ندارند که در دیگر پژوهش‌ها نیز به تأثیر معنی‌دار این عوامل بر مصرف سوخت‌های اقتصادی اشاره نشده است. اما مصرف سالیانه گاز طبیعی بین گروه‌ها بر اساس متغیرهای استفاده از گاز طبیعی برای طبخ نان و استفاده از گاز طبیعی برای آبگرمکن در سطح ۹۹ درصد اطمینان با هم تفاوت معنی‌دار دارند، که با نتایج Han et al. و Sharifzadeh and Shahrekie (2014) و همسو است. همچنین مصرف سالیانه گاز طبیعی بین گروه‌ها بر اساس متغیر استفاده از آبگرم‌تانکر در فصل گرم برای استحمام در سطح ۹۵ درصد اطمینان با هم تفاوت معنی‌دار دارند. استفاده از آبگرم‌تانکر در واقع استفاده از انرژی گرمایی خورشید به‌عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر برای گرم کردن آب با هزینه مالی بسیار پایین است که در کمتر پژوهشی مورد اشاره قرار گرفته است. استفاده از آبگرم‌تانکر مصرف منابع انرژی اقتصادی و غیراقتصادی را می‌تواند در حد قابل توجهی کاهش دهد، از این رو توصیه می‌شود در روستاهای مورد بررسی استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی ترویج شود. متغیر دیگری که در نتایج مورد بررسی قرار نگرفت، استفاده از بخاری گازی است که نقش بسیار مهمی در مصرف سالیانه گاز طبیعی دارد (Emami Meybodi et al., 2009)، ولی با توجه به اینکه همه خانوارهای گازرسانی‌شده در این روستا از بخاری گازی استفاده داشتند مقایسه افراد استفاده‌کننده با افرادی که استفاده نداشتند امکان‌پذیر نبود.

نتایج مقایسه میانگین بین گروه‌ها در روستاهای چناربگالی و ملیم‌دول نشان می‌دهد که مصرف سالیانه

منظور مصرف می‌شود.

سیاسگزاری

این مقاله به همکاری شرکت گاز استان لرستان انجام شد، از این رو نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که از حمایت‌های این اداره تشکر کنند. همچنین از مردم محلی به‌ویژه خانواده‌های هادی رشنویی، روح اله و محمد دریکوند که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند نهایت سپاسگزاری را داریم.

پیشنهاد می‌شود در شرایط موجود کشور ایران گازرسانی به روستاهای جنگلی در اولویت سیاست‌های ارگان‌های مربوطه مانند شرکت ملی گاز ایران قرار گیرد. از طرف دیگر با توجه به نقش مؤثر معماری ساختمان‌ها بر مصرف گاز طبیعی، توصیه می‌شود توجه بیشتری به فرهنگ ساختمان‌سازی و عایق‌بندی ساختمان‌های نو شود. همچنین در سیاست‌های تغییر الگوی مصرف انرژی به‌منظور کاهش مصرف هیزم باید توجه ویژه‌ای به تغییر سوخت مصرفی به‌منظور گرمایش داشت چرا که بخش عمده انرژی مصرفی سالیانه خانوار به این

References

- Ashouri, M.; Parsa, H.; Heidari, E., Factors Affecting Energy Intensity in Provinces of Iran: Bayesian Averaging Approach. *Journal of Energy Planning and Policy Research* **2019**, 5 (1), 29-63.
- Bazgir, A.; Maleknia, R.; Rahimian, M., The role of alternative fuel access in changing the pattern of household energy consumption among the Zagros Forest villagers. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2020**, 27 (4), 399-412 (In Persian).
- Bazgir, A.; Namiranian, M.; Avatefi Hemmat, M., The role of Zagros forests in providing fuel wood for forest dwellers (Case study: Kakasharaf rural district of Khorramabad). *Iranian Journal of Forest* **2015**, 7 (2), 225-242 (In Persian).
- Cai, J.; Jiang, Z., Energy consumption patterns by local residents in four nature reserves in the subtropical broadleaved forest zone of China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2010**, 14 (2), 828-834.
- Emami Meybodi, A.; Ghasemi, A.; Golchinfar, A., Factors Influencing the Consumer Price in the Household Sector. *Journal of Economic Research and Policies* **2010**, 17 (52): 69-94.
- Eshaghi, F.; Mahmoudi, B., Demand of wood consumption in forest dwellers of central Zagros, case study: Sardasht customary Region, Lordegan Township. *Journal of Forest Research and Development* **2020**, 5 (4): 613-627 (In Persian).
- Ghanbari, S.; Jafari, M.; Nasiri, V., Effects of conservation programs in changing the pattern of fuel consumption of villagers in the Arasbaran forests. *Journal of Forest Research and Development* **2015**, 1 (1), 67-83 (In Persian).
- Han, H.; Wu, S.; Zhang, Z., Factors underlying rural household energy transition: A case study of China. *Energy Policy* **2018**, 114, 234-244.
- Hu, B.; Luo, J.; Chen, C.; Li, B., 13. Evaluating Low-Carbon City Development in China: Study of five national pilot cities. *CHINA'S NEW SOURCES OF ECONOMIC GROWTH* **2016**, 315.
- IEA, *Energy and Air Pollution. World Energy Outlook - Special Report*. Paris: International Energy Agency (IEA), 2016.
- Kowsari, R.; Zerriffi, H., Three-dimensional energy profile: A conceptual framework for assessing household energy use. *Energy Policy* **2011**, 39 (12), 7505-7517.
- Lee, S. M.; Kim, Y.-S.; Jaung, W.; Latifah, S.; Afifi, M.; Fisher, L. A., Forests, fuelwood and livelihoods—energy transition patterns in eastern Indonesia. *Energy Policy* **2015**, 85, 61-70.
- Li, J.; Chen, C.; Liu, H., Transition from non-commercial to commercial energy in rural China: Insights from the accessibility and affordability. *Energy Policy* **2019**, 127, 392-403.
- Lorestan Province Management and Planning Organization, 2017. *Statistical Yearbook of Lorestan Province 2016*. Khorramabad: Lorestan Province Management and Planning Organization (In Persian).

- Marvi Mohajer, M. R., *Silviculture*. Tehran University Press: Tehran, 2013; p 386. (In Persian).
- Miah, M. D.; Kabir, R. R. M. S.; Koike, M.; Akther, S.; Shin, M. Y., Rural household energy consumption pattern in the disregarded villages of Bangladesh. *Energy Policy* **2010**, 38 (2), 997-1003.
- Ministry of Energy, *Rural electricity statistics year 2015*. Tehran: Ministry of Energy. 2016.
- Namiranian, M., *Measure of tree and forest biometry*. Tehran University Press: Tehran, 2006; p 574. (In Persian).
- Peng, W.; Hisham, Z.; Pan, J., Household level fuel switching in rural Hubei. *Energy for sustainable development* **2010**, 14 (3), 238-244.
- Rahut, D. B.; Behera, B.; Akhter, A., Household energy choice and consumption intensity: Empirical evidence from Bhutan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **2016**, 53, 993-1009.
- Shaditalab, J.; Naidar, M., Investigating the Factors Affecting the Reception of Home Solar Water Heaters in Rural Areas (Case study of Bardaskan County). *Journal of Rural Development* **2009**, 1 (1), 67-87 (In Persian).
- Sharifzadeh, M.; Shahrekie, M., Investigation of Factors Affecting Fuel Consumption of Rural Households in Central District of Zahedan County. *Rural Development Strategies* **2014**, 1 (2), 119-135 (In Persian).
- Statistical Center of Iran, *General Population and Housing Census*. Tehran: Statistical Center of Iran: 2016.
- Zare Shahabadi, A.; Hajizadehmeymandi, M.; Lotfalianiabarndabadi, A. M.; Soleimanim, Z., Socio-Cultural factors affecting energy consumption patterns of households in Yazd. *Journal of Energy Planning and Policy Research* **2013**, 1 (3), 17-50 (In Persian).
- Zou, B.; Luo, B., Rural household energy consumption characteristics and determinants in China. *Energy* **2019**, 182, 814-823.

Determinants of household energy consumption in forest villages of Khorramabad County

A. Bazgir¹, R. Maleknia^{*2} and M. Rahimian³

1- PhD Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (bazgir.ah@fa.lu.ac.ir)

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

3- Associate Professor, Department of Rural Development, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, I. R. Iran. (rahimian.m@lu.ac.ir)

Received: 16.08.2020 Accepted: 14.12.2020

Abstract

This study aimed to identify the factors affecting energy consumption in three forest villages of Khorramabad, Lorestan province. Gushe Shahanshah village had access to natural gas piped, Chenarbagali village with kerosene and liquefied petroleum gas and Malimdul village lacks natural gas, kerosene and liquefied petroleum gas. The sample consisted of 146 households from three villages, that selected by simple random sampling method. The research method of this research was survey and data were collected using a questionnaire. The data was analysed by spss software. Pearson test was used to examine the correlation between independent variables with annual fuel consumption, and independent t-test and Mann-Whitney test were used to compare the average fuel consumption in planar groupings. The results showed that in Gushe Shahnshah village, there is a positive and significant relationship between annual consumption of natural gas and variables of income, household size, heated area of the house and number of heaters, and there is a negative and significant relationship with the variable of antiquity of house. Also, in Chenarbagali and Malimdul villages, there is a positive and significant relationship between annual firewood consumption and variables of family size, number of male work force over 15 years old, heated area of the house and number of heaters, and a negative and significant relationship with income. The results showed that in addition to the above, fuel consumption is affected by several factors. The results showed that household fuel consumption is affected by several factors, but access to a clean energy source with high productivity, affordable and convenient access can significantly reduce firewood consumption and reduce deforestation.

Keywords: Consumption patterns, Rural households, Natural gas, Fuel, Firewood.

* Corresponding author

Tel: +989126806297