دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

مدل‌سازی برخی مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از خصوصیات توپوگرافی (مطالعه موردی: سری سه جنگل سنگده)

سید مهدی رضایی سنگدهی[۱]، اصغر فلاح[۲]، جعفر اولادی[۳] و هومن لطیفی[۴]

۱- دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: smrs_49@yahoo.com)
۲- استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۳- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۴- استادیار، دانشکده مهندسی نقشه برداری، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۹
صفحه: ۸۸ تا ۹۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: برای برنامه‌ریزی اصولی و صحیح در بخش جنگل، تهیه نقشه‌های کمی و کیفی از ملزومات مدیریتی بوده و برای رسیدن به توسعه پایدار اجتناب ناپذیر است. به‌همین منظور، جدیدترین اطلاعات از مشخصاتی که در تصمیم‌گیری‌های مربوط به استفاده و حفاظت بهینه از جنگل دارای اهمیت هستند، مورد نیاز است. هدف از این مطالعه، مدل‌سازی و تهیه نقشه مکانی برخی مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از خصوصیات توپوگرافی در جنگل‌های سری سه سنگده است.

مواد و روش‌ها: با استفاده از ۱۵۰ قطعه نمونه ۱۰ آری، مشخصه‌های تعداد، رویه زمینی و حجم در هکتار محاسبه شد. خصوصیات اولیه توپوگرافی شامل ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، انحنای پروفیلی، انحنای مسطح و انحنای مماسی و خصوصیات ثانویه توپوگرافی شامل رطوبت و تابش خورشیدی از مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک‌پذیری ده متر استخراج شد. سپس روابط بین مشخصه‌های کمی جنگل و خصوصیات توپوگرافی با استفاده از روش‌های ناپارامتری جنگل تصادفی، ماشین بردار پشتیبان و هم‌چنین با روش پارامتری رگرسیون خطی چندگانه مورد تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی قرار گرفت. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از ۳۰ درصد قطعات نمونه انجام شد.

یافته‌ها: مقادیر درصد اریبی و ریشه میانگین مربعات خطا برای انتخاب مدل مناسب محاسبه و نتایج نشان داد که روش ماشین‌بردار پشتیبان برای برآورد هر سه مشخصه اندازه‌گیری شده دارای بهترین نتایج بوده است. در برآورد تعداد در هکتار، تابع چند جمله‌ای درجه سه با مقادیر میانگین مربعات خطا و میزان اریبی به ترتیب RMSE=۹/۵۹% و Bias=−۱/۶۲% ، رویه‌زمینی با تابع پایه شعاعی (RBF) و مقادیر RMSE=۳۰/۵۳% و Bias=−۱/۳۲% و حجم در هکتار نیز با تابع چند جمله‌ای درجه سه و مقادیر RMSE=۳۷/۶۲% و Bias=−۰/۵۱% به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شدند. هم‌چنین نتایج نشان داد که متغیرهای توپوگرافی جهت، ارتفاع، تابش خورشیدی و انحنای مماسی بیشترین تأثیر را در فرآیند مدل‌سازی داشتند.

نتیجه‌گیری: مدل انتخاب شده در این پژوهش هر چند که توانست تا حدی اطلاعات ضروری جهت مدیریت جنگل‌ها را فراهم کند، اما به‌تنهایی نمی‌تواند کلیه دلایل مؤثر بر مشخصه‌ها را تبیین نماید، لذا شایسته است از ترکیب عوامل دیگری مانند شرایط اقلیمی، عرض جغرافیایی، خاک‌شناسی، تکنیک‌های سنجش از دور که سهم عمده‌ای در توضیح و تفسیر آن دارند، دقت پیش‌بینی را بهبود بخشید.

واژه‌های کلیدی: اریبی، روش‌های ناپارامتری، مدل رقومی ارتفاع، مشخصه‌های کمی

مقدمه

کسب اطلاعات مکانی دقیق در مورد خصوصیات کمی و کیفی جنگل برای مدیران جنگل دارای اهمیت بوده و به‌طور عمده با اهداف مدیریت بهینه جنگل، ارزیابی دقیق منابع آن و شناخت مکانی از منابع زیستی و نحوه بهره‌برداری از آن‌ها صورت می‌گیرد (۳۹). برای برنامه‌ریزی اصولی و صحیح در بخش جنگل، تهیه نقشه‌های کمی و کیفی از ملزومات مدیریتی بوده و برای رسیدن به توسعه پایدار اجتناب‌ناپذیر است (۲). لذا داشتن اطلاعات مکانی در مورد توده‌های جنگلی و ساختار آن در مقیاس‌های مکانی بزرگ برای سیاست‌گذاری‌های منابع طبیعی و تحقیقات بوم‌شناختی لازم است (۲۲). پراکنش پوشش‌های گیاهی در محیط‌های کوهستانی در ارتباط نزدیک با توپوگرافی است، بنابراین پارامترهای مربوط به زمین مثل ارتفاع، شیب و جهت شیب از عوامل مهم ورودی برای تجزیه مکانی و مدل‌سازی در چشم‌اندازهای کوهستانی هستند (۳۸،۱۹).

خصوصیات توپوگرافی مشتمل بر دو خصوصیات اولیه و ثانویه می‌باشند. به‌طور کلی خصوصیات اولیه توپوگرافی شامل ویژگی‌هایی هستند که به‌طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاع (DEM) محاسبه می‌شوند و خصوصیات ثانویه و یا خصوصیات ترکیبی مشخصه‌هایی هستند که مرکب از ویژگی‌های اولیه به‌همراه شاخص‌های فیزیکی یا تجربی می‌باشند که تغییرپذیری مکانی فرآیندهای خاص در سیمای اراضی را بیان می‌کنند (۳۳). شاخص‌های توپوگرافی که اغلب در مطالعات بخش جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرند شامل جهت شیب، شیب، ارتفاع از سطح دریا و طول و عرض جغرافیایی می‌باشند (۴). جدول زیر برخی از خصوصیات توپوگرافی را به‌همراه تعاریف نشان می‌دهد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

جدول ۱- خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی (۱۲،۴۳)

Table 1. Primary and Secondary Topographic Features

خصوصیات توپوگرافی	تعریف
ارتفاع از سطح دریا[1]	فاصله عمودی یک نقطه از سطح دریای آزاد
شیب[2]	زاویه بین سطح تماس با سطح افقی در یک نقطه از سطح زمین
جهت شیب[3]	زاویه ساعت‌گرد از جهت محور y به سیستم تصویر یک خط فرضی قائم بر یک سطح افقی در یک نقطه معین در سطح زمین
انحنای مسطح[4]	انحنا در صفحه افقی یک خط منحنی میزان
انحنای پروفیلی[5]	انحنا در صفحه عمودی خط جریان
انحنای مماسی[6]	خمیدگی در سطح شیب‌دار عمود بر جریان و رویه توپوگرافی
تابش خورشیدی[7]	مقدار تابش خورشیدی بر حسب کیلو وات که در ساعت به یک متر مربع می‌رسد
شاخص رطوبت[8]	نشان دهنده کنترل توپوگرافی بر روی خیسی خاک می‌باشد

در خصوص متغیرهای توپوگرافی انحنای مسطح، انحنای پروفیلی (مقطع) و مماسی (تانژانتی)، که شاخص‌های ژئومورفومتریک نیز محسوب می‌شوند، نوع شیب‌ها را توصیف می‌کنند (۱۷). انحنای مسطح بیان کننده تغییرات جهت در طول منحنی میزان و تأثیر آن بر فرآیند فرسایش شیب به شکل هم‌گرایی و واگرایی آب در طول جریان سراشیبی است (۴۲،۱۱). انحنای پروفیلی معرف اندازه تغییر شیب منحنی میزان در طول مسیر جریان است و زمانی که تقعر انحنای سطح در حال افزایش است، مقادیر آن منفی و در حالت بر عکس، مقادیر آن مثبت است (۱۸). این شاخص بیان کننده سرعت جریان، فرسایش (در مقادیر منفی)، رسوب‌گذاری (در مقادیر مثبت) و نیز ژئومورفولوژی منطقه است. انحنای مماسی به‌صورت محلی برای برآورد تحدب و تقعر مورد استفاده می‌گیرند و نشان‌دهنده جریان یا تغییر مواد در یک نقطه است (۴۴). شاخص رطوبت یا خیسی توپوگرافی نیز نمایانگر توزیع مکانی رطوبت خاک در طول چشم‌انداز است (۴۵). شاخص تابش خورشیدی نیز معیاری از جهت جغرافیایی می‌باشد. به‌طور مثال در نیمکره شمالی دامنه‌های مشرف به سمت جنوب و غرب به‌علت طولانی‌تر بودن زمان بهره‌گیری از تابش خورشید در مقایسه با دامنه‌های مشرف به شمال، مقدار نور مستقیم و انرژی بیشتری دریافت می‌نمایند (۳).

در زمینه مدل‌سازی مشخصه‌های جنگل با کمک خصوصیات توپوگرافی مطالعات متنوعی صورت گرفته که از جمله، بیات و همکاران (۶) در بررسی برخی متغیرهای زیستی و غیرزیستی تأثیرگذار بر رویش قطری درختان راش دریافتند که قطر برابرسینه، ترکیب عوامل توپوگرافی و شاخص رطوبت و سطح مقطع با مجذور میانگین مربعات خطای مدل برابر با ۲/۹ سانتی‌متر، رویش قطری راش را در سطح قطعه نمونه تعریف می‌کند. قنبری و همکاران (۱۵) در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان، به برآورد مشخصه تراکم درختان جنگل با استفاده از آنالیز زمین، شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز رگرسیون خطی پرداختند. در این پژوهش با استفاده از شش خصوصیت اولیه و دو خصوصیت ثانویه توپوگرافی، نشان داده شد که شبکه تابع پایه شعاعی (RBF) با مقادیر RMSE=۵۳/۲۵ و R^2=۰/۶۵ دارای نتایج دقیق‌تری در برآورد مشخصه تراکم بوده است. قنبری و همکاران (۱۶) طی بررسی امکان برآورد مکانی تعداد در هکتار و متوسط قطر درختان جنگل با استفاده از تجزیه زمین‌آمار در طرح جنگلداری شصت‌کلاته گرگان، نشان دادند که ارتفاع از سطح دریا، پتانسیل سالانه تابش خورشید، شیب و جهت شیب از جمله خصوصیات توپوگرافی هستند که نقش تعیین‌کننده‌ای در پراکنش مکانی خصوصیات جنگل دارند. هم‌چنین نتایج مطالعه آن‌ها نشان‌داد که بین ۴۷-۴۰ درصد از تغییرات خصوصیات جنگل می‌تواند به‌وسیله این مدل‌های خطی تبیین شود. مقصودلونژاد و همکاران (۲۶) طی تحلیل مکانی و آماری مشخصه‌های کمی توده‌های ارس منطقه چهارباغ گرگان با توجه به خصوصیات توپوگرافی و فیزیکی خاک، دریافتند که برای توصیف مشخصه تعداد در هکتار، مدل رگرسیون غیرخطی متغیرهای جهت و شاخص رطوبتی با مقادیر RMSE=۴/۸۵ و R^2_{adj}=۰/۵۷ و برای توصیف سطح مقطع، مدل غیرخطی خصوصیات جهت، سنگ و سنگریزه، قدرت جریان آب و شاخص رطوبتی با مقادیر RMSE=۲/۱ و R^2_{adj}=۰/۵۶ به‌عنوان بهترین مدل بوده است. کلایسنز و همکاران (۸) به بررسی پراکنش مکانی گونه آگاتیس (*Agathis australis*) با استفاده از خصوصیات توپوگرافی مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع در نیوزلند پرداختند. نتایج حاصل از بررسی مدل رگرسیونی مطالعات آن‌ها نشان داد که شیب و جهت شیب با حضور این گونه دارای ارتباط اما ارتفاع از سطح دریا و تابش خورشیدی تقریباً بی‌اهمیت است. هورش (۲۰) طی مطالعه پراکنش مکانی جنگل‌های کوهستانی در آلپ مرکزی، ۲۴ خصوصیت از مدل رقومی ارتفاع استخراج نموده که نتایج وی نشان داد ارتفاع از سطح دریا، جهت شیب و تا حدودی رطوبت، مهم‌ترین شاخص‌ها برای بیان خصوصیات جنگل هستند. جانسون و میلر (۲۳) با بررسی ساختار و گسترش جنگل‌های ارس تحت تأثیر دو عامل توپوگرافی شیب و جهت در ایالت اورگان و آیداهو دریافتند که در ارتفاع و شیب ثابت، با حرکت از جهت شمالی به جنوبی، تعداد درختان ۵ اصله در هکتار کاهش می‌یابد. از طرفی با افزایش ۲۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا، تعداد درختان ۲ اصله در هکتار افزایش را نشان داد. هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان داد که با افزایش هر صد متر ارتفاع، تعداد در هکتار در حدود ۲۲٪ افزایش داشته‌است. میتسودا و همکاران (۳۰) به‌منظور مدل‌سازی شاخص رویشگاه برای توده‌های خالص کاج ژاپنی، از ۱۴ خصوصیات توپوگرافی استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که مهم‌ترین عامل محدود کننده در این پژوهش، تابش خورشیدی بوده که از روش رگرسیون چند متغیره خطی با ضریب همبستگی R^2=۰/۶۹ مدل‌سازی کردند. مارن و همکاران (۲۸) در جنگل‌های کوهستانی نپال به تأثیر جهت‌های شمالی و جنوبی بر خصوصیات توده جنگل و خاک پرداختند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تراکم درختان به‌طور معنی‌داری در جهت شمالی با میانگین ۶۹۳ اصله در هکتار بیشتر از جهت جنوبی با میانگین ۴۸۲ اصله، اما میانگین سطح

1- Elevation 2- Slope 3- Aspect 4- Plan Curvature
5- Profile Curvature 6- Tangential Curvature 7- Solar Radiation 8- Wetness Index

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

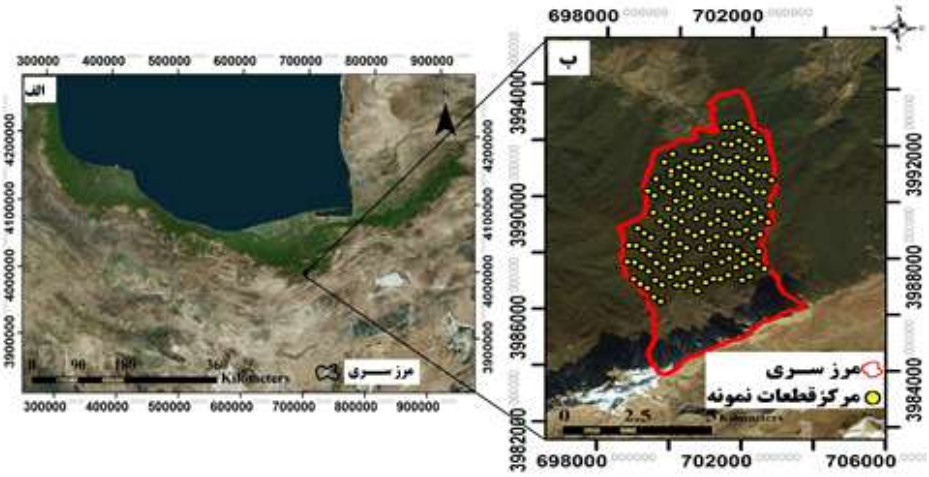
مقطع در جهت جنوبی نسبت به جهت شمالی بیشتر بوده که به‌ترتیب برابر با ۲/۷۴ و ۱/۶۵ متر مربع در هکتار بوده است. میاموتو و همکاران (۳۱) جهت پیش‌بینی شاخص رویشگاه در جنگل پهن‌برگ اوکیناوای ژاپن با استفاده از فاکتورهای توپوگرافی، به استخراج هشت ویژگی از خصوصیات توپوگرافی پرداختند و با تحلیل رگرسیون چند متغیره نشان دادند که سه خصوصیت ارتفاع از سطح دریا، پستی و بلندی‌های مؤثر و میزان بازشدگی تأثیر بیشتری داشته و توانسته تقریباً ۶۸٪ از واریانس را توجیه نماید. سالیناز و همکاران (۳۷) در جنگل‌های غرب مکزیک برای پیش‌بینی زی‌توده روی زمینی جنگل با استفاده از متغیرهای توپوگرافی و کاربرد مدل‌های خطی، دریافتند که متغیرهای ارتفاع، شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی و انحنای تانژانتی تا ۲۱٪ از زی‌توده را تبیین می‌نماید. بالیزی و همکاران (۵) به مدل‌سازی تأثیر متغیرهای محیطی و توپوگرافی بر رویش ارتفاعی توده نوئل در جنگل‌های جنوب غربی لهستان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان‌داد که جدا از متغیر سن توده، بیشترین تأثیر در رشد ارتفاعی درختان را متغیرهای ارتفاع از سطح دریا (۳۱٪)، جهت شیب (۲۰٪)، شیب (۱۸٪) شاخص رطوبت توپوگرافی (۱۶٪) و شاخص موقعیت توپوگرافی (۱۵٪) دارند. ترانگ و همکاران (۴۱) در جنگل‌های مرکزی ویتنام به ارزیابی تأثیر توپوگرافی بر تنوع گونه‌ها، پراکنش و ترکیب مشخصه‌های جنگل پرداختند. در این مطالعه آن‌ها نشان دادند که میانگین تراکم درختان در هکتار در ارتفاع و شیب پایین به‌دلیل مدیریت، رقابت و غنای گونه‌ای زیاد، بسیار بیشتر از ارتفاع و شیب بالاست. به‌طوری‌که ارتفاع از سطح دریا تأثیر بیشتری بر روی تراکم و سطح مقطع به‌ترتیب با مقادیر همبستگی ۰/۶۰- و ۰/۱۵ داشته و در نقطه مقابل، شیب همبستگی ضعیفی با تراکم و سطح مقطع با مقادیر ۰/۱۹- و ۰/۰۶ داشته است.

همان‌گونه که اشاره شد، مطالعات متنوعی در خصوص کاربرد متغیرهای توپوگرافی صورت گرفته و کمتر به بررسی اثرات آن روی چند مشخصه در یک توده جنگلی پرداخته شد. از طرفی نیز تاکنون مطالعه‌ای در مورد اثرات خصوصیات توپوگرافی بر روی مشخصه‌های کمی جنگل در منطقه مورد مطالعه انجام نشده‌است. لذا با عنایت به کوهستانی بودن و گستردگی عرصه‌های جنگلی در شمال کشور و از جمله منطقه مورد مطالعه که نیازمند صرف هزینه و زمان زیاد در اموری چون آماربرداری صد در صد به‌منظور تهیه نقشه‌هایی دقیق و صحیح می‌باشد، بنابراین امکان استفاده از روشی مناسب جهت بررسی مشخصه‌های کمی جنگل و بهبود صحت و دقت برآورد در زمان کوتاه‌تر و در نتیجه آن هزینه کمتر جهت اداره و مدیریت بر عرصه‌های جنگلی، انجام این پژوهش ضروری به‌نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جهت انجام پژوهش حاضر جنگل‌های سری سه سنگده انتخاب شده که دارای مساحتی در حدود ۲۲۰۶ هکتار و دامنه ارتفاعی ۱۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). این سری در زیر حوضه آبریز تالار سربند از حوضه آبخیز شماره ۶۴ جنگل‌های شمال کشور و در منطقه جنگل‌های اداره کل منابع طبیعی استان مازندران منطقه ساری و در محدوده جغرافیایی ″۱۰ ′۱۲ °۵۳ تا ″۴۰ ′۱۵ °۵۳ طول شرقی و ″۱۰ ′۴۰ °۳۶ تا ″۴۰ ′۵۸ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. تیپ غالب جنگلی از گونه راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) به‌همراه ممرز (*Carpinus betulus* L.)، توسکا (*Alnus subcordata* C.A.Mey)، شاه بلوط (*Quercus Castaneifolia* C.A.Mey.) و سایر گونه‌ها می‌باشد. جهت غالب منطقه شمالی، متوسط دما در گرم‌ترین ماه سال (مردادماه) ۲۷/۴ درجه سانتی‌گراد و در سردترین ماه (بهمن ماه) ۳/۹- درجه سانتی‌گراد با متوسط دمای سالیانه ۱۱/۸ درجه سانتی‌گراد و متوسط باران سالیانه ۷۷۸/۸ میلی‌متر بوده و سنگ مادری که منشأ تشکیل دهنده خاک منطقه است از نوع ماسه‌سنگ سیلتستون که با رگه‌های آهکی همراه می‌گردد و تیپ خاک قهوه‌ای شسته شده با افق آرژیلیک می‌باشد (۱۳).



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی الف) جنگل‌های شمال ایران ب) سری سه سنگده
Figure 1. The study area A) Forests of North Iran B) District-3 of Sangdeh

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

روش پژوهش

نمونه‌برداری

با استفاده از شبکه آماربرداری ۲۰۰×۱۵۰ متر تعداد ۱۵۰ قطعه نمونه دایره‌ای به روش منظم تصادفی به مساحت ۱۰ آری در سطح ۴۵۰ هکتار انتخاب، و مراکز تمام قطعات نمونه با استفاده از دستگاه GPS60CSX با دقت ۳-۴ متر مشخص گردید. در هریک از قطعات نمونه مشخصه‌های نوع گونه، ارتفاع و قطر برابر سینه بیش از ۷/۵ سانتی‌متر تمامی درختان ثبت شده است (۴۶). سپس مشخصه‌های تعداد، رویه زمینی و حجم در هکتار محاسبه شد. رویه زمینی برای هر اصله درخت در قطعات نمونه و در هکتار با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید.

$$Basal\ Area\ (g) = d^2 \times \frac{\pi}{4}$$ رابطه (۱)

در رابطه فوق، g رویه زمینی بر حسب سانتی‌متر مربع، d قطر برابر سینه برحسب سانتی‌متر و π برابر با ۳/۱۴ می‌باشد.

حجم سرپای درختان ابتدا در قطعات نمونه و سپس در هکتار نیز از رابطه زیر (۲) برآورد شده که در رابطه با جنگل‌های طبیعی شمال ایران و یا خارج از آن ضریب شکل (f) را به طور میانگین ۰/۵ در نظر می‌گیرند (۳۴):

$$V = g \times h \times f$$ رابطه (۲)

در این رابطه V حجم درخت بر حسب سیلو، g رویه زمینی بر حسب متر مربع و h ارتفاع درخت بر حسب متر و f ضریب شکل درختان می‌باشد.

تهیه نقشه خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی

جهت استخراج مشخصات توپوگرافی ابتدا لازم است تا مدل رقومی زمین (DEM) تهیه گردد. برای این منظور نقشه مدل رقومی ارتفاع با اندازه پیکسل ده متری از خطوط تراز نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه مورد مطالعه به‌عنوان داده‌های ارتفاعی اولیه تولید شد (۱۴). سپس از این نقشه در نرم‌افزار Saga-7.4، مشخصات اولیه توپوگرافی شامل: ارتفاع از سطح دریا، شیب، جهت شیب، انحنای پروفیلی، انحنای مسطح و انحنای مماسی و مشخصات ثانویه توپوگرافی شامل رطوبت و تابش خورشیدی تهیه گردید.

استخراج اطلاعات آماری و مدل‌سازی

پس از تهیه نقشه‌های مربوطه، به‌منظور استخراج اطلاعات هر یک از خصوصیات توپوگرافی، در محیط نرم‌افزار ArcMap با قرار دادن نقشه موقعیت جغرافیایی قطعات نمونه بر روی آن، اطلاعات متناظر با قطعات نمونه استخراج گردید. از تعداد کل قطعات نمونه ۷۰ درصد برای مدل‌سازی و مابقی جهت ارزیابی انتخاب گردید. مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار STATISTICA و الگوریتم‌های ناپارامتری جنگل تصادفی، ماشین‌بردار پشتیبان و هم‌چنین با روش پارامتری رگرسیون خطی چندگانه بین مشخصه‌های کمی و متغیرهای توپوگرافی و به روش گام به گام (Stepwise) انجام شد. در روش جنگل تصادفی ابتدا با ۴۰۰ درخت اولیه صورت گرفت. جهت انتخاب بهینه متغیرهای مستقل، ابتدا با کل متغیرها انجام و سپس با مشاهده نمودار تغییرات میزان مربعات خطا برای نمونه‌های آموزشی و ارزیابی، جایی‌که با افزایش تعداد، روند افزایش مربعات خطا ثابت شد به‌عنوان تعداد درخت بهینه انتخاب گردید. تعداد بهینه برآوردگرها از جذر تعداد کل متغیرها و میزان نسبت زیرنمونه نیز از ۰/۵ تا ۰/۹ تغییر داده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت (۳۶). در روش ماشین‌بردار پشتیبان نیز از چهار کرنل متعارف خطی، چند جمله‌ای، پایه شعاعی و سیگوئید استفاده شد. پارامترهای کرنل شامل ظرفیت، گاما و اپسیلون است که مقدار گاما از عکس تعداد متغیر مورد بررسی حاصل شد. جهت انتخاب بهترین میزان ظرفیت و اپسیلون از روش جستجوی شبکه‌ای و طیف وسیعی از متغیرهای ورودی ۱ تا ۵۰ برای ظرفیت و ۰/۱ تا ۰/۵ برای اپسیلون در نظر گرفته شد (۳۶). در نهایت طبق روابط ۳ و ۴ بر اساس کمترین مقدار درصد اریبی و ریشه میانگین مربعات خطا بهترین مدل انتخاب گردیدند (۳۰). که Y مقدار مشاهده شده، $\hat{Y}$ مقدار برآورد شده، $\bar{Y}$ میانگین برآورد شده و n تعداد مشاهدات می‌باشد.

$$\%RMASE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n}} \Big/ \bar{Y} \times 100$$ رابطه (۳)

$$\%Bias = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{Y}_i - Y_i)}{n} \Big/ \bar{Y} \times 100$$ رابطه (۴)

نتایج و بحث

آزمون نرمالیته برای مشخصه‌های کمی نشان داد که مشخصه تعداد در هکتار دارای توزیع نرمال نبوده، لذا با استفاده از روش تبدیل لگاریتمی نرمال گردیده و مدل‌سازی آن براساس لگاریتم انجام شد.

نتایج حاصل از بررسی آماره‌های توصیفی برای مشخصه‌های کمی مورد اندازه‌گیری در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- آماره توصیفی مشخصه‌های کمی جنگل

Table 2. Descriptive information of quantitative characteristics of the forest

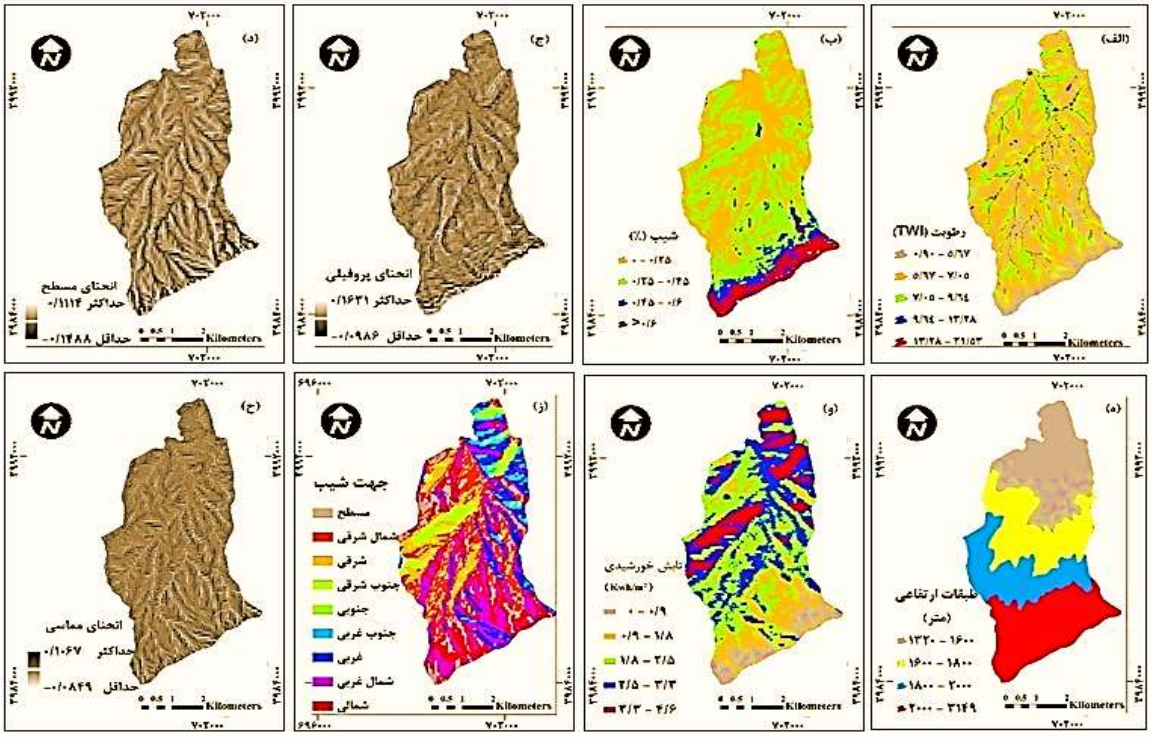
مشخصه	کمینه	میانگین	بیشینه	اشتباه معیار	دقت نمونه برداری	چولگی	کشیدگی	ضریب تغییرات
لگاریتم تعداد در هکتار (اصله)	۲	۱	۳	۰/۰۲	٪۳/۹۶	۰/۰۲	-۰/۵۰	۲۲٪
رویه زمینی در هکتار (متر مربع)	۷/۴۴	۲۸/۶۱	۵۴/۰۴	۰/۷۶	٪۵/۲۵	۰/۳۳	-۰/۲۶	٪۳۲/۴۷
حجم در هکتار (سیلو)	۷۴/۳۳	۳۷۷/۶۶	۸۲۲/۴۴	۸/۶۷	٪۴/۵۵	۰/۴۶	-۰/۳۰	٪۲۸/۱۵

نتایج مربوط به بررسی آماره‌های توصیفی متغیرهای مستقل یا خصوصیات توپوگرافی مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع در جدول ۳ آمده‌است. پس از استخراج اطلاعات مربوط به متغیرهای مستقل، نقشه‌های این مشخصه‌ها مشتمل بر هشت نقشه خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی مطابق با شکل ۲ تهیه شد.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

جدول ۳- آماره توصیفی مشخصه‌های اولیه و ثانویه توپوگرافی
Table 3. Descriptive information of primary and secondary topographic features in the forest

مشخصه	کمینه	میانگین±اشتباه معیار	بیشینه	چولگی	کشیدگی	دامنه
ارتفاع از سطح دریا (متر)	۱۴۰۳	۱۷۱۷ ± ۱۴/۷۳	۲۰۹۱	۰/۱۵	−۱/۰۵	۶۸۷
شیب (درصد)	۰/۰۱	۰/۲۳ ± ۰/۰۰۶	۰/۴۹	۰/۱۱	۰/۰۴	۰/۴۸
جهت شیب (درجه)	۴/۵۰	۱۹۲ ± ۹/۷۸	۳۶۰	−۰/۱۵	−۱/۶۴	۳۵۴
انحنای مسطح (رادیان بر متر)	−۰/۰۱	۰/۰۰۰۳ ± ۲/۴۴	۰/۰۱	۰/۱۲	۰/۵۳	۰/۰۲
انحنای پروفیلی (رادیان بر متر)	−۰/۰۱	۰/۰۰۰۱ ± ۱/۶۳	۰/۰۱	−۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۰۱
انحنای مماسی (رادیان بر متر)	۰/۰۰	۰/۰۰۰۲ ± ۱/۶۳	۰/۰۱	۰/۲۷	۰/۴۶	۰/۰۱
شاخص تابش خورشیدی (کیلووات ساعت بر متر مربع)	۱/۳۷	۲/۶۱ ± ۰/۰۴	۴/۲۷	۰/۴۳	−۰/۱۱	۲/۹۰
شاخص رطوبت (فاقد واحد)	۴/۷۶	۶/۵۵ ± ۰/۰۹	۱۰/۵۴	۱/۰۴	۱/۲۰	۵/۷۸



شکل ۲- نقشه خصوصیات اولیه و ثانویه توپوگرافی- الف) شاخص رطوبت ب) شیب ج) انحنای پروفیلی د) انحنای مسطح ه) طبقات ارتفاعی و) تابش خورشیدی ز) جهت شیب ح) انحنای مماسی
Figure 2. Map of primary and secondary features of topography- A) Wetness Index B) Slope C) Profile C. D) Plan C. E) Elevation F) Solar Radiation G) Aspect H) Tangential C.

نتایج همبستگی پیرسون بین مشخصه‌های کمی جنگل و خصوصیات توپوگرافی برقرار گردید و نتایج آن که در جدول ۴ آمده نشان می‌دهد، بین مشخصه‌های تعداد، رویه‌زمینی و حجم در هکتار با ارتفاع از سطح دریا تفاوت معنی‌داری وجود دارد. هم‌چنین بین مشخصه‌های رویه‌زمینی و حجم در هکتار با جهت شیب تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۹۹ درصد وجود دارد (تعداد ۱۵۰ قطعه نمونه).

جدول ۴- همبستگی پیرسون بین مشخصه‌های کمی جنگل با خصوصیات توپوگرافی
Table 4. Spearman correlation values of the Quantitative characteristics and topographic features

خصوصیات توپوگرافی / مشخصه‌های کمی	ارتفاع از سطح دریا	شیب	جهت شیب	انحنای مسطح	انحنای پروفیلی	انحنای مماسی	شاخص تابش خورشیدی	شاخص رطوبت
تعداد در هکتار (اصله)	−۰/۱۸۱*	−۰/۰۳۵	۰/۱۰۳	۰/۱۱۰	۰/۰۸۷	۰/۰۴۳	۰/۱۰۰	−۰/۰۳۱
رویه زمینی در هکتار (متر مربع)	۰/۲۲۶**	۰/۱۱۲	۰/۲۶۸**	−۰/۰۱۲	۰/۱۲۶	−۰/۰۶۶	۰/۰۹۷	−۰/۱۰۳
حجم در هکتار (سیلو)	۰/۲۶۰**	۰/۱۱۲	۰/۲۲۰**	−۰/۰۴۳	۰/۰۹۲	−۰/۰۹۵	−۰/۱۳۲	−۰/۰۹۱

* ، **: معنی‌داری در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد احتمال

در مرحله بعد، روابط رگرسیونی با استفاده از روش‌های ناپارامتری جنگل تصادفی و ماشین‌بردار پشتیبان و هم‌چنین روش پارامتری رگرسیون چندگانه خطی برای مدل‌سازی بین مشخصه‌های کمی جنگل و خصوصیات توپوگرافی برقرار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

گردید. از بین روش‌های مختلف انجام شده، بر اساس شاخص‌های اعتبار سنجی، در روش ناپارامتری ماشین‌بردار پشتیبان برازش مناسب‌تری نسبت به سایر روش‌ها به‌دست آمده است. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۵ آمده است.

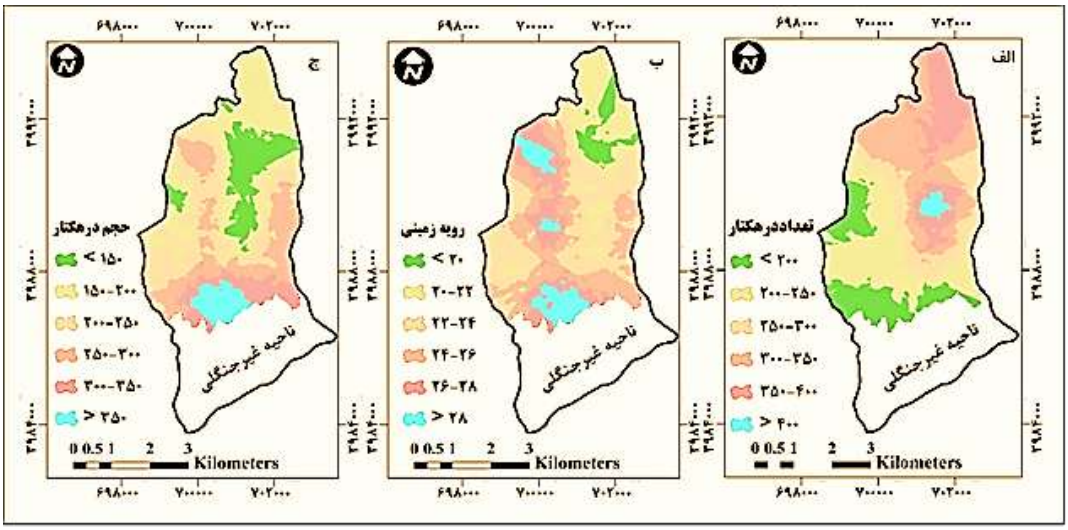
براین اساس برای مشخصه تعداد در هکتار، تابع چند جمله‌ای درجه سه، رویه زمینی با تابع پایه شعاعی (RBF) و حجم در هکتار نیز با تابع چند جمله‌ای درجه سه دارای برازش معتبرتری بوده‌اند. هم‌چنین با توجه به نتایج، خصوصیات توپوگرافی که به‌عنوان متغیر مستقل می‌باشند، به‌ترتیب تأثیر در مدل‌سازی نشان داده شده‌است که در روش ماشین‌بردار پشتیبان، برای دو مشخصه رویه‌زمینی و حجم در هکتار متغیر جهت شیب و برای مشخصه تعداد در هکتار متغیر ارتفاع از سطح دریا بیشترین اثر را داشته‌است.

جدول ۵- نتایج مدل‌سازی جهت برآورد مشخصه‌های کمی

Table 5. The result of modeling for estimation of quantitative characteristics

الگوریتم	مشخصه‌های کمی	خصوصیات توپوگرافی به‌ترتیب اهمیت اثر (متغیر مستقل)	تابع	میانگین مربعات خطا	میزان اریبی	ضریب همبستگی
جنگل تصادفی	لگاریتم تعداد در هکتار (اصله)	ارتفاع از سطح دریا- انحنای مسطح- انحنای مماسی- جهت شیب	-	۹/۶۵	-۲/۰۸	۰/۳۳
	رویه‌زمینی در هکتار (متر مربع)	جهت شیب- تابش خورشیدی- انحنای مسطح- انحنای مماسی	-	۳۰/۶۰	-۴/۳۹	۰/۲۹
	حجم در هکتار (سیلو)	جهت شیب- انحنای مماسی- ارتفاع از سطح دریا- انحنای مسطح	-	۳۹/۱۹	-۲/۴۶	۰/۲۴
ماشین‌بردار پشتیبان	لگاریتم تعداد در هکتار (اصله)	ارتفاع از سطح دریا- انحنای مسطح- انحنای مماسی- جهت شیب	چندجمله‌ای درجه سه	۹/۵۹	-۱/۶۲	۰/۳۴
	رویه‌زمینی در هکتار (متر مربع)	جهت شیب- ارتفاع از سطح دریا- تابش خورشیدی- انحنای مماسی	تابع پایه شعاعی	۳۰/۵۳	-۱/۳۲	۰/۴۷
	حجم در هکتار (سیلو)	جهت شیب- ارتفاع از سطح دریا - تابش خورشیدی- انحنای مماسی	چندجمله‌ای درجه سه	۳۷/۶۲	-۰/۵۱	۰/۴۵
رگرسیون چندگانه خطی	لگاریتم تعداد در هکتار (اصله)	ارتفاع از سطح دریا	-	۱۰/۱۸	-۱/۸۷	۰/۱۴
	رویه زمینی در هکتار (متر مربع)	جهت شیب	-	۳۰/۸۹	-۴/۲۲	۰/۱۲
	حجم در هکتار (سیلو)	جهت شیب	-	۳۶/۹۳	-۲/۹۰	۰/۱۱

پس از برقراری روابط روش‌های مدل‌سازی، مدل مناسب بر اساس معیارهای ذکر شده انتخاب گردید. با استفاده از مدل انتخابی در محیط ArcMap، پیش‌بینی اطلاعات مکانی مشخصه‌های کمی در مناطقی که آماربرداری در آن‌ها صورت نگرفته مشخص، و در نهایت نقشه پیوسته مکانی تعداد، رویه زمینی و حجم در هکتار برای منطقه مورد مطالعه تهیه گردید (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه مشخصه‌های کمی حاصل از مدل‌های انتخاب شده الف) تعداد در هکتار ب) رویه‌زمینی در هکتار ج) حجم در هکتار

Table 3. The map of quantitative characteristics of selected models A) Number/hec B) Basal Area/hec C) Volume/hec

بررسی وضعیت پراکنش تعداد درختان در یک توده جنگلی نه تنها در برآورد تولید در سنین مختلف حائز اهمیت است، بلکه در برنامه‌ریزی روش‌های تنک کردن در جنگل‌ها نیز می‌تواند مفید باشد و تولید بهینه اقتصادی و زیستی و پایداری توده را نیز تضمین می‌کند (۳۵). آماره توصیفی محاسبه شده برای مشخصه‌های کمی جنگل نشان می‌دهد که هر سه مشخصه تعداد، رویه‌زمینی و حجم در هکتار دارای چولگی مثبت هستند. نتایج نشان داد که برای تعداد در هکتار

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

کشیدگی نیز مثبت می‌باشد و میزان چولگی نزدیک به یک (۰/۹۸) بوده و در واقع نشان‌دهنده این است که شکلی کم شونده داشته و از فراوانی درختان در طبقات قطری بالاتر کاسته شده‌است. این مهم می‌تواند متأثر از دو موضوع باشد. یکی این‌که با واقعیت و ساختار ناهمسالی توده جنگلی مطابقت داد و از طرفی دیگر با توجه به این‌که قسمت‌هایی از منطقه مورد مطالعه در گذشته به شیوه پناهی مدیریت شد، موجب گردیده تا فراوانی درختان در طبقات قطری پائین به مراتب بیشتر باشد و این نتایج با تحقیق ابراهیمی ملکشاه (۱۰) که در منطقه مطالعاتی حاضر صورت گرفته و نشان داد که تعداد در هکتار درختان در طبقات قطری کمتر از ۲۰ سانتی‌متر و ۴۰-۲۱ سانتی‌متر افزایش و در طبقات قطری بیش از ۴۰ سانتی‌متری کاهش داشته، و هم‌چنین با نتایج پژوهش مانن و همکاران (۲۷) که از حد ارتفاعی ۲۵۰۰-۵۰۰ متر از سطح دریا در جنگل‌های شمال پاکستان انجام گرفته و نشان دادند که در ارتفاع پایین به‌دلیل نوع دخالت، تراکم درختان بیشتر است، مطابقت دارد. از طرفی با نتایج پژوهش جانسون و میلر (۲۳) که البته در توده ارس انجام گرفته و نشان دادند که با افزایش ارتفاع از سطح دریا، مشخصه تعداد در هکتار افزایش داشته، مغایرت دارد. مشخصه‌های رویه زمینی و حجم در هکتار نیز تا حدودی دارای چولگی مثبت اما کشیدگی منفی هستند. در مجموع نتایج به‌دست آمده از تحلیل توصیفی نشان می‌دهد که مشخصه‌های کمی دارای دامنه تغییرات زیاد بوده و حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه از نظر توزیع مکانی مشخصه‌های مورد بررسی دارای شرایط ناهمگن می‌باشد و از این منظر با نتایج مطالعه نوریان و همکاران (۳۶) مبنی بر دامنه تغییرات زیاد داده‌های زمینی تعداد، رویه‌زمینی و حجم درهکتار مطابقت دارد.

نتایج حاصل از همبستگی پیرسون نشان‌داد که هر سه مشخصه کمی مورد بررسی همبستگی معنی‌داری با متغیر ارتفاع از سطح دریا دارند. مشخصه تعداد در هکتار رابطه منفی و معنی‌دار با ارتفاع از سطح دریا دارد و همان‌طوری که پیشتر اشاره شده از آن‌جایی‌که در ارتفاعات پایین در قسمت‌هایی از عرصه تحت مدیریت به شیوه پناهی قرار گرفت، فراوانی درختان با افزایش ارتفاع روند کاهشی را نشان می‌دهد. از طرفی سطح مقطع و حجم در هکتار رابطه مثبت و معنی‌دار با ارتفاع دارند و این مهم نشان می‌دهد هر چند که از فراوانی درختان در واحد سطح کاسته شده اما به‌دلیل وجود درختانی با قطر بالا که سهم بیشتری در افزایش سطح مقطع و حجم در هکتار دارند، می‌باشد. البته بایستی به این نکته نیز توجه داشت که با تغییر ارتفاع از سطح دریا، شرایط میکروکلیمایی، بوم‌شناختی و محیطی رویشگاه جنگل تغییر پیدا کرده و در نتیجه وضعیت ساختاری توده به تناسب شرایط محلی تغییر می‌یابد (۲۱).

ارائه مدل‌های رگرسیونی برآورد مکانی جهت پیش‌بینی مشخصه‌های جنگل به‌منظور دسترسی سریع و آسان بسیار حائز اهمیت می‌باشند. معمولاً در کنار روش‌های پارامتریک، روش‌های ناپارامتریک مانند نزدیک‌ترین همسایه وزن‌دار، ماشین‌بردار پشتیبان و جنگل تصادفی در برآورد مشخصه‌های کمی جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴۰). در این مطالعه از دو روش پارامتریک جنگل تصادفی و ماشین‌بردار پشتیبان و نیز روش پارامتریک رگرسیون چندگانه خطی استفاده شد. نتایج مربوط به روش رگرسیون خطی نشان داد که این روش مدل‌سازی نسبت به دو روش دیگر از دقت پائین‌تری برخوردار است. به‌طوری‌که مقادیر درصد ریشه میانگین مربعات خطا و اریبی به‌ترتیب برای مشخصه‌های تعداد، رویه‌زمینی و حجم در هکتار برابر با ۱۰/۱۸ و ۱/۸۷-، ۳۰/۸۹ و ۴/۲۲-، ۳۶/۹۳ و ۲/۹۰- می‌باشد. با توجه به این‌که تأثیر خصوصیات توپوگرافی بر پارامترهای کمی جنگل از رابطه خطی پیروی نمی‌کند، لذا کاربرد رگرسیون‌های خطی به‌دلیل عدم توانایی در نشان دادن تمامی تغییرات موجود، از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد (۱۶).

نتایج این مطالعه با عنایت به در نظر گرفتن کمترین مقادیر درصد ریشه میانگین مربعات خطا و اریبی نشان داد که برای مشخصه تعداد در هکتار این مقادیر برابر با %RMSE=۹/۵۹ و %Bias=-۱/۶۲ می‌باشد و در بین روش‌های مختلف مدل‌سازی، روش ناپارمتری ماشین‌بردار پشتیبان با تابع چند جمله‌ای درجه سه و در بین متغیرهای تخمین‌گر در این روش، متغیرهای ارتفاع از سطح دریا، انحنای مسطح، انحنای مماسی و جهت شیب برآورد مناسب‌تری را برای این مشخصه نشان دادند که با نتایج هورش (۲۰)، کانتون و همکاران (۷)، جانسون و میلر (۲۳) و میاموتو و همکاران (۳۱) مبنی بر اولویت تأثیر متغیر ارتفاع از سطح دریا و نیز با نتایج مطالعه قنبری و همکاران (۱۶) در مورد خصوصیات توپوگرافی مؤثر در برآورد مکانی تعداد درختان و تبیین تغییرات آن مطابقت دارد.

نتایج مربوط به مدل‌سازی مشخصه رویه‌زمینی نشان داد که تابع پایه شعاعی (RBF) با مقادیر %RMSE=۳۰/۵۳ و %Bias=-۱/۳۲ و متغیرهای جهت شیب، تابش خورشیدی، ارتفاع از سطح دریا و انحنای مماسی برآورد مناسب‌تری داشته است. از طرفی برای مشخصه حجم در هکتار، تابع چند جمله‌ای درجه سه با مقادیر %RMSE=۳۷/۶۲ و ۰/۵۱ =%Bias، متغیرهای جهت شیب، انحنای مماسی، ارتفاع از سطح دریا و تابش خورشیدی به‌ترتیب با اهمیت اثرگذاری، برآورد بهتری را نشان داده است. جهت شیب‌ها به بروز تفاوت در اقلیم خرد و ترکیب و ساختار پوشش گیاهی منجر می‌شود که این امر نیز به‌نوبه خود سبب بروز دگرگونی‌هایی در خاک شده و در نهایت سبب تغییر در ساختار و پراکنش می‌شود (۳۲). این نتایج با پژوهش مقصودلونژاد و همکاران (۲۶) و مارن و همکاران (۲۸) که دریافتند متغیر جهت شیب بیشترین تأثیر را بر روی مشخصه‌های کمی جنگل داشته، مطابقت داشت ولی در تقابل با نتایج تحقیق ترانگ و همکاران (۴۱) می‌باشد. تیپ غالب منطقه مورد مطالعه، راش و جهت عمومی نیز غالباً شمالی می‌باشد (۱۳). از آن‌جایی‌که معمولاً جنگل‌های راش بیشتر در جهت‌های شمالی و به‌خاطر برخورداری از رطوبت و شرایط مساعد رویش، دیده می‌شوند (۲۹)، لذا ممکن است اثر عامل جهت شیب بر روی مشخصه‌های یاد شده که قرابت نزدیکی با پوشش جنگلی منطقه دارد، متأثر از این موضوع باشد. پر واضح است که

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

خصوصیات توپوگرافی با توجه به تأثیر بر روی آب قابل دسترس و خاک، همواره یک عامل مفید برای ناهمگنی و علاوه بر آن به‌عنوان پایه و اساس تعیین رویشگاه جنگلی است (۹)، تا جایی‌که اثر رطوبت خاک بر روی رویش و رشد گیاهان به‌خوبی شناخته شده است (۱). از این‌رو، متغیرهای انحنا (مسطح، پروفیلی و مماسی) که برای بیان ناهمواری سطوح زمین استفاده می‌شود، به دسترسی آب و رطوبت و سایر خواصی که بر کیفیت و در نتیجه رشد و نمو پوشش گیاهی و درختی و در نهایت رویشگاه مؤثر است، اشاره دارد.

نتایج مطالعه پیش‌رو همانند سایر مطالعات دلالت بر این دارد که خصوصیات توپوگرافی مشتق شده از مدل رقومی ارتفاع، صرفنظر از تقدم و تأخر تأثیرگذاری، تا حدی توانسته برآورد و پراکنش مشخصه‌های کمی جنگل را تفسیر نماید. به‌طوری‌که در شرایط جنگل‌های کوهستانی، مهم‌ترین عامل تأثیرگذار، ارتفاع از سطح دریا بوده که به‌همراه سایر خصوصیات توپوگرافی نظیر شیب، جهت و هم‌چنین شاخص تابش خورشیدی بر روی مشخصه‌های کمی جنگل مؤثر می‌باشند. اما اعتقاد براین است که متغیرهای جنگل از قبیل تراکم، رویه‌زمینی و موجودی حجمی و هم‌چنین رشد درختان، فراوانی، تنوع و پراکنش آن‌ها مستقیماً به پارامترهای زیادی با توزیع مکانی پیوسته از جمله میزان تشعشع خورشیدی، خصوصیات اقلیمی، آب، توپوگرافی و عناصر غذایی خاک وابسته است، و امکان بررسی مکانی ویژگی‌های درختان جنگلی نیز به‌وسیله متغیرهای ناحیه‌ای از قبیل عوامل محیطی و خصوصیات مختلف توپوگرافی فراهم می‌گردد (۲۵،۲۴). لذا مدل انتخاب شده در این پژوهش هر چند که توانسته تا حدودی اطلاعات ضروری جهت مدیریت بر جنگل‌ها را فراهم کند، اما به‌تنهایی و به‌طور خاص و جامع نمی‌تواند کلیه دلایل مؤثر بر مشخصه‌ها را تبیین نماید، لذا شایسته است در این‌گونه پژوهش‌ها، از ترکیب عوامل دیگری مانند شرایط اقلیمی، عرض جغرافیایی، زمین‌شناسی و خاک‌شناسی، تکنیک‌های سنجش از دور و ... که سهم عمده‌ای در توضیح و تفسیر آن دارند، دقت پیش‌بینی را بهبود بخشید و هم‌چنین برای افزایش دقت نقشه‌های تولیدی از روش‌های زمین‌آمار و درون‌یابی کریجینگ بهره برد.

منابع

1. Adams, H.R., H.R. Barnard and A.K. Loomis. 2014. Topography alters tree growth–climate relationships in a semi-arid forested catchment. Ecosphere, 5(11): 1-16.
2. Aertsen, W., V. Kint, K. Von Wilpert, D. Zirlewagen, B. Muys and J. Van Orshoven. 2012. Comparison of location-based, attribute-based and hybrid regionalization techniques for mapping forest site productivity. Forestry, 85(4): 539-550.
3. Alavi, S.J., Gh. Zahedi Amiri, M.R. Marvi Mohajer and Z. Noori. 2007. Spatial distribution of *Ulmus glabra* Huds. Tree species related to physiographic factors in Kheyroodkenar educational forest. Journal of Environmental Studies, 33(43): 93-100 (In Persian).
4. Balazy, R., M. Ciesielski, M. Zasada, T. Zawiła-Niedzwiecki and P. Waraksa. 2019. Forest dieback processes in the Central European Mountains in the context of terrain topography and selected stand attributes. Forest Ecology Management, 436: 106-119.
5. Balazy, R., A. Kaminska, M. Ciesielska, J. Socha and M. Pierzchalski. 2019. Modeling the Effect of Environmental and Topographic Variables Affecting the Height Increment of Norway spruce stands in Mountainous Conditions with the Use of LiDAR Data. Remote Sensing, 11(20): 2407-2422.
6. Bayat, M., S.K. Hamidi and M.H. Sadeghzadeh. 2018. Investigation some of the Biotic and Abiotic Variables Effective on the Diameter Increment of the Beech Trees at Fixed Sample Plots Level by Growth Models. Ecology of Iranian Forest, 7(13): 91-99 (In Persian).
7. Canton, Y., G.D. Barrio, A.S. Benet and R. Lazaro. 2004. Topographic controls on the spatial distribution of ground cover in the Tabernas badlands of SE Spain. Catena, 55: 341-365.
8. Claessens, L., P.H. Verburg, J.M. Schoorl and A. Veldkamp. 2006. Contribution of topographically based landslide hazard modeling to the analysis of the spatial distribution and ecology of kauri (*Agathis australis*). Landscape Ecology, 21: 63-76.
9. Comita, L.S., R. Condit and S.P. Hubbell. 2007. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. Journal of Ecology, 95: 482-492.
10. Ebrahimi, M. 2004. Reviewing and Evaluation of Implementation of Sangdeh Forest Management Plan. M.A. Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Sari, Mazandaran, 76 pp (In Persian).
11. Ercanoglu, M. and C. Gokceoglu. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (North of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environment Geology, 41: 720-730.
12. Florinsky, I.V. 2005. Artificial Lineaments in Digital Terrain Modeling: Can Operators of Topographic Variables Cause Them? Mathematical Geology, 37(4): 357-372.
13. Forests Range and Watershed Management Organization of Iran. 2010. Forest Management Plan of district-3 of Sangdeh (Talar Sarband). Farim Wood Company, 321 pp (In Persian).
14. Ghahrody Talli, M. 2004. Geographic Information Systems in 3D space. Jahad Daneshgahi Tarbyat Moalem publisher, one edition, 266 pp (In Persian).
15. Ghanbari, F. Sh. Shataee, A.A. Dehghani and Sh. Ayoubi. 2009. Tree Density Estimation of Forests by Terrain Analysis and Artificial Neural Network. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 16(4): 25-42 (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

16. Ghanbari, F., Sh. Shataee, H. Habashi and Sh. Ayoubi. 2013. Possibility Investigation on Spatial Estimation of Density and Mean Diameter of Forest Trees Using Terrain Analysis (Case Study: Dr. Bahramnia Forestry Plan, District I, Gorgan, Iran). Journal of Wood and Forest Science and Technology, 19(4): 41-58 (In Persian).
17. He, S., P. Pan, L. Dai, H. Wang and J. Liu. 2012. Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta. Three Gorges, China, Geomorphology, 171(172): 30-41.
18. Hengl, T., S. Gruber and D.P. Shrestha. 2003. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, Netherlands, 62 pp.
19. Hoersch, B., G. Braun and U. Schemit. 2002. Relation between landform and vegetation in alpine region of Wallis, S witzerland: A multi scale remote sensing and GIS approach. Computers, Enviroment and Urban Systems, 26: 113-139.
20. Hoersch, B. 2003. Modeling the spatial distribution of mountain and sub alpine forests in the central Alps using digital elevation models. Ecological Modeling, 168: 267-282.
21. Hoseini, A. 2016. Effects of altitude on tree species diversity in Hyanan oak forests of Ilam province. Journal of Natural Ecosystem of Iran, 7(1): 1-8 (In Persian).
22. Janet, L. and J.O. Gregory. 2002. Predictive mapping of forest composition and structure with direct gradient analysis and nearest neighbor imputation in costal Oregon, U.S.A. Journal of Forest Research, 32: 725-741.
23. Johnson, D.D. and R.F. Miller. 2006. Structure and development of expanding Western Juniper woodlands as influenced by tow topographic variables. Forest Ecology and Management, 229: 7-15.
24. Kint, V., M. Van Meirvene, L. Nachtergale, G. Gendens and N. Lust. 2003. Spatial methods for quantifying forest stand structures development. A comparison between nearest neighbor indices and variogram analysis. Forest Science, 49: 36-49.
25. Kreft, H., J.H. Sommer and W. Barthlott. 2006. The significance of geographic range size for spatial diversity patterns in Neotropical palms. Ecography, 29(1): 21-30.
26. Maghsoudlou Nezhad, M., Sh. Shataee, H. Habashi and M. Babanezhad. 2012. Spatial and statistical analysis of quantitative characteristics of *Juniperus* stands in Chahar-bagh of Gorgan regarding to topographic and soil features. Iranian Journal of Forest, 5(2): 195-206.
27. Mannan, A., F. Zhongke, T. Ullah Khan, S. Saeed, M. Amir, M. Asif Khan and M. Tariq Badshah. 2018. Variation in tree biomass and carbon stocks with respect to altitudinal gradient in the Himalayan forests of Northern Pakistan. Journal of Pure and Applied Agriculture, 4(1): 18-26.
28. Maren, I.E., S. Karki, C. Prajapati, R.K. Yadav and B.B. Shrestha. 2015. Facing north or south: Does slope aspect impact forest stand characteristics and soil properties in a semiarid trans-Himalayan valley? Journal of Arid Environments, 121: 112-123.
29. Marvi Mohajer, M.R. 2013. Silvicture, Tehran University Press, 387 pp (In Persian).
30. Mitsuda, Y., S. Ito and S. Sakamoto. 2007. Predicting the site index of Sugi plantations from GIS-derived environmental factors in Miyazaki Prefecture. Journal of Forest Research, 12: 177-186.
31. Miyamoto, A., R. Terazono, M. Sano and A. Shimizu. 2018. Prediction of the Site Index for a Subtropical Broad-Leaved Forest on Okinawa Island using Topographic Factor. Open Journal of Forestry, 8: 267-282.
32. Moghimian, N. and Y. Kooch. 2013. The effect some of physiographic factors and soil physico-chemical features of hornbeam forest ecosystem on earthworms biomass. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 20(2): 1-21 (In Persian).
33. Mohamadi, J. 2006. Pedometery (Spatial Information Systems). Pelk Publisher, One edition, 637 pp.
34. Namiranian, M. 2007. Measurement of tree and forest biometry, Tehran University Press, Tehran, 620 pp (In Persian).
35. Nanang, D.M. 1998. Suitability of the Normal, Lognormal and Weibull distributions for fitting diameter distributions of Neem plantations in northern Ghana. Forest Ecology and Management, 103(1):1-7.
36. Noorian N., Sh. Shataee and J. Mohammadi. 2019. Evaluation of RapidEye satellite data for estimation some quantitative structure variables in the Caspian forests of Gorgan region. RS & GIS for Natural Resources, 9(4): 1-16.
37. Salinas-Melgoza, M., M. Skutsch and J.C. Lovett. 2018. Predicting aboveground forest biomass with topographic variables in human-impacted tropical dry forest landscapes. Ecosphere, 9(1): e02063. 10.1002/ecs2.2063.
38. Santos, B.A., D.C.A. Barbosa and M. Tabarelli. 2007. Directional change in plant assemblage along an altitudinal gradient in northeast Brazil. Brazilian Journal of Biology, 67: 777-779.
39. Shataee, Sh. and S. Ayobi. 2007. Spatial prediction of some biological forest variables by terrain analysis-the Kheiroud kenar forest, North of Iran, ISPRS-iv Conference, Agra, India, 12 pp.
40. Shataee, S. 2011. Non-parametric forest attributes estimation using Lidar and TM data. In: 32nd Asian Conference on Remote vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2): 127-150.

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

41. Tomppo, E.O., C. Gagliano, F. De Natale, M. Katila and R.E. McRoberts. 2009. Predicting categorical forest variables using an improved k-Nearest Neighbour estimator and Landsat imagery. Remote Sensing of Environment, 113(3): 500-517.
42. Trong, H.N., T.P. Gia and M. Kappas. 2019. Evaluating the Influence of Topography on Species Diversity, Distribution and Composition of Forests in Central Vietnam. Indian Journal of Science and Technology, 12(19): 1-13.
43. Oh, H.J. and B. Pradhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers and Geosciences, 37(9): 1264-1276.
44. Wilson, J.P. 2018. Environmental applications of digital terrain modeling. Wiley-Blackwell, one edition, 359 pp.
45. Wilson, J.P. and J.C. Gallant. 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications. Wiley, One edition, 479 pp.
46. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, PhD Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne, 423 pp.
47. Zobeiri, M. 2007. Forest Biometry. Tehran University Press, 411 pp (In Persian).

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]

The Modeling Spatial Estimation of Some Quantitative Characteristics Forest using Topographic Features (Case Study: District-3 of Sangdeh Forests)

Seyed Mehdi Rezaei Sangdehi[1], Asghar Fallah[2], Jafar Oladi[3] and Hooman Latifi[4]

1- PhD Student Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, (Corresponding author: smrs_49@yahoo.com)
2- Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Assistant Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing Faculty of Geodesy and Geomatics Engineering, K. N. Toosi University of Technology
Received: 12 January, 2020 Accepted: 9 March, 2020

Extended Abstract

Introduction and Objective: In a proper planning of the forest sector, the preparation of quantitative and qualitative maps is a management requirement and is unavoidable for sustainable development. For this effective planning, the latest information on the types of characteristics that are important in decisions regarding the optimal use and protection of forests are needed. This study conducted in order to the modelling spatial estimation of some quantitative characteristics forest using topographic features and its spatial mapping in District-3 of Sangdeh Forests.

Material and Methods: Characteristics of number, basal area and volume per hectare were calculated by surveying 150 sample plots (1000 m^2). Primary topographic features of altitude, slope, aspect, profile curvature, flat curvature and tangential curvature and secondary topographic features including wetness index and solar radiation were extracted from digital elevation model with 10m resolution. Then, the relationships between forest quantitative characteristics and topographic features were analyzed and modeled using non-parametric method random forest, support vector machine and also parametric multiple linear regressions. Models were evaluated using 30% of the samples.

Results: Bias and root mean square error percentages were calculated to select the appropriate model and the results showed that the support vector machine method had the best results for estimating all three measured characteristics. In estimating number per hectare, the polynomial-3 function with mean square error values and skewness is RMSE = 9.59 and Bias = 1.62, ground cover with radial base function (RBF) and values of 53.5, respectively. 30% RMSE and 1.32 - =% Bias and volume per hectare with polynomial function of third degree and values of RMSE = 37.62 and Bias = -0.51 were selected as the most appropriate model. The results also showed that the topographic variables of aspect, altitude, solar radiation and tangential curvature had the most influence on the modeling process.

Conclusion: The selected model in this study was able to provide some of the necessary information for forest management, but the model alone cannot explain all the reasons affecting the characteristics, so it is recommended to combine other factors such as climatic conditions, latitude, geology, and remote sensing techniques, which play a major role in explanation and interpretation, to improve the accuracy of the forecast.

Keywords: Bias, Nonparametric method, Quantitative characteristics, Topographic features

[Downloaded from ifej.sanru.ac.ir on 2025-08-19]
[DOR: 20.1001.1.24237140.1401.10.19.2.7]
[DOI: 10.52547/ifej.10.19.88]