

برآورد تاج پوشش جنگل با استفاده از سنجش از دور و زمین آمار

(مطالعه موردی: جنگل های باغان مریوان)

ساسان وفایی*

Vafaei_sasan@ut.ac.ir

رحیم ملک نیا^۲

حامد نقوی^۲

امید فتحی زاده^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۲۸

تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۴

چکیده

زمینه و هدف: کسب اطلاعات به هنگام از وضعیت کمی و کیفی جنگل‌ها در تشریح پایداری اکوسیستم، طراحی طرح‌های مدیریتی و حفاظتی مفید است. با توجه به نقش جنگل‌های زاگرس در حفاظت از آب و خاک و اهمیت تاج پوشش در جنگل‌های زاگرس و هزینه زیاد و زمان‌بر بودن اندازه‌گیری آن از طریق روش‌های میدانی، کارایی فنون سنجش از دور و زمین‌آمار در برآورد تاج پوشش جنگل‌های منطقه باغان شهرستان مریوان بررسی شد.

روش بررسی: ابتدا ۸۹ قطعه نمونه ۰/۱ هکتاری در منطقه پیاده و تاج پوشش درختان و موقعیت قطعات نمونه برداشت شد. در روش سنجش از دور از تصاویر سنجنده TM ماهواره لندست و مدل رگرسیون خطی چندگانه استفاده شد. بدین ترتیب پس از پردازش تصاویر، ارزش‌های متناظر قطعات نمونه از باندهای اصلی و باندهای حاصل از شاخص‌های گیاهی و تجزیه مؤلفه‌های اصلی، استخراج شد. در روش زمین‌آمار از مدل نمایی برازش داده شده بر نیم تغییرنا به روش کریجینگ معمولی استفاده شد.

یافته‌ها: نتیجه واریوگرافی نشان از ساختار مکانی قوی دارد و نتایج ارزیابی برآورد، نشان از ناریب بودن برآورد متغیر تاج پوشش است، بنابراین نقشه تاج پوشش جنگل با استفاده از روش کریجینگ با دقت مناسبی تهیه شد. نتایج کلی نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل کریجینگ در برآورد درصد تاج‌پوشش ($R^2 = 0/69$ ، $RMSE = 9/21$) در مقایسه با روش سنجش از دور ($R^2 = 0/52$ ، $RMSE = 16/47$) بود.

نتیجه‌گیری: نتایج این تحقیق نشان داد که زمین‌آمار می‌تواند ابزاری کارآمد برای تهیه نقشه میزان تاج پوشش جنگل در نواحی رویشی مشابه (رویشگاه زاگرس) باشند.

واژه‌های کلیدی: تاج پوشش، جنگل‌های زاگرس، رگرسیون چندگانه، کریجینگ، لندست

۱- دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران. * (مسوول مکاتبات)

۲- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران.

۳- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران.

Estimation of Forest Canopy Using Remote Sensing and Geostatistics (Case Study: Marivan Baghan Forests)

Sasan Vafaei^{1*}

Vafaei_sasan@ut.ac.ir

Rahim Maleknia²

Hamed Naghavi²

Omid Fathizadeh³

Admission Date: July 19, 2017

Date Received: August 25, 2016

Abstract

Background and Objective: Updated information in quantitative and qualitative properties of forests are useful in describing ecosystem sustainability, and designing management and conservative plans. According to importance of canopy cover parameter in the Zagros region and cost and time consuming processes of field measurement methods, in this study performance of remote sensing and geostatistics techniques to estimate forest canopy cover of Baghan region, Marivan city, were investigated.

Material and Methodology: First, the number of 89 plots (each 0.1 Hectare) were selected based on random sampling method. In each plot, information of tree crown and center geographic coordinates of that plot were recorded. Remote sensing method was carried out using Landsat satellite images (TM) and multiple linear regression model. After image processing, spectral values of the corresponding field plots were extracted from the original images and synthetic bands composed of vegetation indices and principle component analysis. In geostatistic method, the estimation was performed using ordinary kriging from a fitted exponential model to the semivariogram.

Findings: The calculated variograms of canopy cover showed relatively strong spatial autocorrelation fitted by exponential models and cross-validation results showed an unbiased estimation of canopy estimation. Compared with the remote sensing method (with $R^2= 0/52$ and $RMSE= 16/47$), the results indicated that Kriging model ($RMSE= 9.21$, $R^2= 0.69$) showed a more accurate estimation of forest canopy cover.

Discussion and Conclusion: The results showed that geostatistics techniques can be used as an efficient tool for mapping the forest canopy in the same regions (Zagros Forest).

Keywords: Canopy Cover, Kriging, Landsat, Multiple Regression, Zagros Forest.

1- Ph.D., Forestry, Faculty of Natural Resources, Lorestan University, Khoram Abad, Iran **(Corresponding Author)*

2- Assistant Prof., Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khoram Abad, Iran

3- Assistant Prof., Department of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, Iran.

مقدمه

تعریف بین‌المللی از جنگل بر پایه تاج پوشش جنگل استوار است. سازمان خواروبار جهانی، جنگل را به‌عنوان زمینی که حداقل سطح آن ۰/۵ هکتار همراه با تاج پوشش بیشتر از ۱۰٪/ تعریف می‌نماید (۱). از این رو برآورد تاج پوشش جنگل، به‌عنوان بخش مهمی از آماربرداری جنگل مطرح است. به‌طور کلی چند روش برای اندازه‌گیری تاج پوشش وجود دارد: ۱- آماربرداری زمینی ۲- مدل‌های آماری (چنانچه پارامترهای توده مانند سطح مقطع، تعداد پایه‌ها و قطر برابر سینه برای منطقه مورد نظر موجود باشد) ۳- اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های دور سنجی مانند عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و یا داده‌های راداری ۴- تجزیه و تحلیل‌های مکانی (زمین‌آمار). استفاده از سنجش از دور می‌تواند با توجه به مزایایی همچون سطح پوشش وسیع، کم‌هزینه بودن، قابلیت تکرار، در دسترس بودن داده‌ها، کاهش قیمت داده‌های با توان تفکیک بالا و توسعه روزافزون مدل‌های فیزیکی بر پایه بازتاب جنگل، به‌عنوان پرکاربردترین روش مطرح گردد. اخیراً، محققان دیگر نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و به کمک روش‌های رگرسیونی چندگانه، منطق فازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، درخت تصمیم‌گیری و مدل‌های خطی تعمیم‌یافته به برآورد مشخصه‌های کمی توده‌های جنگلی از جمله میزان تاج پوشش جنگل پرداخته‌اند (۳-۵). در این راستا در تحقیقی در جنگل‌های ایالات متحده شامل سه منطقه ویرجینا، اوتا و اورگون، با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷، میزان تاج پوشش در هر سه منطقه و با دو روش رگرسیونی خطی و درخت رگرسیون برآورد شد. میزان ضریب همبستگی (I) بالای بین تاج پوشش پیش‌بینی شده و واقعی ($I > 0.8$) با استفاده از هر دو روش و در هر سه منطقه، قابلیت استفاده از این تصاویر را نشان داد (۳). در مطالعه‌ای دیگر با هدف برآورد تاج پوشش جنگل‌های بلوط همیشه سبز جنوب پرتغال از داده‌های سنجش از دوری ماهواره لندست (سنجنده TM) و مدل رگرسیونی چند متغیره استفاده شد نتایج تحقیق مذکور نشان داد که مدل رگرسیونی خطی با ضریب همبستگی بالایی

($I^2 = 0.74$) قابلیت برآورد تاج پوشش جنگل را دارا می‌باشد (۶). در داخل کشور خصوصاً جنگل‌های منطقه زاگرس نیز پژوهش‌های موردی صورت گرفته است بطوریکه در تحقیقی، مدل‌سازی مشخصه تعداد در هکتار درختان در بخشی از جنگل‌های زاگرس شمالی و با استفاده از داده‌های SPOT-HRG و مدل رگرسیونی خطی، انجام شده است که محققان به نتایج قابل قبولی دست نیافتند (۷). همچنین در مطالعه‌ای دیگر در جنگل‌های زاگرس شمالی برآورد مشخصه‌های تراکم و سطح مقطع درختان با استفاده از تصاویر سنجنده‌های LISS-III و PAN ماهواره IRS-P6، با نتایج مطلوبی همراه نبود (۸).

زمین‌آمار یک رویکرد آماری جهت مدل‌سازی متغیرهای ناحیه-ای در قالب نظریه احتمال و با استفاده از مفهوم تابع تصادفی تعریف می‌گردد (۹). روش‌های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش‌ها مربوط به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده شده در اطراف نقطه مجهول داده می‌شود. کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی ناریب می‌باشد (۱۰). در زمینه استفاده از روش‌های زمین‌آماري به‌منظور برآورد مشخصه‌های کمی جنگل، مطالعات در خارج از کشور (۱۱، ۱۲) و مطالعات مختلفی نیز داخل کشور صورت گرفته است که بیشتر آن‌ها به جنگل‌های شمال کشور مربوط است. از جمله، در تحقیقی در جنگل‌های شمال کشور، مشخصه تعداد درختان در هکتار با استفاده از روش‌های سنجش از دور و کریجینگ معمولی برآورد و سپس این دو روش باهم مقایسه شد. نتایج نشان داد که سنجش از دور نسبت به زمین‌آمار دارای میانگین مجذور خطای مربعات کمتری می‌باشد (۱۳). در ناحیه‌ای دیگر در شمال کشور، به‌منظور بررسی ساختار مکانی متغیرهای کمی جنگل و امکان استفاده از روش زمین‌آمار، از روش کریجینگ برای برآورد و نقشه‌سازی استفاده شد. بر اساس واریوگرافی انجام شده، از متغیرهای مورد بررسی فقط

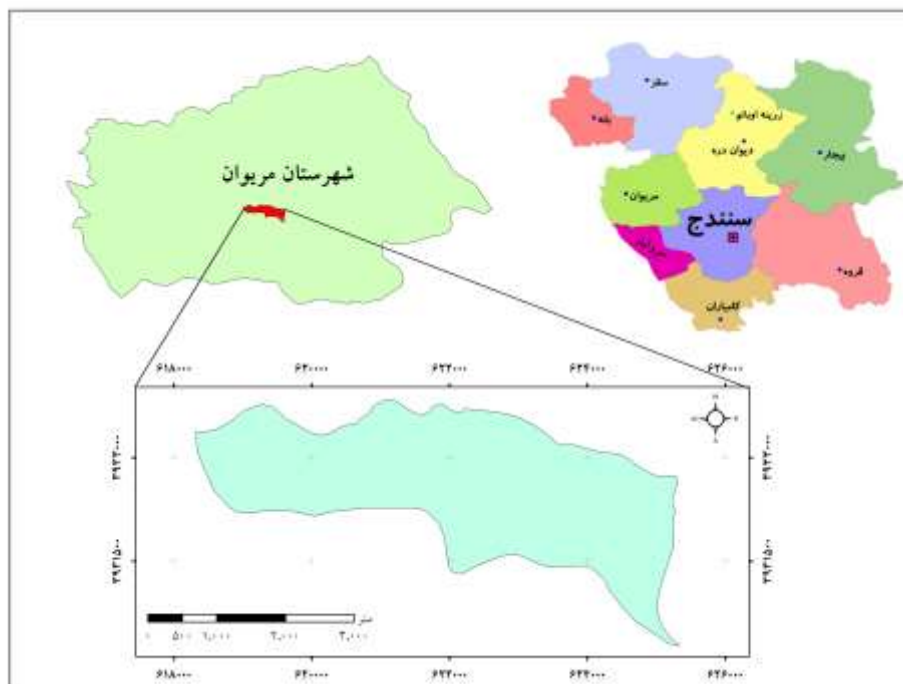
برآورد تاج پوشش جنگل‌های زاگرس واقع در منطقه باغان شهرستان مریوان پرداخته شود.

روش بررسی

محدوده مطالعه با وسعت ۱۱۰۰ هکتار در جنوب حوزه چناره و باغان شهرستان مریوان از توابع استان کردستان واقع شده است که بین مختصات طول جغرافیایی ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی قرار دارد. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۱۳۰۰ و ۲۱۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱). مطالعات انجام گرفته در حوضه مورد نظر نشان می‌دهد که رژیم بارندگی منطقه مطالعاتی مدیترانه‌ای است. تیپ غالب جنگل اکثراً بلوط است که گونه‌های همراه افرا، بنه، گلابی، زالزالک، کیکم، دافنه، زبان گنجشک، شیرخشت و بادام همراه آن مشاهده می‌شود.

تراکم درختان از ساختار مکانی مناسبی برخوردار نبود (۱۴). در جنگل‌های بلوط زاگرس مطالعات کمتری صورت گرفته است به عنوان مثال؛ در مطالعه‌ای در جنگل‌های منطقه دادآباد خرم‌آباد، امکان استفاده از روش کریجینگ زمین‌آمار در پهنه-بندی متغیرهای تراکم و تاج پوشش جنگل بررسی شد و نتایج نشان از ناریبی برآوردها و در نتیجه امکان استفاده از روش کریجینگ در این مناطق می‌باشد (۱۵). همچنین نتایج مدل‌سازی مشخصه‌های تراکم و تاج پوشش جنگل‌های منطقه کاکا رضای خرم‌آباد با استفاده از روش کریجینگ، نشان از قابلیت مناسب این روش در مدل‌سازی مشخصه‌های ذکر شده می‌باشد (۱۶).

با توجه به نقش جنگل‌های زاگرس در حفاظت از آب‌وخاک، فاکتور تاج‌پوشش مناسب‌ترین مشخصه در بررسی و پایش تغییرات این جنگل‌ها می‌باشد (۱۷). با توجه به مطالب فوق و اهمیت فاکتور تاج پوشش در جنگل‌های زاگرس، در این تحقیق سعی شد به کاربرد فنون سنجش از دور و زمین‌آمار در



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کردستان و شهرستان مریوان
Figure 1. Location map of the study area in Marivan, Kurdistan Province

ج- مدل‌سازی میزان زیست‌توده جنگل می‌باشد که در ادامه به تشریح این بخش‌ها پرداخته شده است.

مراحل انجام این تحقیق به‌طور کلی شامل سه بخش؛ الف- تهیه اطلاعات زمینی، ب- پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای،

تهیه اطلاعات زمینی

داده‌های زمینی مورد استفاده به منظور تخمین تاج پوشش با استفاده از دو روش سنجش از دور و زمین‌آمار در طول تابستان ۱۳۹۱ برداشت شدند. بدین منظور تعداد ۸۹ قطعه نمونه دایره-ای شکل ۰/۱ هکتاری در منطقه پیاده و مختصات مراکز قطعات به کمک سیستم موقعیت‌یاب جهانی (GPS) در عرصه ثبت شد. در هر قطعه نمونه قطر بزرگ و کوچک تاج اندازه‌گیری شد و با استفاده از رابطه (۱) میزان تاج پوشش در هر قطعه نمونه محاسبه و سپس درصد تاج پوشش محاسبه شد.

$$CC = \frac{\pi}{4} \sum_{i=1}^n d_i^2 \quad (1)$$

که CC ، میزان تاج پوشش در هر قطعه نمونه، n تعداد درختان در هر قطعه نمونه و d_i میانگین قطر تاج هر درخت می‌باشد. تصاویر ماهواره‌ای و پیش‌پردازش و پردازش لازم در این مطالعه از داده‌های سنجنده TM ماهواره لندست ۵ مربوط به تاریخ تصویربرداری ۲۸ سپتامبر سال ۲۰۱۱ میلادی برابر با ۶ مهر ۱۳۹۰ هجری شمسی استفاده شد. کیفیت داده‌ها از لحاظ رادیومتری و هندسی بررسی شد و اگرچه داده‌ها در سطح تصحیحات LIT دریافت شد اما به منظور اطمینان از عدم خطا، با نمایش تک باندها و همچنین ترکیب‌های مختلفی رنگی بر روی صفحه‌نمایش رایانه و با بزرگنمایی قسمت‌های مختلف این تصاویر، از لحاظ خطاهای رادیومتری مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی وضعیت هندسی تصاویر نیز لایه‌های برداری جاده‌ها و آبراهه‌ها از نقشه‌های رقومی ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و بر روی تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد. به منظور استخراج هرچه بهتر اطلاعات، علاوه بر استفاده از بازتاب ثبت‌شده در ناحیه طول موج‌های مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز میانی (باندهای اصلی)، پردازش و آماده‌سازی‌های مختلفی نظیر ایجاد شاخص‌های گیاهی مختلف، تجزیه مؤلفه‌های اصلی بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. شاخص گیاهی محاسبه شده شامل؛ VI, NDVI, PVI, WDVI, AVI, DVI, NRVI, RVI, TVI بود.

رگرسیون چندگانه

در این مرحله ابتدا ارزش‌های رقومی متناظر با قطعات نمونه از تصاویر اصلی و باندهای مصنوعی استخراج شد. سپس همبستگی بین تاج پوشش اندازه‌گیری شده در قطعات و ارزش‌های رقومی استخراج شده توسط آزمون پیرسون بررسی شد و در نهایت آنالیز رگرسیون چندگانه خطی به روش رگرسیون گام‌به‌گام انجام گرفت. لازم به ذکر است که از تعداد کل قطعات نمونه حدود ۲۰ درصد به‌طور تصادفی انتخاب و به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی برای اعتبارسنجی مدل کنار گذاشته شد و تجزیه و تحلیل‌های لازم با ۸۰ درصد باقی‌مانده قطعات نمونه انجام شد.

تجزیه و تحلیل زمین‌آمار

در بررسی‌های آمار کلاسیک، مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در نمونه خاص هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد همان کمیت در نمونه دیگری به فاصله معین و معلوم در بر نخواهد داشت؛ به عبارت دیگر نتایج به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها مستقل از موقعیت فضایی آن‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد. درحالی‌که در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه، موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد. این ارتباط فضایی (جهت و فاصله) بین مقدار کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده ممکن است در قالب ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار فضایی گفته می‌شود (۹). به‌طور کلی زمین‌آمار شامل دو بخش اصلی آنالیز نیم تغییرنا و اعمال روش کریجینگ است:

نیم تغییرنا

نیم تغییرنا کمیتی برداری است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مجموع مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله نشان می‌دهد (رابطه ۲).

$$\hat{z}(x) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) \quad (3)$$

به طوری که λ_i وزن مرتبط با ارزش متغیر ناحیه‌ای x در نقطه i است؛ در شرایطی که: $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$.

در این بررسی برای ارزیابی صحت کریجینگ از روش ارزیابی متقابل استفاده شده است. در این روش همه داده‌های اولیه، یک به یک و به ترتیب از محاسبات خارج شده و مجدداً با استفاده از مدل واریوگرام و روش کریجینگ برآورد می‌شوند سپس از مجموع تفاضل مقادیر اولیه با مقادیر برآورد شده برای ارزیابی صحت کریجینگ استفاده می‌شود.

معیارهای ارزیابی

بدین منظور ابتدا تعداد کل نمونه‌ها (۸۹ قطعه نمونه) به صورت تصادفی به دو مجموعه تقسیم شد. مجموعه اول شامل ۸۰٪ نمونه‌ها برای فرایند مدل‌سازی و مجموعه دیگر ۲۰٪ باقیمانده به منظور ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

در نهایت ارزیابی نتایج مدل کریجینگ و مقایسه آن با برآوردهای رگرسیونی، با استفاده از معیارهای میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) مورد قضاوت قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{oi} - y_{pi})^2} \quad (4)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_p)^2}{\sum_{i=1}^n (y_{oi} - \bar{y}_o)^2} \quad (5)$$

در این رابطه‌ها؛ n تعداد مشاهده‌ها، y_{oi} مقدار مشاهده شده i ام، y_{pi} مقدار برآورد شده i ام، \bar{y} میانگین مشاهده شده و \bar{Y} میانگین برآورد شده می‌باشد.

مقدار تخمین زده شده شاخص RMSE نمایانگر درجه دقت تخمین است که برای یک تخمین ناریب باید تا حد امکان حداقل باشد.

نتایج

آمار توصیفی تاج پوشش اندازه‌گیری شده در قطعات نمونه در جدول ۱ ارائه شده است. با استفاده از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف نرمال بودن داده‌ها آزمایش شد و مشخص گردید که پراکنش داده‌ها نرمال می‌باشد. مقادیر چولگی ارائه شده در

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i - h)]^2 \quad (2)$$

$Y(h)$: مقدار نیم تغییرنما در فاصله h ، $Z(x_i)$: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت (x_i) ، $Z(x_i - h)$: مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی $(x_i - h)$ ، $N(h)$: تعداد زوج نقاط در فاصله h

در واریوگرافی از چند مؤلفه برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام استفاده می‌شود: دامنه تأثیر، حد آستانه یا سقف، اثر قطعه‌ای و همسانگردی یا ناهمسانگردی. دامنه تأثیر فاصله‌ای است که از آن به بعد مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقاط دورتر از آن فاصله برهم تأثیر چندانی ندارند و با افزایش فاصله تغییرات مقدار واریوگرام روند معنی‌داری ندارد. به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد. سقف یا آستانه گفته می‌شود. مقدار نیم تغییرنما در مبدأ مختصات یعنی به ازای $h=0$ باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگ‌تر از صفر است که مقدار آن بر روی محور Y نیم تغییرنما اثر قطعه‌ای یا واریانس تصادفی نامیده می‌شود. اگر تابع واریوگرام در تمامی جهات بصورت یکسان عمل کند در واقع واریوگرام فقط تابع فاصله نقاط از یکدیگر باشد، به این حالت همسانگردی گفته می‌شود و اگر تابع واریوگرام علاوه بر اینکه تابع فاصله نقاط از یکدیگر باشد، تابع جهت قرارگیری نقاط نسبت به هم نیز باشد، به این حالت ناهمسانگردی گفته می‌شود. در بررسی حاضر، انجام آنالیزها به منظور ترسیم نیم تغییرنما در محیط نرم‌افزار GS+ صورت پذیرفت.

کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین است که بر منطق میانگین متحرک وزن‌دار استوار است و در مورد آن می‌توان گفت که بهترین تخمینگر خطی ناریب می‌باشد (۱۰). روش‌های کریجینگ با کمترین واریانس تخمین درون‌یابی می‌کنند و میزان خطای آن تابع مشخصات نیم تغییرنما (ساختار فضایی) است. در تحقیق حاضر، نقشه‌ی درون‌یابی کریجینگ، با استفاده از نرم‌افزار Surfer و روش کریجینگ معمولی، بر اساس نیم تغییرنما از قبل محاسبه شده ترسیم شد. تابع کریجینگ به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود.

جدول ۱ برای خصوصیات مختلف که بین +۱ و -۱ قرار گرفته است، بیانگر این مطلب است. بیشترین میزان درصد تاج پوشش در قطعات برداشت شده ۸۸ درصد می باشد. همچنین کمترین درصد میزان برابر با ۵ درصد بود.

جدول ۱- آمار توصیفی مشخصه تاج پوشش جنگل (n= ۸۹)

Table 1. Descriptive statistics of the forest canopy characteristic

متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی	سطح معنی داری آزمون کلموگرف - اسمیرنوف
تاج پوشش (درصد)	۵	۸۸	۴۸/۱۹	۲۲/۶۵	-۰/۱۸۹	-۰/۹۴۷	۰/۰۶۸

می شود از مهم ترین متغیرها که با درصد تاج پوشش جنگل، همبستگی معنی دار و بالایی نشان دادند، می توان به باند قرمز سنجنده (باند ۳)، شاخص های گیاهی VI، TVI، RVI، NDVI و NRVI اشاره کرد.

هیستوگرام تاج پوشش اندازه گیری شده در کل قطعات نمونه نیز نشان داد که بیشتر داده ها در طبقه تاج پوشش نیمه انبوه (۵۰-۲۵٪) قرار گرفته است. ضرایب همبستگی پیرسون بین باندهای اصلی و مصنوعی با تاج پوشش در جدول ۲ ارائه شده است. همان گونه که مشاهده

جدول ۲- میزان همبستگی بین باندها و تاج پوشش

Table 2. Correlation between predictor Bands and Canopy Cover

ویژگی	تاج پوشش
B1	-۰/۵۸
B2	-۰/۵۸
B3	-۰/۶۲
B7	-۰/۵۲
NDVI	۰/۶۳
PCA1	-۰/۴۴
PCA2	۰/۳۴
WDVI	۰/۴۶
AVI	۰/۵۰
NRVI	-۰/۶۳
RVI	-۰/۶۳
TVI	۰/۶۲
VI	۰/۶۴

نتایج حاصل از طراحی مدل های مختلف رگرسیونی و نتایج حاصل از اعتبارسنجی آن ها در جدول ۳ ذکر شده است. بررسی نتایج آزمون تجزیه واریانس مدل ها نشان می دهد که مدل های به دست آمده رابطه خطی بین متغیرها وجود دارد. بهترین مدل

نتایج حاصل از طراحی مدل های مختلف رگرسیونی و نتایج حاصل از اعتبارسنجی آن ها در جدول ۳ ذکر شده است. بررسی

ضریب تبیین ۵۲ درصد و RMSE برابر با ۱۷/۵۸ در میان مدل‌های به‌دست‌آمده، از ضریب همبستگی و تبیین قوی‌تری برخوردار بود.

با توجه به تعداد متغیر مستقل و آماره‌های R^2 و RMSE حاصل از تحلیل رگرسیون گام‌به‌گام، مدلی است که در آن ترکیب خطی باند قرمز و شاخص‌های NRVI و AVI به‌عنوان متغیر مستقل به کار گرفته شده‌اند. مدل انتخاب شده با داشتن

جدول ۳- نتایج تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی چند متغیره در برآورد درصد تاج پوشش جنگل

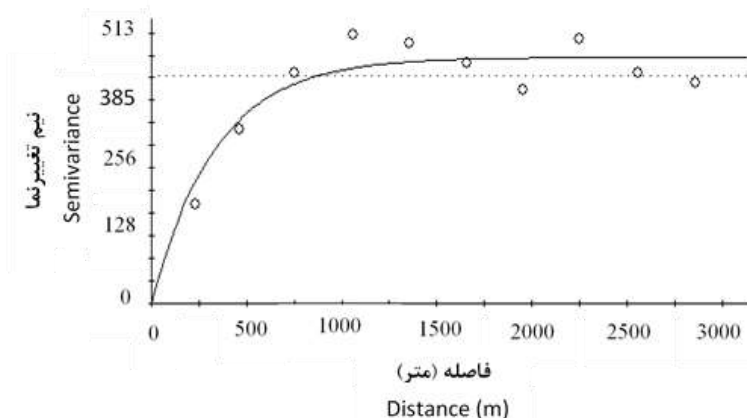
Table 3. Result of the multiple linear regression analyze in estimation of canopy cover

P	F	RMSE	R2	مدل رگرسیونی
۰/۰۰۰	۲۲/۹۱	۱۷/۵۸	۰/۵۱۵	$AVI_{3/601} NRVI - 637/15 B3 - 0/896 + -77/01 Canopy =$
۰/۰۰۰	۳۴/۲۱	۱۸/۲۳	۰/۵۰۵	$AVI - 1/552 NRVI - 419/55 15/91 Canopy = -$
۰/۰۰۰	۶/۵۵	۱۶/۴۷	۰/۵۲۸	$Canopy = 28/59 + 1/585 B1 - 1/242 B2 + 0/002 B5 + 0/03 B7 - 0/525 PCA1 - 1/373 PCA3 - 0/252 DVI - 0/001 PVI2 - 44/019 RVI + 56/89 VI$

واریوگرافی

تقریباً یکسان و مستقل از جهت می‌باشد. در نتیجه نیم تغییرنا به‌صورت همسانگرد در نظر گرفته شده و با استفاده از مدل نمایی (Exponential) برازش داده شد (شکل ۲).

در محاسبه نیم تغییرنا درصد تاج پوشش هیچ‌گونه علائمی از ناهمسانگردی (هندسی یا منطقه‌ای) مشاهده نشد و نیم تغییرنا سطحی (Variogram surface) متغیر مورد بررسی نشان داد که مقدار نیم تغییرنا در جهت‌های E-W و N-S



شکل ۲- نیم تغییرنا تجربی و مدل برازش داده شده به آن برای درصد تاج پوشش

Figure 2. Experimental variogram and the fitted model for canopy cover percentage

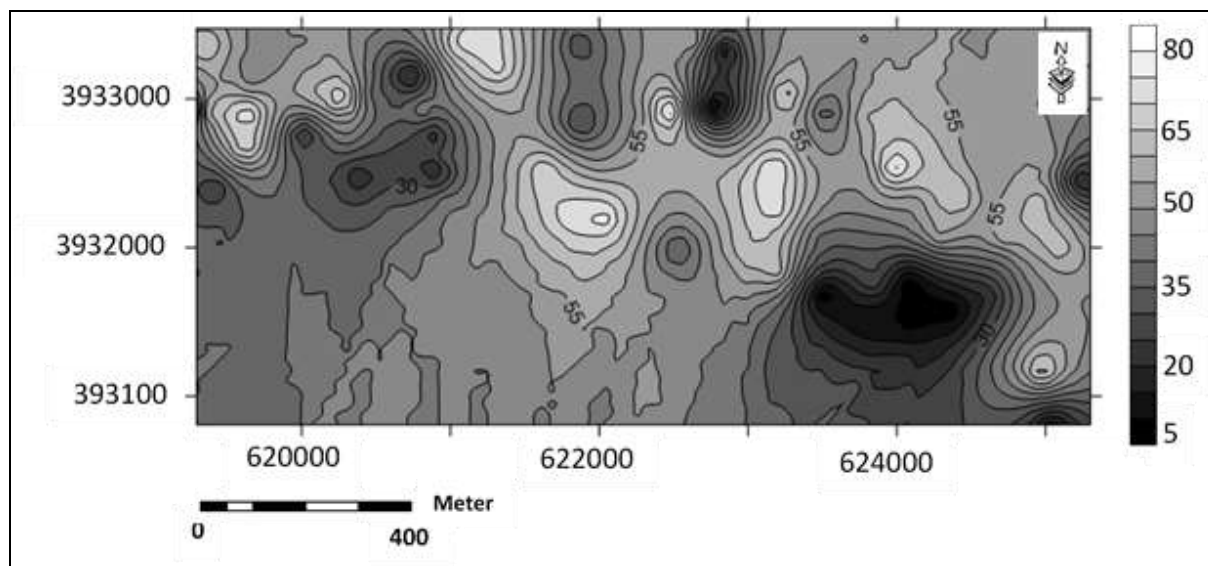
مناسبی برخوردار است (جدول ۴ و شکل ۲)؛ بنابراین نقشه کریجینگ مربوط به این متغیر نیز تولید و ارائه شد (شکل ۳).

جدول ۴ مشخصه‌های نیم تغییرنا برازش داده شده و نتایج ارزیابی صحت مدل را برای متغیر درصد تاج پوشش جنگل نشان می‌دهد. نتایج اعتبارسنجی مدل کریجینگ برای متغیر درصد تاج پوشش (RMSE= ۹/۲۱ و $R^2=0/69$) از دقت

جدول ۴- مشخصه‌های واریوگرام حاصل از برازش مدل نمایی

Table 4. Variogram characteristics of the fitted exponential model

متغیر	اثر قطعه‌ای	حد آستانه	دامنه تأثیر (متر)	ساختار مکانی	R ²	RMSE
درصد تاج پوشش	۱	۴۶۶/۲	۳۳۹	قوی (۹۸٪)	۰/۶۹	۹/۲۱



شکل ۳- نقشه درصد تاج پوشش جنگل درونیابی شده براساس روش کریجینگ

Figure 3. The Canopy cover percentage map interpolated by kriging

بحث

زمانی که داده‌های آماربرداری زمینی موجود باشند، منبع مهمی از اطلاعات مکانی را در اختیار خواهیم داشت اما در صورت عدم دسترسی به داده‌های زمینی برای یک منطقه، آماربرداری‌های ناقص یا قدیمی، روش‌های جایگزین موردنیاز است؛ بنابراین هدف از این مطالعه استفاده از داده‌های طیفی ماهواره‌ای و مدل‌های زمین‌آماری، برای جایگزین کردن این داده‌ها و یا حداقل‌سازی استفاده از داده‌های زمینی است.

ضرایب همبستگی منفی بیانگر رابطه معکوس بین ارزش‌های طیفی و میزان تاج پوشش است. بنابراین چنین استنباط می‌شود که با افزایش میزان تاج پوشش، بازتاب در طول‌های موج‌های مختلف (باند‌های ۱، ۲، ۳ و ۷) کاهش می‌یابد. همچنین همبستگی معکوس معنی‌داری بین شاخص‌های شیب‌محور VI، TVI، RVI، NRVI با تاج پوشش دیده می‌شود. پوشش تاجی درختان نسبت به پوشش کف جنگل دارای رنگ تیره‌تری می‌باشد و زمانی که میزان درصد تاج

پوشش درختان قطعات نمونه افزایش پیدا می‌کند، بازتاب این قطعات نمونه کاهش می‌یابد (باند ۳)، چون که پوشش خاکی تشعشعات خورشید را منعکس می‌کند درحالی‌که کلروفیل درختان آن را جذب می‌کند. همچنین در محدوده مادون قرمز میانی (باند ۷) نیز وضعیت مشابهی دیده می‌شود، با این اختلاف که به‌واسطه وجود آب در بافت‌های گیاهی پدیده جذب رخ می‌دهد. در ناحیه مادون قرمز نزدیک (باند ۴) تاج پوشش همانند پوشش کف جنگل به‌شدت منعکس کننده امواج دریافتی هستند، بنابراین نتایج نشان از عدم همبستگی معنی‌دار بین ارزش طیفی این باند و مشخصه تاج پوشش درختان می‌باشد.

تصاویر ماهواره‌ای که در اواخر تابستان دریافت می‌شوند، حداکثر اختلاف طیفی بین تاج پوشش سبز درختان و پوشش تقریباً خشک کف جنگل دارند. با این وجود، منطقه مورد مطالعه همچنان توسط عوامل زیراشکوب همانند خاک لخت، پوشش

مهمی از اطلاعات مکانی را در اختیار خواهیم داشت اما در صورت عدم دسترسی به داده‌های زمینی برای یک منطقه، آماربرداری‌های ناقص یا قدیمی، روش‌های جایگزین موردنیاز است؛ بنابراین هدف از این مطالعه استفاده از داده‌های طیفی ماهواره‌ای و مدل‌های زمین‌آماری، برای جایگزین کردن این داده‌ها و یا حداقل‌سازی استفاده از داده‌های زمینی است.

ضرایب همبستگی منفی بیانگر رابطه معکوس بین ارزش‌های طیفی و میزان تاج پوشش است. بنابراین چنین استنباط می‌شود که با افزایش میزان تاج پوشش، بازتاب در طول‌های موج‌های مختلف (باند‌های ۱، ۲، ۳ و ۷) کاهش می‌یابد. همچنین همبستگی معکوس معنی‌داری بین شاخص‌های شیب‌محور VI، TVI، RVI، NRVI با تاج پوشش دیده می‌شود. پوشش تاجی درختان نسبت به پوشش کف جنگل دارای رنگ تیره‌تری می‌باشد و زمانی که میزان درصد تاج

است (۱۴). درعین حال با تحقیقی که در جنگل‌های مشابه (جنگل‌های شاخه زاد زاگرس) که به ساختار مکانی متوسطی (حدود ۵۷ درصد) دست یافتند، هم‌راستا نیست (۱۶).

مزیت نسبی مدل‌های به کار گرفته شده در این تحقیق با ارزیابی عملکرد آن‌ها به کمک فاکتورهای R^2 و RMSE امکان‌پذیر می‌باشد. با توجه به مقادیر R^2 و RMSE که برای مدل رگرسیون خطی به ترتیب برابر با ۰/۵۲ و ۱۷/۵۸ و برای روش کریجینگ برابر با ۰/۶۹ و ۹/۲۱ می‌باشد، روش‌های زمین‌آمار در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی برآوردهای به نسبت مناسب‌تری داشته و توانسته است میزان تاج پوشش را بهتر از مدل رگرسیون خطی برآورد کند.

البته باید بیان کرد که در این بررسی تنها از داده‌های سنجنده TM که به‌طور معمول در دسترس هستند، استفاده شده است ولی ممکن است به دلیل خطای GPS در ثبت مختصات پلات‌ها و انتقال مختصات آن‌ها به تصاویر ماهواره‌ای داده‌ها دقت مناسبی نداشته باشند. بدیهی است عامل‌های دیگری مانند بارندگی، درصد پوشش گیاهی و شاخص‌های ژئومرفولوژی نیز تأثیر بسزایی در برآورد میزان تاج پوشش داشته باشند بنابراین با استفاده از این عامل‌ها به‌عنوان ورودی‌های مدل می‌توان دقت برآوردها را افزایش داد و اطلاعات مفیدتری را جهت مدیریت مناسب‌تر در اختیار قرار داد. انتظار می‌رود در مطالعات آتی جهت ایجاد مدلی معتبرتر که تغییرپذیری بیشتری از میزان تاج پوشش در این منطقه را پیش‌بینی نماید، از نمونه‌برداری‌های بیشتر، متغیرهای توپوگرافیکی و تصاویر با توان تفکیک رادیومتری و مکانی بهتر استفاده شود.

نتیجه‌گیری

اگرچه رابطه معنی‌داری بین تاج پوشش اندازه‌گیری شده با مقدار پیش‌بینی شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد، اما ضرایب همبستگی پایین‌تر از برآوردهای زمین‌آمار است. بنابراین، برای برآورد مشخصه‌های دیگر درختان (همانند بیوماس) بهتر است از روش‌های زمین‌آمار استفاده شود. با این حال، زمانی که بخواهیم پوشش تاجی یک منطقه را

کف جنگل و بوته‌های موجود تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تراکم پایین تاج پوشش درختان در جنگل‌های منطقه تأثیر زیادی در میزان برآورد تاج پوشش جنگل به‌وسیله داده‌های سنجنش از دوری دارد. زیرا که بازتاب حاصل از زیراشکوب درختان سهم زیادی در بازتاب ثبت شده توسط سنجنده دارد؛ به‌عبارت‌دیگر؛ DN ثبت شده تنها نتیجه بازتاب تاج پوشش درختان نیست، بلکه تحت تأثیر عوامل دیگر نیز قرار دارد.

نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی نسبت به دیگر مطالعات (۸،۷) که در جنگل‌های زاگرس انجام گرفته است، دارای ضریب تبیین بیشتر و میانگین مجذور خطای مربعات به نسبت کمتر است. نتایج بهتر تحقیق حاضر به دلیل انبوهی به نسبت بالای جنگل‌های این منطقه نسبت به دیگر مناطق جنگلی زاگرس، وجود مسائل اجتماعی - اقتصادی کمتر (در نتیجه کمتر دچار دست‌خوردگی شده) و وجود طرح جنگلداری برای جنگل‌های این منطقه می‌باشد.

نتایج مربوط به وارپوگرافی و برآورد به روش کریجینگ نشان داد، متغیر تاج پوشش جنگل، ساختار مکانی قوی (با درصد ساختار ۹۸ درصد) دارد و در نتیجه برای برآورد به روش کریجینگ و تولید نقشه پهنه‌بندی درصد تاج پوشش جنگل بکار گرفته شد (جدول ۴). محاسبه نیم تغییرنا‌مربوط به میزان تاج پوشش آماربرداری شده نشان داد که این متغیر دارای دامنه تأثیر ۳۳۹ متر است، به‌عبارت‌دیگر میزان تاج پوشش درختان تا فاصله ۳۳۹ متری دارای وابستگی مکانی است (۱۸،۹). نتیجه بخش زمین‌آمار این تحقیق در رابطه با سایر بررسی‌های صورت گرفته در جنگل‌های بلوط زاگرس که به پهنه‌بندی تراکم و تاج پوشش جنگل پرداخته‌اند مطابقت دارد (۱۵).

همچنین با نتایج تحقیقی که در رویشگاه جنگل‌های خزری به مدل‌سازی تعداد در هکتار درختان با استفاده از روش زمین‌آمار پرداخته است با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد و نشان از دقت مناسب این روش می‌باشد (۱۳). به علاوه این نتایج با مطالعات صورت گرفته در جنگل‌های خارج از کشور (۱۲،۱۱) همخوانی دارد. از طرفی دیگر نتایج حاضر با مطالعه برآورد موجودی جنگل‌های طبیعی و مدیریت‌شده خزری ایران مغایر

5. Schwarz, M. and Zimmermann, N. E., 2005. A new GLM-based method for mapping tree cover continuous fields using regional MODIS reflectance data. *Remote Sensing of Environment*, 95: 428-443.
6. Carreiras, M.B., Pereira, J. M. C., and Pereira, J.S., 2006. Estimation of tree canopy cover in evergreen oak woodlands using remote sensing. *Forest Ecology and Management*, 223: 45-53.
7. Pir Bavaghar, M., Ghahramani, L., Fatehi P. 2011. Evaluation of the capability of SPOT5-HRG data for predicting tree density in the northern Zagros forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, Vol. 19 (2), pp. 242-253. (In Persian)
8. Pir Bavaghar, M. 2011. Evaluation of capability of IRS-P6 satellite data for predicting quantitative attributes of forests (case study: Northern Zagros forests). *Iranian Journal of Forest*, Vol.3 (4), pp.277-289. (In Persian)
9. Hasani pak, A. *Geostatistic*, 3rd Edition, university of Tehran press, Tehran, 314 p. (In Persian)
10. Habashi, H., Hosseini., S.M., Mohammadi, J., Rahmani, R. 2007. Geostatistic applied in forest soil studying process. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, Vol.14 (in Persian).
11. Adjorlolo., C. and Mutanga, O., 2013. Integrating remote sensing and geostatistics to estimate woody vegetation in an African savanna. *Journal of Spatial Science*, 58:2, 305-322.
12. Montes, F., Hernandez, M.J., and Canellas, I., 2005. A geostatistical approach to cork production sampling

به صورت برآورد کلی، با هزینه بسیار کم و خصوصاً سرعت زیاد داشته باشیم، می توانند به عنوان ابزاری مناسب قابل استفاده باشند. به علاوه با توجه به نتایج مربوط به روش زمین آمار این تحقیق و خصوصاً نتایج مشابه مطالعات صورت گرفته در رویشگاه های زاگرس باید اذعان داشت که روش های زمین آمار می توانند ابزاری کارآمد برای تهیه نقشه توزیع مکانی میزان تاج پوشش جنگل در نواحی رویشی زاگرس باشند، اگرچه پیشنهاد می شود مطالعات دیگری در نواحی مختلف جنگل های زاگرس و با استفاده نمونه برداری های مختلف و برآورد دیگر مشخصه های جنگل نیز صورت گیرد تا به نتیجه ای جامع دست یافت.

Reference

1. FAO. 2000. on definitions of forest and forest change. *Forest Resources Assessment Programme. Working Paper 33*. FAO, Rome, Italy. 15 p.
2. Maltamo, M., Eerikainen, K., Pitkanen, J., Hyypä, J., and Vehmas, M., 2004. Estimation of timber volume and stem density based on scanning laser altimetry and expected tree size distribution functions. *Remote Sensing of Environment*, 90: 319-330.
3. Huang, C., Yang, L., Wylie, B., and Homer, C., 2001. A strategy for estimating tree canopy density using Landsat ETM+ and high resolution images over large areas. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, Nov5-7, Denver, Colorado.
4. DeFries, R.S., Hansen, M.C., Townshend, J.R.G., Janetos, A.C. and Loveland, T.R., 2000. A new global 1-km dataset of percentage tree cover derived from remote sensing. *Global Change Biology*, 6: 247-254.

16. Akhavan, R., Karami Khorramabadi, M., Soosani, J. 2012. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: Kakareza region, Khorramabad). Iranian Journal of Forest, Vol 3(4), pp 305-316. (In Persian)
17. Vafaei, S., Pour Hashemi, M., Pir bavaghar, M., Jafari, E. 2016. Applying Artificial Neural Networks and Multiple Linear Regression models to estimate Forest density in Marivan forests. Iranian Journal of Forest, Vol 7(4), pp 539-555. (In Persian)
18. Akhavan, R., Kleinn, C. 2009. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock (Case study: Beneshki plantation). Iranian Journal of Forest and Poplar Research, Vol 17 (2), pp 303-318. (In Persian)
19. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
20. Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H., Yaghmaee, F. 2008. Comparison of Remote Sensing and Geostatistics Techniques in forest tree density estimation, Case Study Loveh Forests, Gorgan. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources, Vol.15 (1) pp.10-21. (In Persian)
21. Rezaei, E., Akhavan, R., Soosani, J., Pourhashemi, M. 2014. Efficiency of Kriging for Estimation and Mapping of Crown Cover and Density of Zagros Oak Forests (Case study: Dadabad Region, Khorramabad). Forest and Wood Products, Vol 67(3), pp 359-370. (In Persian)
22. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
23. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
24. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
25. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
26. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
27. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
28. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
29. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)
30. Akhavan, R., Zobeiri, M., Zahedi Amiri, Gh, Namiranian, M., Mandallaz, D. 2006. Spatial Structure and Estimation of Forest Growing Stock Using Geostatistical Approach in the Caspian Region of Iran. Iranian Journal of Natural Resources, Vol 59 (1), pp 89-102. (In Persian)