



دانشگاه گیلان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵
<http://jwfst.gau.ac.ir>

پهنه‌بندی تراکم درختی جنگل‌های بلوط زاگرس به روش کریجینگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 برگرفته از پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث

علی مهدوی^۱، * جلال عزیز^۲ و رضا اخوان^۳

^۱دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ایلام،
آدرس آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان،
^۲دانشیار، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور
تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۰۳

چکیده

سابقه و هدف: تعداد در هکتار در یک جامعه جنگلی بیانگر وضعیت موجود بوده و پایش آن در ارزیابی تغییرات توده‌های جنگلی بسیار اهمیت دارد. به‌طور کلی آگاهی از وضعیت تراکم درختی در توده‌های جنگلی یکی از نخستین اقدامات در مدیریت جنگل می‌باشد. در این تحقیق به‌منظور بررسی ساختار مکانی و پهنه‌بندی متغیر تراکم درختی در جنگل‌های بلوط زاگرس به روش زمین‌آمار و همچنین امکان استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 برگرفته از پایگاه داده گوگل ارث برای کاهش عملیات میدانی، منطقه‌ای به مساحت ۴۵۰ هکتار از پارک جنگلی چغاسبز واقع در شهرستان ایلام انتخاب شد.

مواد و روش‌ها: بدین منظور ابتدا تصویر یکپارچه‌ای از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده Worldview-2 موجود در پایگاه داده گوگل ارث با قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۶ متر از کل منطقه تهیه و زمین مرجع شدند. نمونه‌برداری با استفاده از روش منظم تصادفی با شدت ۱۰ درصد و قطعات نمونه ۲۵ آری مربعی شکل بر روی شبکه‌ای به ابعاد ۲۵۰×۱۰۰ متر بر روی تصویر انجام گرفت. در مجموع ۱۸۰

*مسئول مکاتبه: azizjalal92@gmail.com

قطعه‌نمونه بر روی تصویر پیاده و تعداد پایه‌های درختی در هر یک از آن‌ها شمارش شد. به‌منظور ارزیابی صحت اندازه‌گیری تراکم درختی بر روی تصویر، تعداد ۳۰ قطعه‌نمونه به‌صورت تصادفی از بین قطعات نمونه انتخاب و در عرصه پیاده شد. پس از انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری واریوگرام تجربی متغیر تراکم محاسبه و مدل نظری مناسب بر آن برازش داده شد. در نهایت نقشه تراکم پایه‌های درختی با استفاده از روش کریجینگ تهیه شد و نقشه حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها: نتایج ارزیابی اندازه‌گیری تراکم درختی بر روی تصویر و عرصه نشان داد که اختلاف معنی‌داری آماری بین درختان شمارش‌شده در روی تصویر و عرصه وجود ندارد. تجزیه و تحلیل مکانی داده‌ها نشان داد که متغیر تراکم درختی دارای ساختاری قوی و ناهمسانگرد است. در نهایت، واریوگرام تجربی ناهمسانگرد برای متغیر تراکم جنگل محاسبه و مدل نمایی ناهمسانگرد در جهت‌های مختلف بر واریوگرام تجربی برازش داده شد. سپس برآوردها به روش کریجینگ معمولی و بلوکی با ابعاد 50×50 متر انجام گرفت. نتایج ارزیابی صحت کریجینگ به روش ارزیابی متقابل نشان داد که براساس معیارهای تعیین صحت برآوردها ناریب بودند ($0/42 -$ درصد $MEr =$ و $21/07$ درصد $= RMSEr$). بنابراین، می‌توان نقشه تراکم جنگل را با دقت مناسبی تولید نمود. همچنین هزینه بسیار اندک نمونه‌برداری از روی تصاویر مذکور و عدم وجود اختلاف معنی‌دار با نمونه‌برداری زمینی که از نتایج تحقیق حاضر بود، یکی از نقاط قوت این روش بوده که می‌تواند برخی از محدودیت‌های کار در عرصه و هزینه‌های اجرایی تحقیق را به حداقل برساند.

نتیجه‌گیری: براساس نتایج حاصله می‌توان اظهار داشت که استفاده از چنین نقشه‌هایی می‌تواند امکان تجزیه و تحلیل مکانی را به‌سرعت افزایش دهد. همچنین برای مشخصه‌های خاص استفاده از این‌گونه تصاویر به‌منظور کمک به نمونه‌برداری زمینی می‌تواند سرعت و هزینه انجام پژوهش‌ها را کاهش داده و در نتیجه زمینه را برای تحقیقات وسیع‌تر فراهم نماید. در نهایت می‌توان استفاده از روش کریجینگ را به‌منظور پهنه‌بندی متغیر تراکم در جنگل‌های زاگرس با استفاده از نمونه‌های برداشت‌شده از تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 موجود در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث مناسب ارزیابی نمود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، پهنه‌بندی، تراکم، جنگل‌های بلوط زاگرس، Worldview-2

مقدمه

جنگل‌های زاگرس از جمله مناطق مهم و باارزش منابع طبیعی کشور ایران است که وسعتی بیش از یک پنجم سطح و حدود یک سوم جمعیت کل کشور را در خود جای داده است (۱۱). با توجه به ساختار این جنگل‌ها که اغلب شاخه‌زاد بوده و قادر به تولید چوب صنعتی نمی‌باشد، حجم سرپا و سطح مقطع در ارتفاع برابر سینه شاخه‌های مناسبی از توده برای مطالعه و پژوهش نیستند (۱۰)، اما مشخصه‌های تراکم و سطح تاج‌پوشش به‌علت نقش مهم آن‌ها در حفاظت خاک، رسوب ریزگردها و تلطیف هوا به‌عنوان معیار مهمی برای مطالعه، بررسی تغییرات و پایش جنگل محسوب می‌گردند؛ بنابراین اگر بتوان با استفاده از روشی مناسب و کم‌هزینه پهنه‌بندی دقیقی از این متغیرها در جنگل انجام داد، بی‌شک در برنامه‌ریزی و مدیریت این جنگل‌ها نقش بسزایی خواهد داشت. از جمله این روش‌ها، روش‌های درون‌یابی می‌باشد. در این روش‌ها برای تخمین و برآورد میزان متغیر پیوسته در مناطق نمونه‌گیری نشده که داخل ناحیه‌ای از مشاهدات نقطه‌ای پراکنده شده‌اند از مدل‌های مختلف ریاضی و آماری استفاده می‌شود (۱۳). این مدل‌ها به‌طور کلی به دو دسته قطعی^۱ و زمین‌آماری^۲ تقسیم می‌شوند. تکنیک‌های درون‌یابی زمین‌آماری کمیت همبستگی مکانی نقاط نمونه‌برداری شده را مدنظر قرار داده و تخمین را براساس موقعیت قرارگیری مکان نمونه‌های اندازه‌گیری شده انجام می‌دهد که از مشهورترین روش‌های آن می‌توان به کریجینگ اشاره نمود. یکی از مهم‌ترین موارد در افزایش دقت روش‌های زمین‌آماری، افزایش تعداد نمونه‌های برداشت‌شده به‌صورت چند دامنه‌ای است. با توجه به اینکه افزایش تعداد نمونه سبب افزایش هزینه و زمان انجام پژوهش می‌شود، در نتیجه لزوم استفاده از روشی که بتواند با حداقل هزینه و زمان، حداکثر دقت را داشته باشد اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این روش‌ها استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث است که یک منبع عظیم، کم‌هزینه و مناسب برای تهیه تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد از سطح زمین می‌باشد. این تصاویر علی‌رغم فواید بسیار زیادشان از قبیل قابلیت تکرار، پوشش بسیار وسیع، قدرت تفکیک مکانی زیاد و همچنین رایگان بودن هنوز توسط جوامع علمی به‌طور زیادی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند (۲۸). برخلاف داده‌های سنجش از دور طیفی این داده‌ها رایگان و به سادگی توسط هر کاربری قابل دسترس هستند و قدرت تفکیک مکانی بالای این تصاویر باعث شده است که در آن‌ها جزئیات سطح زمین در

1- Deterministic

2- Geostatistics

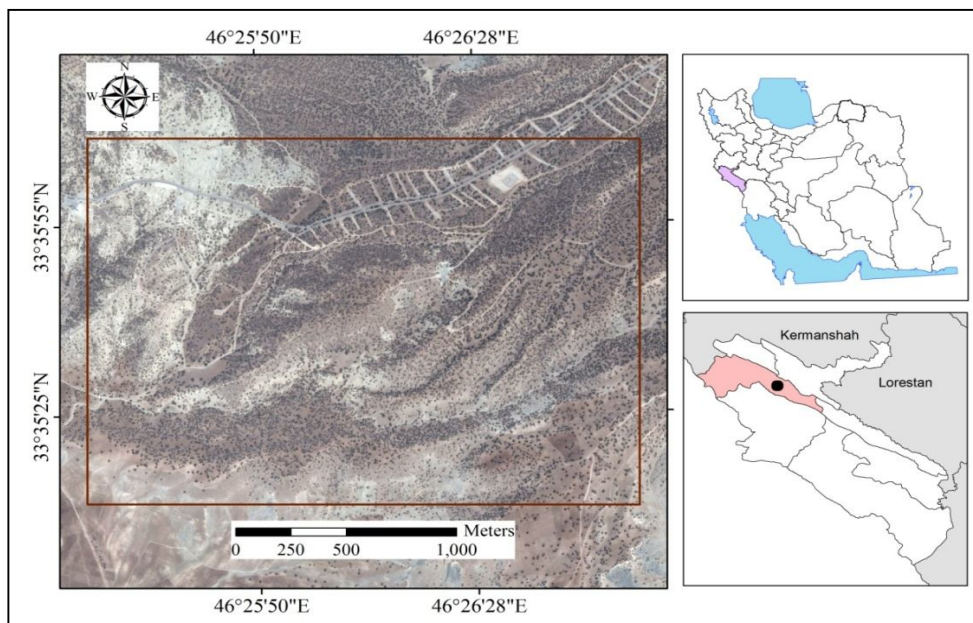
بیشتر مناطق به‌خوبی قابل رویت باشند (۲۰). در زمینه استفاده از تصاویر گوگل ارث در جنگل مطالعات متعددی انجام شده است (۹، ۴، ۵، ۳۲). پلوتون و همکاران (۲۰۱۲) دربرآورد بیومس با استفاده از تصاویر رایگان گوگل ارث در جنگل‌های تروپیکال به‌این نتیجه رسیدند که این تصاویر همراه با تجزیه و تحلیل بافتی پتانسیل بالایی در برآورد بیومس دارند (۲۷). حمیدی و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر موجود در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث به‌منظور برآورد مشخصه‌های کمی در جنگل‌های شهری استفاده کردند و نتایج آن‌ها نشان داد که این تصاویر قابلیت خوبی برای این کار داشته و جایگزین مناسبی برای آماربرداری زمینی است (۱۶). لزوم استفاده از تصاویر ارائه‌شده توسط شرکت گوگل در این تحقیق با توجه به مزایای ذکر شده کاهش دادن تعداد قطعه‌نمونه‌های پیاده شده در عرصه و در نهایت برآورد و پهنه‌بندی مشخصه تراکم درختی در آن‌ها با استفاده از روش‌های زمین آماری می‌باشد. در زمینه استفاده از روش‌های برآورد و پهنه‌بندی متغیرهای کمی جنگل پژوهش‌های مختلفی در داخل و خارج کشور انجام شده است (۱۲، ۲۶، ۳، ۲، ۲۳، ۲۸). در جنگل‌های زاگرس نیز تحقیقات اندکی در این زمینه انجام گرفته که می‌توان به رضایی و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی کارایی کریجینگ در پهنه‌بندی متغیرهای کمی جنگل (۲۹) و اخوان و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه کاربرد کریجینگ در پهنه‌بندی متغیرهای تراکم و تاج پوشش جنگل اشاره نمود که در آن‌ها کریجینگ به‌عنوان یک روش مفید برای پهنه‌بندی متغیرهای کمی جنگل از جمله تراکم درختی معرفی شده است (۱). اگرچه تحقیقات افرادی مانند چن و همکاران (۲۰۰۵)، دمیر و همکاران (۲۰۰۸) و لیو و همکاران (۲۰۱۳) نشان داد که می‌توان موقعیت درخت، سطح تاج و حتی نوع گونه را به‌طور کامل با روش‌های سنجش از دور از همدیگر تفکیک کرد (۲۱، ۸، ۷) ولی باید توجه داشت که تحقیقاتی از این دست با استفاده از داده‌های باکیفیتی مانند لیدار انجام شده که هم ماهیت آن‌ها فرق می‌کند و هم هزینه بالایی را شامل می‌شوند. همچنین تحقیقات محدود دیگر از جمله پنگ گوک و همکاران (۲۰۰۲) که به استخراج تاج‌پوشش درختان پرداخته است (۲۵)، بر روی عکس‌های هوایی انجام شده که به‌دلیل استریو بودن این تصاویر قادر به استخراج تاج‌پوشش درختان بوده است؛ اما به‌دلیل عدم دسترسی به عکس‌های هوایی به‌روز و هزینه‌های مربوط به تهیه این‌گونه تصاویر استفاده از آن‌ها همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد. همچنین الگوریتم استفاده‌شده در تحقیق آن‌ها به‌دلیل پیچیدگی زیاد و ساخت مدل رقومی سطح زمین پیاده کردن آن را در سطوح وسیع با مشکل مواجه می‌کند. با توجه به مطالعات مذکور می‌توان به‌این نتیجه رسید که برای برآورد مشخصه‌های کمی جنگل روش‌های زمین آماری از دقت

مناسبی برخوردارند و از جهت دیگر برای دستیابی به دقت بالاتر افزایش دادن قطعات نمونه امری بدیهی است. با توجه به سوابق پژوهش تصاویر ارائه شده در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث قابلیت مناسبی در استخراج عوارض مختلف دارند. در ناحیه رویشی زاگرس به علت باز بودن تاج پوشش، درختان در بیشتر مناطق قابل تفکیک هستند لذا در صورت عدم اختلاف میان اندازه‌گیری‌های میدانی و اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی تصاویر می‌توان از این آن‌ها به منظور افزایش قطعات نمونه برای اندازه‌گیری مشخصه‌هایی مانند تراکم جنگل استفاده نمود.

در این پژوهش هدف برآورد و تهیه پهنه از وضعیت تراکم پایه‌های درختی در جنگل‌های زاگرس با روش زمین آماری کریجینگ می‌باشد. با توجه به هزینه و زمان بالای برداشت قطعات نمونه در عرصه و محدودیت‌های خاص آن، در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری تراکم پایه‌های درختی در قطعات نمونه از تصاویر ماهواره‌ای Worldview-2 موجود در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث به قدرت تفکیک مکانی ۰/۴۶ متر استفاده شد؛ همچنین ارزیابی روش استفاده شده به منظور برداشت مشخصه تراکم درختی در هر قطعه نمونه بر روی تصاویر از اهداف دیگر این پژوهش می‌باشد. این در حالی است که تمام تحقیقات انجام گرفته به منظور پهنه‌بندی متغیرهای جنگل براساس نمونه‌برداری زمینی بوده و تحقیق حاضر که با استفاده از تصاویر پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث انجام می‌شود، نخستین پژوهش در این ناحیه رویشی است و در صورت کسب نتایج مناسب می‌تواند در سایر مناطق با تراکم کم مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه: منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخشی مستطیلی شکل از پارک جنگلی چغاسبز واقع در شهرستان ایلام به طول ۲۵۰۰ متر و عرض ۱۸۰۰ متر و مساحت ۴۵۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). گونه غالب این جنگل بلوط ایرانی بوده که به صورت شاخه‌زاد و دانه‌زاد پراکنده شده‌اند. مختصات منطقه از ۴۶ درجه ۲۵ دقیقه ۲۲ ثانیه تا ۴۶ درجه ۲۷ دقیقه ۱ ثانیه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه ۳۵ دقیقه ۰۹ ثانیه تا ۳۳ درجه ۳۶ دقیقه ۱۱ ثانیه عرض جغرافیایی می‌باشد. میانگین ارتفاع منطقه ۱۴۷۵ متر از سطح دریا، متوسط بارش سالیانه آن ۵۶۷ میلی‌متر و اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی دوماتن در اقلیم مدیترانه‌ای قرار می‌گیرد (۳۰).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.

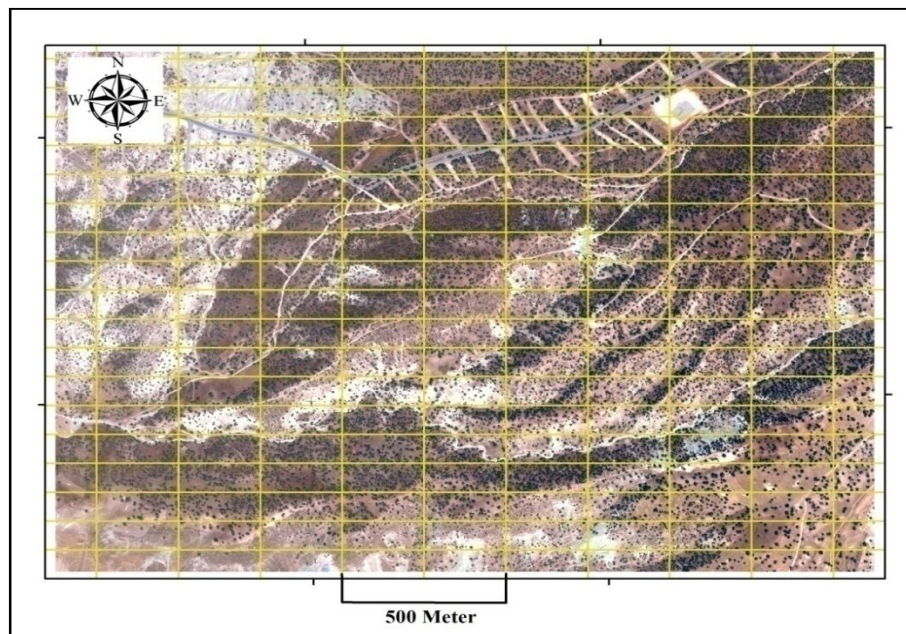
Figure 1. Location of study area.

روش تحقیق

گوگل ارث غالباً به اسم یک نرم‌افزار شناخته می‌شود که توسط یک رابط گرافیکی قدرتمند تصاویر واقعی از سطح زمین را به صورت لایه‌های اطلاعاتی مختلف در اختیار کاربران قرار می‌دهد. اما این نرم‌افزار اطلاعات خود را از پایگاه اطلاعاتی وسیعی با همین نام دریافت می‌کند. پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث یکی از بزرگترین و جامع‌ترین آرشیوهای تصاویر ماهواره‌ای در جهان است. این پایگاه اطلاعاتی با همکاری شرکت‌های بزرگ تولید کننده تصاویر ماهواره‌ای از قبیل NASA, Digital Globe و غیره تصاویر ماهواره‌ای تمامی سطح زمین را به صورت اپتیک^۱ و با قدرت تفکیک‌های مکانی مختلف در خود بایگانی کرده و توسط رابط گرافیکی گوگل ارث در اختیار عموم قرار می‌دهد. تصاویر ماهواره‌ای جمع‌آوری شده در این پایگاه در مقیاس‌های کوچک عمدتاً مربوط به ماهواره‌های Terra و Aqua، در

۱- تصاویر اپتیک به تصویری گفته می‌شود که از ترکیب باندهای مرئی طیف الکترومغناطیس (قرمز، آبی و سبز) حاصل شده و در واقع تصویری است که چشم انسان عوارض را بدین صورت می‌بیند.

مقیاس متوسط مربوط به ماهواره‌های سری Landsat و در مقیاس‌های بزرگ مربوط به ماهواره‌های - Spot و Digital Globe و سنجنده‌های QuickBird و Worldview می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور تهیه تصویر موجود در پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث از رابط کاربری UMD^۱ استفاده شد. در این رابط کاربری پس از انتخاب محدوده و سطح موردنظر که نشان دهنده تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده و قدرت تفکیک مکانی آن است، تصاویر را به‌صورت یکپارچه و زمین مرجع از پایگاه مرکزی دریافت و در اختیار کاربر قرار می‌دهد (شکل ۲). اگر چه تصاویر دریافتی زمین مرجع هستند ولی به‌منظور انطباق کامل آن با سطح واقعی زمین نیاز به تصحیح هندسی با دقت مطلوب می‌باشد. در این مطالعه تصحیح هندسی تصویر به روش ناپارامتری و با در نظر گرفتن ۲۲ داده کنترلی GPS حاصل از نمونه برداری زمینی با در نظر گرفتن خطای آن مورد کنترل قرار گرفت (دقت ± 4 متر). این فرآیند با بهره‌گیری از روش چندجمله‌ای با معادله درجه اول و روش نمونه‌گیری مجدد نزدیک‌ترین همسایه با خطای زیر یک پیکسل انجام شد ($RMS_e = 0.213$).

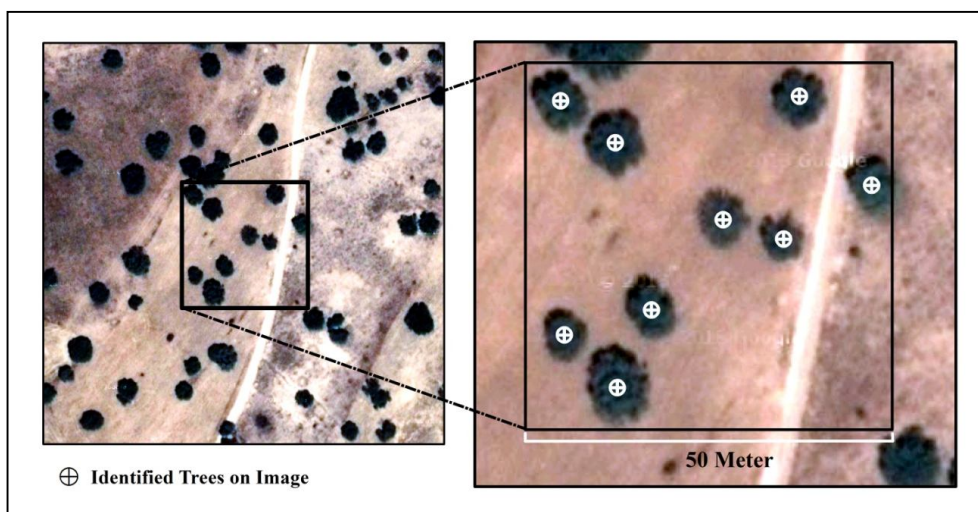


شکل ۲- تصویر برگرفته از سایت گوگل و شبکه آماربرداری مورد استفاده در تحقیق.

Figure 2. Google Earth imagery and network inventory in study area.

1- Ultimate Map Downloader

مراحل بعدی پژوهش در محیط نرم‌افزار ArcGIS انجام گرفت، با توجه به وسعت منطقه مورد بررسی و نیاز به تعداد مناسب قطعه‌نمونه، شبکه آماری با شدت ۱۰ درصد با ابعاد شبکه ۲۵۰×۱۰۰ متر و قطعات نمونه ۲۵ آری مربعی شکل (۵۰×۵۰ متر) به صورت منظم تصادفی (سیستماتیک) بر روی تصویر پیاده شد و موقعیت مرکز تمامی قطعات ثبت گردید که در نهایت ۱۸۰ قطعه‌نمونه برای اندازه‌گیری به دست آمد (شکل ۳). تعداد درختان موجود در هر قطعه‌نمونه بر روی تصویر پس از انطباق قطعات نمونه بر روی تصویر زمین مرجع شده به دقت شمارش شد تا در تجزیه و تحلیل‌های آماری مورد استفاده قرار گیرند. برای کنترل این مطلب تعداد ۳۰ قطعه‌نمونه به صورت کاملاً تصادفی از بین قطعات نمونه انتخاب شد. با استفاده از مختصات برداشت‌شده از روی تصویر و همچنین تفسیر چشمی آن‌ها قطعات نمونه در عرصه پیاده شده و سپس تعداد درخت در هر یک از آن‌ها برای ارزیابی دقت روش اندازه‌گیری شد. در نهایت نتایج اندازه‌گیری تعداد پایه‌های درختی در ۳۰ قطعه‌نمونه پیاده شده بر روی تصویر و عرصه با استفاده از آزمون t جفتی مورد بررسی قرار گرفت.



شکل ۳- نمای کلی یکی از قطعات نمونه پیاده شده و درختان شمارش شده در آن.

Figure 3. One of the sample plot and Identified tree.

تجزیه و تحلیل‌های آماری: در تجزیه و تحلیل‌های آماری فرض بر نرمال بودن توزیع داده‌ها است لذا قبل از استفاده از مدل‌های آماری، در این تحقیق وضعیت نرمال بودن داده‌ها با استفاده از

آزمون کلموگرف- اسمیرنف بررسی شد. در زمین آمار فرض بر این است که نمونه‌های انتخاب شده از جامعه مستقل نبوده بلکه تا فاصله‌ی معینی به صورت مکانی نسبت به هم وابستگی دارند. این ارتباط مکانی ممکن است در قالب یک مدل ریاضی قابل بیان باشد که به این مدل‌ها، مدل‌های ریاضی ساختار مکانی می‌گویند و متغیرهایی که با این‌گونه مدل‌ها بیان می‌شوند، متغیر ناحیه‌ای نامیده می‌شوند (۱۷، ۱۵، ۱۳). تخمین زمین‌آماري شامل دو بخش است. بخش اول، شناخت و مدل‌سازی ساختار مکانی مورد تخمین است که در آن مفهوم پیوستگی، همگنی، ناهمگنی و ساختار مکانی به وسیله یک مدل تغییرات مکانی مانند نیم‌تغییرنما^۱ بررسی می‌شود و بخش دوم، تخمین با استفاده از یک تخمینگر مانند کریجینگ است که به مشخصات مدل واریوگرام برازش شده در بخش اول وابسته است (۳۱، ۱۷، ۱۴). تابع واریوگرام به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \text{رابطه (۱)}$$

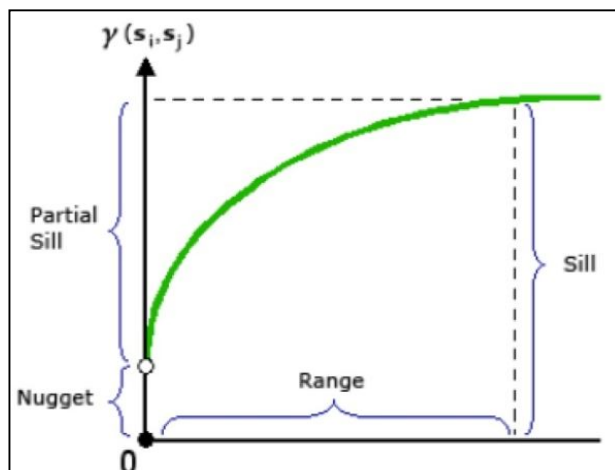
که در این رابطه، $\gamma(h)$ مقدار نیم‌تغییرنما برای تعداد N جفت نمونه است که با فاصله h (گام یا Lag) از یکدیگر جدا شده‌اند، و $Z(x_i)$ و $Z(x_i+h)$ نیز مقادیر متغیر ناحیه‌ای x در نقاط i و $i+h$ هستند. مقدار نیم‌تغییرنما به فاصله بین مقادیر یک متغیر ناحیه‌ای در دو نقطه وابسته است. اگر این مقدار به جهت نیز وابسته باشد، واریوگرام ناهمسانگرد^۲ و در غیر این صورت همسانگرد^۳ نامیده می‌شود. در واریوگرافی برای تشریح و مدل‌سازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه دامنه تأثیر، حد آستانه (سقف) و اثر قطعه‌ای استفاده می‌شود که بیانگر واریانس ساختاردار و واریانس بدون ساختار می‌باشند. نسبت واریانس ساختاردار به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام را نشان می‌دهد. ساختار ۷۵ درصد و بیشتر، نشان‌دهنده ساختار قوی، بین ۲۵ تا ۷۵ درصد بیانگر ساختار متوسط و کمتر از ۲۵ درصد نشان‌دهنده ساختار مکانی ضعیف متغیر مورد بررسی است (۲۴، ۶). رایج‌ترین واریوگرام‌های دارای سقف، واریوگرام‌های برازش شده با مدل‌های کروی و نمایی می‌باشند. در واقع مهم‌ترین کاربرد واریوگرام استفاده از اطلاعات آن در مدل‌های زمین‌آماري است (۱۸). اما قبل از کاربرد آن در برآورد، لازم است تا مناسب‌ترین مدل تئوری شامل مدل‌های کروی، گوسی، نمایی و غیره را بر آن برازش داده شود. در پژوهش حاضر، مدل با استفاده از روش هیبرید، بر مبنای تفسیر چشمی و خودکار (حداقل مجموع

1- Semi-variogram

2- Anisotropic

3- Isotropic

مربعات باقیمانده‌ها) به واریوگرام‌های تجربی برازش شد. بر این اساس و با توجه به مشخصه نیکویی برازش^۱ برای برازش تمامی واریوگرام‌های محاسبه‌شده، مدل نمایی (شکل ۳) انتخاب و در همه آن‌ها مقدار اثر قطعه‌ای در نظر گرفته شد. مدل واریوگرام نمایی به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود.



شکل ۳- یک مدل واریوگرام نمایی همراه با مؤلفه‌های آن (۱۹).

Figure 3. Exponential variogram and its parameters.

$$\gamma(h) = c_0 + c \left(1 - \exp\left(\frac{-h}{r}\right) \right) \quad h \geq 0; \quad \gamma(0) = 0 \quad h = 0 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در این روابط c_0 ، c ، r و h به ترتیب نشان‌دهنده اثر قطعه‌ای، واریانس ساختاردار، دامنه تأثیر و طول گام می‌باشد (۲۲). در این پژوهش برای برآورد متغیر موردنظر در نقطه فاقد آمار، از روش زمین‌آماري کریجینگ معمولی استفاده شد. این روش عمومی‌ترین تخمینگر در برآورد متغیرهای زیست‌محیطی بوده و در بسیاری از مطالعات مشابه از این روش استفاده شده است، از سوی دیگر کریجینگ معمولی زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که میانگین واقعی جمعیت در دسترس نباشد که در این‌گونه پژوهش‌ها نیز در دسترس نیست. در این روش مانند سایر روش‌های برآورد متغیرهای ناحیه‌ای، از یک تابع خطی در مجموعه مشاهده‌های توزیع شده واقع در همسایگی نقطه‌ای که می‌خواهیم برآورد کنیم، استفاده می‌شود (رابطه ۳).

1- Good of fitness

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^m \lambda_i Z(x_i) \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه $Z(x_0)$ برآورد آماری از متغیر موردنظر و λ_i وزن آماری اختصاص داده شده به نمونه i است. m تعداد نمونه‌های قرار گرفته در همسایگی نقطه موردنظر می‌باشد.

ارزیابی صحت: در این بررسی برای ارزیابی دقت برآوردهای کریجینگ از روش ارزیابی^۱ متقابل استفاده شد. در این روش همه‌ی داده‌های اولیه، یک به یک و به ترتیب از محاسبات خارج شده و مجدداً با استفاده از مدل واریوگرام و سایر داده‌ها برآورد می‌شوند. سپس از مجموع تفاضل مقادیر اولیه با مقادیر برآورد شده برای ارزیابی صحت کریجینگ استفاده می‌شود. در نهایت با محاسبه چهار آماره میانگین خطا^۲، جذر میانگین مربعات خطا^۳، میانگین خطای نسبی^۴، جذر میانگین مربعات خطای نسبی^۵ درباره کیفیت برآورد کریجینگ قضاوت می‌شود. این آماره‌ها به صورت روابط ۵ تا ۸ تعریف می‌شوند (۱۹).

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]}{n} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{n}} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$ME_r = \frac{ME}{\bar{Z}(x_i)} \times 100 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$RMSE_r = \frac{RMSE}{\bar{Z}(x_i)} \times 100 \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در این روابط n تعداد نمونه‌ها، $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد x در نقطه i میانگین نمونه‌های اندازه‌گیری شده متغیر و $\hat{\sigma}(x_i)$ انحراف معیار برآورد شده x در نقطه i می‌باشد (۱۹). در این پژوهش برای انجام تجزیه و تحلیل زمین‌آماري از الحاقیه Geostatistical Analyst نرم‌افزار ArcGIS نگارش ۱۰ استفاده شده است.

-
- 1- Cross validation
 - 2- Mean Error (ME)
 - 3- Root Mean Square Error (RMSE)
 - 4- Relative Mean Error (MEr)
 - 5- Relative Root Mean Square Error (RMSEr)

نتایج و بحث

در این مطالعه متغیر تراکم جنگل از نظر ساختار مکانی و برآورد به روش کریجینگ با نمونه‌برداری از روی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده Worldview-2 برگرفته از پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث در منطقه‌ای به مساحت ۴۵۰ هکتار در پارک جنگلی چغاسبز واقع در شهرستان ایلام مورد بررسی قرار گرفت. پس از پیاده کردن قطعات نمونه و انجام اندازه‌گیری‌های لازم، نتایج آزمون t جفتی نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین درختان شمارش شده بر روی تصویر و درختان شمارش شده در عرصه وجود ندارد (جدول ۱) که این نتیجه حاکی از مناسب بودن تصاویر گوگل ارث برای تسریع در نمونه‌برداری و کاهش هزینه‌های عملیات می‌باشد. لازم به ذکر است که در این ناحیه رویشی به‌علت تنک بودن جنگل درختان از روی تصاویر قابل شمارش هستند، در نتیجه آماربرداری از روی تصاویر و مقایسه آن با آماربرداری زمینی قابل قبول می‌باشد.

جدول ۱- نتایج آزمون t برای داده‌های استخراج شده از تصویر و نمونه‌برداری زمینی.

Table 1. The results of t-test to data extracted in field and image.

معنی‌داری* (sig)	t آماره	درجه آزادی df	مقدار اختلاف میانگین‌ها Mean difference	انحراف معیار SD	میانگین (تعداد در قطعه نمونه) Mean	قطعات نمونه Plots
0.70 ns	0.38	29	0.13	3.96	12.73	در تصویر In Image
				3.84	12.86	در عرصه In Field

ns: عدم وجود تفاوت معنی‌دار

نتایج آزمون کلموگروف-اسمیرنف نشان داد که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند ($\text{Sig}=0/07$) و نیازی به تبدیل و نرمال‌سازی آن‌ها نمی‌باشد. جدول ۲ مشخصه‌های آماری متغیر مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۲- پارامترهای آماری تراکم درختی جنگل به روش نمونه‌برداری.

Table 2. Statistics parameter of density trees in sampling method.

کشیدگی kurtosis	چولگی Skewness	ضریب تغییرات CV%	انحراف معیار SD	میانگین (تعداد در هکتار) Mean	حداکثر (در هکتار) Max	حداقل (در هکتار) Min
-0.28	0.10	32.08%	16.55	51.58	100	16

واریوگرافی: مبنای روش‌های زمین‌آمار تحلیل واریوگرام است. پس از محاسبه و ترسیم واریوگرام تجربی داده‌ها، نتایج حاکی از وجود یک ناهمسانگردی در جهت تقریبی شمال شرق- جنوب غرب با آزیموت ۷۴ درجه بود. پس از اطمینان از عدم وجود روند مکانی در داده‌ها، روش کریجینگ معمولی انتخاب گردید؛ سپس از بین مدل‌های نظری واریوگرام چهار مدل دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی با طول گام ۱۷۵ متر برای واریوگرام تجربی برازش شد که نتایج مناسب بودن مدل واریوگرام نمایی را نسبت به سایر مدل‌ها بیان می‌کند (جدول ۳). وجود ناهمسانگردی نشان‌دهنده این مطلب است که متغیر ناحیه‌ای موردنظر دارای وابستگی مکانی بیشتر در جهتی خاص می‌باشد که خود باعث می‌شود وزن‌های اعمال‌شده در آن جهت نسبت به جهت‌های دیگر برای محاسبه نقطه نامعلوم در برآورد کننده کریجینگ بیشتر باشد. دامنه تأثیر نشان‌دهنده همگنی متغیر است به طوری که هرچه دامنه تأثیر یک متغیر بزرگ‌تر باشد، آن متغیر دارای همگنی بیشتری است (۳۱). بنابراین متغیر مورد بررسی در جهت شرقی- غربی دارای همگنی بیشتر نسبت به سایر جهت‌ها است.

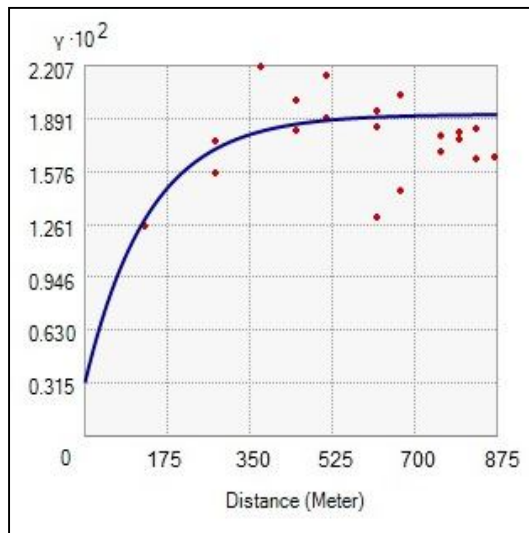
جدول ۳- پارامترهای آماری مدل‌های برازش شده بر واریوگرام تجربی.

Table 3. Statistics parameter of model fitted to experimental variogram.

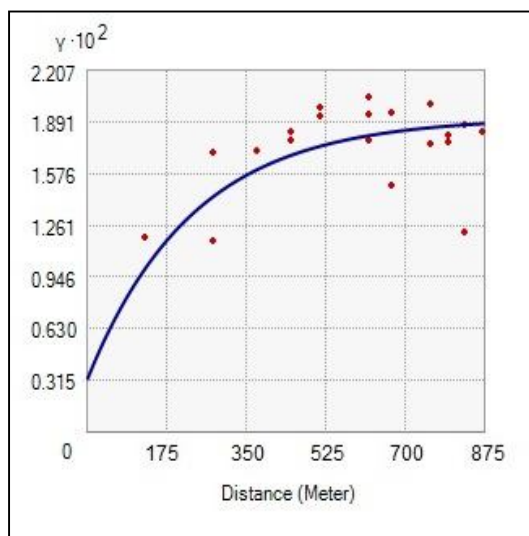
مدل Model	واریانس ساختاردار Partial sill	واریانس بدون ساختار Nugget effect	دامنه تأثیر بزرگ Major range (m)	دامنه تأثیر کوچک Minor range (m)	درصد ساختار مکانی* SP%
دایره‌ای Circular	126.42	53.27	645.96	281.23	70.3%
کروی Spherical	134.09	45.53	716.17	298.83	74.8%
نمایی Exponential	159.81	31.93	874.76	341.52	83.3%
گوسی Gaussian	109.14	70.63	634.30	250.60	64.1%

* $100 \times [\text{حد آستانه} / (\text{اثر قطعه‌ای} - \text{حد آستانه})] = \text{درصد ساختار مکانی}$

با توجه به نتایج حاصله در جدول ۳ متغیر تراکم دارای ساختار مکانی قوی بوده و مدل واریوگرام نمایی با درصد ساختار مکانی ۸۳/۳ درصد بهترین مدل برازش شده بر واریوگرام تجربی می‌باشد. در شکل ۴ واریوگرام تجربی و مدل نمایی ناهمسانگرد برازش شده بر آن در جهت‌های مختلف جغرافیایی ارائه شده است.



(الف)

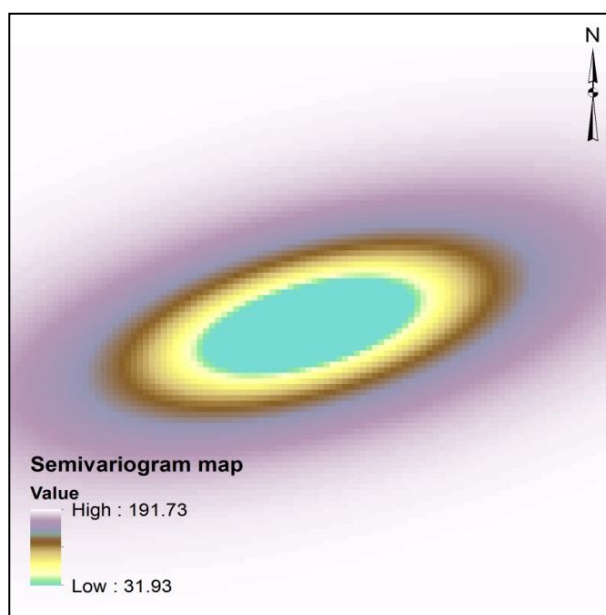


(ب)

شکل ۴- واریوگرام تجربی (ابر نقاط) و واریوگرام نمایی (خط ممتد) ناهمسانگرد برازش شده در جهت‌های مختلف جغرافیایی؛ الف) شمالی - جنوبی؛ ب) شرقی - غربی.

Figure 4. Experimental variogram (cloud points) of density trees and Exponential variogram (stretch line) fitted in different direction.

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مدل نمایی برازش شده در جهت‌های شرقی- غربی نسبت به جهت‌های شمالی- جنوبی در فاصله دورتر به حد آستانه خود رسیده که این مطلب نشان‌دهنده تأثیر بزرگ‌تر در جهت یادشده بوده و ناهمسانگردی در این جهت را تأیید می‌کند. همچنین بیضی ناهمسانگردی و مقادیر نیم تغییرنما در هر نقطه در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- بیضی ناهمسانگردی برای متغیر تراکم جنگل.

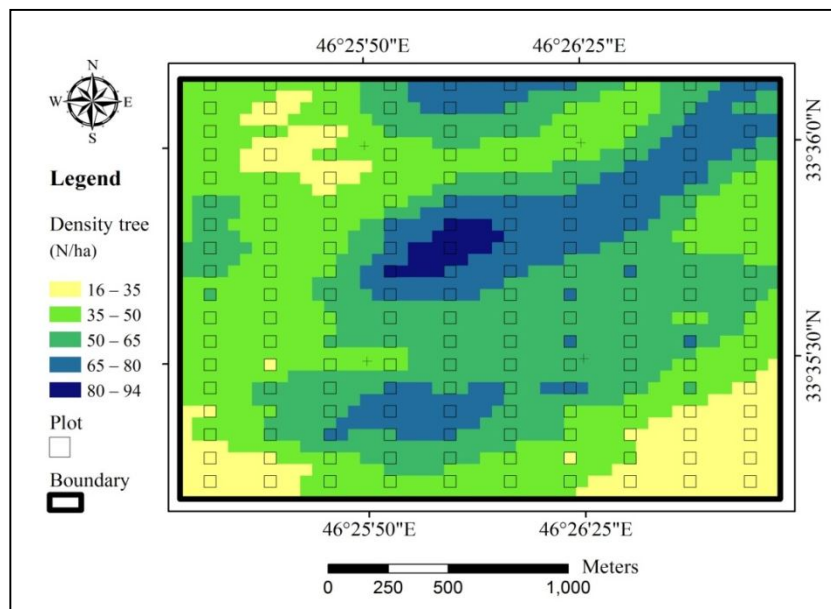
Figure 5. Anisotropic ellipsoid of density trees.

کریجینگ: در ادامه کار با توجه به ساختار مکانی مناسب متغیر تراکم جنگل نقشه توزیع مکانی آن با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی تولید شد (شکل ۶). همچنین نتایج کمی برآورد به روش کریجینگ برای متغیر موردنظر در جدول ۴ ارائه شده است.

جدول ۴- نتایج کمی درون‌یابی به روش کریجینگ.

Table 4. Results of interpolation using kriging method.

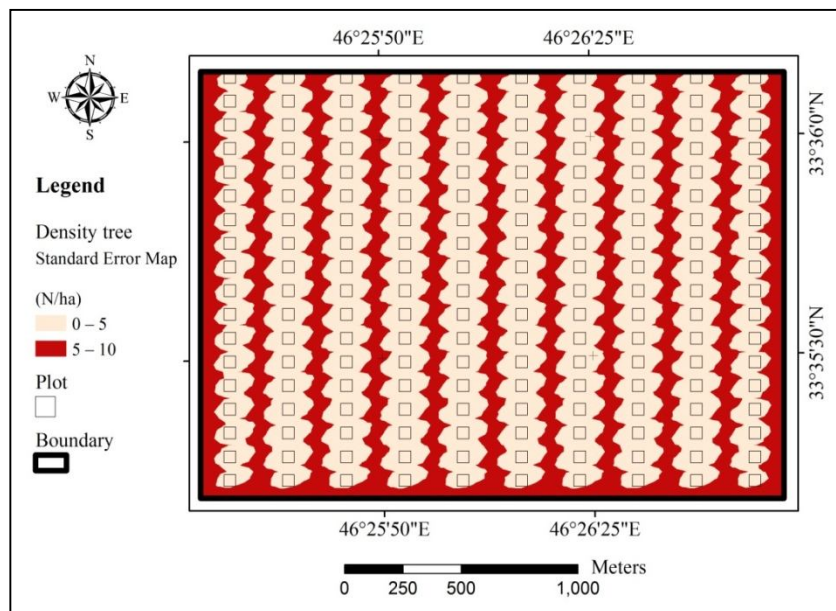
کشیدگی kurtosis	چولگی Skewness	ضریب تغییرات CV%	انحراف معیار SD	میانگین (تعداد در هکتار) Mean	حداکثر (در هکتار) Max	حداقل (در هکتار) Min
-0.36	0.006	24.59%	12.64	51.39	93.79	15.43



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی تراکم جنگل به روش کریجینگ.

Figure 6. Density tree map using kriging method.

از مزایای کریجینگ نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی این است که به‌همراه هر برآوردی نقشه خطای آن را نیز به شکل کمی ارائه می‌دهد (۳۴). به‌طوری که با استفاده از دو نقشه حاصله (برآورد و خطا) در هر نقطه از جنگل هم میزان برآورد مشخص است و هم میزان خطای آن. با داشتن نقشه خطا می‌توان مناطقی را که خطای برآورد زیادی دارند را با نمونه‌برداری اضافی پوشش داد تا میزان خطا در آن نواحی کاهش یابد. لذا نقشه اشتباه معیار متغیر با استفاده از نقشه کریجینگ محاسبه شد (شکل ۷). ساختار منظم نقشه اشتباه معیار به‌علت پراکنش منظم قطعات نمونه است، همان‌طور که مشاهده می‌شود اشتباه برآورد در محل قطعات نمونه حداقل و با افزایش فاصله افزایش می‌یابد.



شکل ۷- نقشه اشتباه معیار پهنبندی انجام شده به روش کریجینگ.

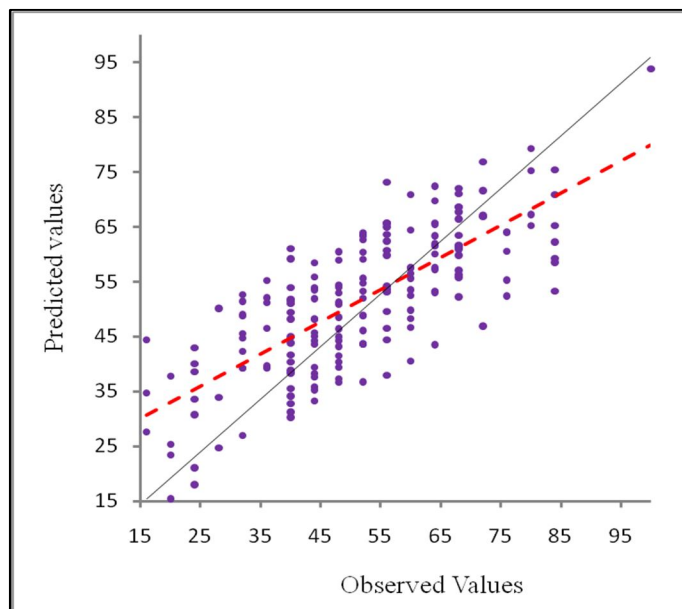
Figure 7. Standard error map of density trees using kriging method.

ارزیابی صحت: با استفاده از روش ارزیابی متقابل، صحت برآوردهای کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی صحت برای متغیر مورد بررسی در جدول ۵ و شکل ۸ ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج ارزیابی صحت متغیر مورد بررسی.

Table 5. Results of accuracy assessment.

متغیر Variable	ME	MEr	RMSE	RMSEr
تراکم درختی Tree Density	-0.22	-0.42%	10.87	21.07%



شکل ۸- نمودار ارزیابی متقابل برای متغیر تراکم جنگل.
Figure 8. Cross-validation plot of density trees.

شایان ذکر است که در شکل ۸ هرچه انطباق خط‌چین بر خط ممتد (با زاویه ۴۵ درجه) بیشتر باشد، برآوردها ناریب‌تر و دقت آن‌ها بیشتر است. با توجه به جدول ۵ و شکل ۸ برای متغیر تراکم مشاهده می‌شود که نتایج ارزیابی صحت کریجینگ بیانگر دقت مناسب روش بوده، بنابراین نقشه‌های حاصله دارای صحت زیادی می‌باشند. مقایسه نقشه‌های تولیدشده با تصویر مورد استفاده (شکل‌های ۲ و ۶) نشان می‌دهد که نقشه حاصله به روش کریجینگ با تصویر ماهواره‌ای منطقه از نظر تراکم درختان مطابقت دارد. نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهش برخی محققین مغایر است، برای مثال تومینن و همکاران (۲۰۰۳) در تحقیقی نشان دادند که استفاده از کریجینگ، صحت برآورد موجودی را در سطح توده‌های جنگلی افزایش نخواهد داد (۳۳). اخوان و کلاین (۲۰۰۹) در بررسی قابلیت کریجینگ در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل‌کاری‌ها به این نتیجه رسیدند که متغیر تراکم ساختار مکانی مناسبی نداشته و به صورت یک متغیر ناحیه‌ای رفتار نمی‌کند که دلیل آن فواصل کاشت منظم درختان و عدم تغییر نظم پایه‌ها در طول زمان است (۲) که این نتایج با نتایج حاصله مغایر می‌باشد. از سوی دیگر نتایج تحقیقات برخی محققان در راستای نتایج تحقیق حاضر است که از آن جمله می‌توان به

بررسی اخوان و همکاران (۲۰۱۱) که نشان دادند متغیر تراکم درختی در جنگل‌های زاگرس همانند یک متغیر ناحیه‌ای رفتار کرده و می‌توان با روش کریجینگ از آن نقشه تهیه نمود (۱). همچنین براساس نتایج پژوهش حمیدی و همکاران (۲۰۱۵) که به برآورد مشخصه‌های کمی جنگل با استفاده از تصاویر پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث پرداختند مشخص شد که اطلاعات استخراج‌شده از این‌گونه تصاویر اختلاف معنی‌داری با نمونه‌برداری زمینی ندارد که این با نتایج بررسی حاضر منطبق است (۱۶).

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این بررسی نشان داد که امکان تهیه نقشه تراکم و همچنین استفاده از تصاویر گوگل ارث برای افزایش نمونه‌های زمینی در بخش‌هایی مشابه با ناحیه مورد بررسی در جنگل‌های زاگرس وجود دارد. اگرچه برای اثبات این مهم نیاز انجام تحقیقات وسیع در این زمینه است. همچنین هزینه بسیار اندک نمونه‌برداری از روی تصاویر گوگل ارث و عدم وجود اختلاف معنی‌دار با نمونه‌برداری زمینی که از نتایج تحقیق حاضر بود، یکی از نقاط قوت این روش بوده که می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های کار در عرصه و هزینه‌های اجرایی تحقیق را به حداقل برساند. چنین نقشه‌های زمین مرجعی که با هزینه بسیار اندک تولید می‌شوند می‌تواند برای مدیران جنگل در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی بسیار مفید باشند. به‌طوری که این نقشه‌ها به‌عنوان نقشه راهنما مورد استفاده قرار می‌گیرند تا براساس آن برنامه‌ریزی‌های لازم با توجه به وضعیت موجودی جنگل انجام گیرد. همچنین برای انجام طرح‌های مکان‌یابی که نیاز به نقشه‌های دقیق از پهنه‌های مختلف است می‌توان از این نقشه‌ها به‌راحتی استفاده نمود. در نهایت می‌توان اظهار داشت که استفاده از چنین نقشه‌هایی می‌تواند امکان تجزیه و تحلیل مکانی را به‌سرعت افزایش دهد. همچنین برای متغیرهای خاص استفاده از تصاویر گوگل ارث به‌منظور کمک به نمونه‌برداری زمینی می‌تواند سرعت و هزینه انجام پژوهش‌ها را کاهش داده و در نتیجه زمینه را برای تحقیقات وسیع‌تر فراهم نماید.

منابع

1. Akhavan, R., Karami Khoramabadi, M., and Soosani, J. 2011. Application of Kriging and IDW methods in mapping of crown cover and density of coppice oak forests (case study: Dadabad region, Khorramabad). *Iranian Journal of Forest*, 3(4): 305-316. (In Persian)
2. Akhavan, R., and Kleinn, C. 2009. On the potential of kriging for estimation and mapping of forest plantation stock. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(2): 303-318. (In Persian)
3. Akhavan, R., Zobeiri, M., ZahediAmiri, Gh., Namiranian, M., and Mandallaz, D. 2006. Spatial structure and estimation of forest growing stock using geostatistics in the Caspian region of Iran. *Iranian Journal of Natural Resources*, 59(1): 89-102. (In Persian)
4. Almeer, M.H. 2012. Vegetation extraction from free Google earth images of deserts using a robust BPNN approach in HSV Space. *International Journal of Advanced Research Computer and Communication Engineering*, 2(5): 1-8.
5. Barbier, N., Couteron, P., Proisy, C., Malhi, Y., and Gastellu-Etchegorry, J.P. 2010. The variation of apparent crown size and canopy heterogeneity across lowland Amazonian forests. *Global Ecology and Biogeography*, 19(1): 72-84.
6. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soil, *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.
7. Chen, L., Chiang, T., and Teo, T. 2005. Fusion of LIDAR data and high resolution images for forest canopy modeling. Section 37: High Resolution Data Processing (2), In: *Indonesia, 26th Asian Conference on Remote Sensing*.
8. Demir, N., Poli, D., and Baltsavias, E. 2008. Extraction of buildings and trees using images and LiDAR data. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(4): 313-318.
9. Duhl, T.R., Guenther, A., and Helmig, D. 2012. Estimating urban vegetation cover fraction using Google Earth images. *Journal of Land Use Science*, 7(3): 311-329.
10. Erfanfard, U., Zobeiri, M., Fegghi, J., and Namiranian, M. 2007. Estimate crown cover forest in aerial photography using shadow index in Zagros. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15(3): 278-288. (In Persian)
11. Fatahi, M. 2005. Management Methods of Zagros forests. *Dahati journal*, 52(3): 23-42. (In Persian)
12. Freeman, E.A., and Moisen, G.G. 2007. Evaluating kriging as a tool to improve moderate resolution maps of forest biomass. *Environmental Monitoring and Assessment*, (128): 395-410.
13. Ghahverdi-tali, M. 2005. Geographic information system in 3D layout. *Jihad Daneshgahi Publisher, Tarbiat Moallem Unit*, 273p. (In Persian)

14. Ghahverditali, M. 2002. Evaluation Kriging interpolation method. *Geographic researches*, 43(1): 95-108.
15. Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for natural resources evaluation*. Oxford University Press, New York, 483p.
16. Hamidi, S.K., Namiranian, M., Fegghi, J., and Shabani, M. 2015. Comparison of land inventory and using of Ikonos image in Google Earth database to estimate quantity characteristics of urban forest (Case study: Iran; Sari city). *Forest Research and Development*, 1(1): 85-94. (In Persian)
17. Hosnipak, A. 1998. *Geostatistics*. Tehran University, Tehran, 341p. (In Persian)
18. Isaaks, E.H., and Srivastava, R.M. 1989. *Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press., New York, 538p.
19. Johnston, K., VerHoef, J.M., Krivoruchko, K., and Lucas, N. 2003. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI, New York, 306p.
20. Lisle, R.J. 2006. Google Earth: a new geological resource. *Geology today*, 22(1): 29-32.
21. Liu, J., Shen, J., Zhao, R., and Xu, S. 2013. Extraction of individual tree crowns from airborne LiDAR data in human settlements. *Mathematical and Computer Modeling*, 58(3): 524-535.
22. McBratney, A.B., and Webster, R. 1986. Choosing Functions for Semi-variograms of Soil Properties and Fitting Them to Sampling Estimates, *Journal of Soil Science*, 37: 617-639.
23. Mohammadi, J., Shataee, Sh., Habashi, H., and Yaghmaee, F. 2008. Comparison of remote sensing and geostatistics techniques in forest tree density estimation. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 15(1): 10-21. (In Persian)
24. Mohamadi, J. 2001. Introduction to geostatistics: application in agrology, 15(1): 99-121. (In Persian)
25. Peng Gong, X.M., Blgng, G.S., and Zhang, Z. 2002. Improvement of an oak canopy model extracted from digital photogrammetry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63(9): 919-924.
26. Pierce K.B., Ohmann, J.L., Wimberly, M.C., Gregory, M.J., and Fried, J.S. 2009. Mapping wild land fuels and forest structure for land management: a comparison of nearest neighbor imputation and other methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(10): 1901-1916.
27. Ploton, P., Pélissier, R., Proisy, C., Flavenot, T., Barbier, N., and Rai, S. 2012. Assessing aboveground tropical forest biomass using Google Earth canopy images. *Ecological Applications*, 22(3): 993-1003.
28. Potere, D. 2008. Horizontal positional accuracy of Google Earth's high-resolution imagery archive. *Sensors*, 8: 7973-7981.
29. Rezaei, E., Akhavan, R., Soosani, J., and Porhashemi, M. 2014. Efficiency of Kriging for Estimation and Mapping of Crown Cover and Density of Zagros

- Oak Forests (Case study: Dadabad Region, Khorramabad). Journal of Forest and Wood Product, 3(67): 359-370. (In Persian)
30. Rostami, A., and Hydari, H. 2009. Typology of forest stands and evaluation of their overall status in natural forest of Dalab Region, Ilam province. Journal Agriculture natural resources, 15(6): 247-277. (In Persian)
31. Stein, M.K. 1999. Interpolation of Spatial Data. Some Theory for Kriging, Spinger, New York, 247p.
32. Singh, M., Evans, D., Friess, D.A., Tan, B.S., and Nin, C.S. 2015. Mapping Above-Ground Biomass in a Tropical Forest in Cambodia Using Canopy Textures Derived from Google Earth. Remote Sensing, 7(5): 5057-5076.
33. Tuominen, S., Fish, S., and Poso, S. 2003. Combining remote sensing, data from earlier inventories, and geostatistical interpolation in multi-source forest inventory, Canadian Journal of Forest Research, 33: 624- 634.
34. Webster, R., and Oliver, M.A. 2000. Geostatistics for environmental scientists, Wiley press, 271p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 23 (4), 2016
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Mapping tree density of Zagros oak forests using Kriging and Worldview-2 satellite images from Google Earth database

A. Mahdavi¹, *J. Aziz² and R. Akhavan³

¹Associate Prof., Dept., Forest Sciences, University of Ilam, ²M.Sc. Graduated in Forestry, University of Guilan, ³Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Iran
Received: 07/25/2015 ; Accepted: 02/22/2016

Abstract

Background and objectives: Density (i.e. number of trees per hectare) in a forest stand shows status of the stand and its monitoring is important to assess the stand's changes. In addition, understanding about density trees of forest stands is one of the primary proceedings in forest management. In this study for estimation and mapping density trees of Oak Forest used Geostatistics (Variogram modeling and Kriging interpolation) and Worldview-2 satellite images in Google's earth database. Study area was a 450 hectares forest area in Ilam province, southwest of Iran.

Materials and Methods: Field's sampling was performed based on a 100'250meter systematic network inventory using 2500 m² square samples on the Google Earth image. The image used in this study, was received from Google's earth server to high spatial resolution from the Worldview-2 sensors (0.46 meter). The image was geo-referenced using the ground control point (collected with GPS) in the Universal Transverse Mercator (UTM) system. Overall, 180 sample plots were established and measured on the geo-referenced image received from Google's earth server. For validation of density measuring on Google's earth image, 30 sample plots were randomly selected and measured in the field, which result of t-test showed that no significant differences. Experimental variograms for forest stem density was calculated and plotted using the geo-referenced inventory plots. Then deferent theoretical variogram model (Circular, Spherical, Exponential and Gaussian Models) fitted to Experimental variograms for forest stem density and selected best theoretical variogram model for estimation stem density based on good of fitness.

Results: The calculated variogram of stem density showed strong and anisotropic spatial autocorrelation, which best fitted by exponential theoretical model. Estimations were made by ordinary block kriging method (block size 50'50 meter).

*Corresponding author: azizjalal92@gmail.com

Cross-validation results showed that all the estimations are unbiased. Thus, kriging and Worldview-2 images from Google's earth database together have the potential to estimate and map the density trees of this kind of oak forests, accurately. The results of this study show that the Google earth images sampling absence of significant differences with ground sampling, so that the results of this study can decrease the cost sampling and resolve many restrictions of fieldwork.

Conclusion: Consequently, Mapping Density tree using Kriging and Google Earth Images was more efficient for the oak density estimate in the study area. Also according to the results, we suggested that in the other area of Zagros forest is used from Mapping Density tree using Kriging and Google Earth Images to be more results that are reliable.

Keywords: Geostatistics, Mapping, Density, Zagros oak forest, Worldview-2