



توزیع مکانی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی با استفاده از تلفیق تکنیک‌های زمین آماری و سنجش از دور (مطالعه موردی: دشت برم، استان فارس)

راضیه باقری^۱، سیدیوسف عرفانی فرد^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، ایران

۲. دانشیار گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ایران

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۱۳ آبان ۱۳۹۸

پذیرش: ۲ فروردین ۱۳۹۹

دسترسی اینترنتی: ۲۸ فروردین ۱۳۹۹

واژه‌های کلیدی:

بلوط ایرانی

تغییرات مکانی

تصویر ماهواره‌ای RapidEye

زمین‌آمار

نقشه خشکیدگی

چکیده

جنگل‌های زاگرس از جمله مناطق مهم و با ارزش منابع طبیعی ایران هستند که با توجه به خشکیدگی‌های درختان در سال‌های اخیر بررسی، مدیریت و احیای این درختان دارای اهمیت است. هدف از تحقیق، تهیه نقشه پراکنش مکانی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.)، تجزیه و تحلیل و تشریح پراکنش مکانی با استفاده از تلفیق تکنیک زمین‌آمار و سنجش از دور در دشت برم استان فارس است. ابتدا تصویر ماهواره‌ای RapidEye با طبقه‌بندی نظارت‌شده به روش حداکثر احتمال به دو طبقه درختان سالم و خشکیده طبقه‌بندی شد. صحت کلی و ضریب کاپا به ترتیب ۸۰ و ۷۳ درصد به دست آمد. درصد خشکیدگی در قطعه نمونه‌هایی دایره‌ای شکل به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع (با شعاع ۲۵/۲۴ متر) بر اساس شبکه‌ای به ابعاد ۳۰۰ × ۳۰۰ متر با روش منظم-تصادفی جمع‌آوری شد. پس از تهیه نقشه نقطه‌ای، درصد خشکیدگی تصویر طبقه‌بندی‌شده از روش‌های درون‌یابی کریجینگ ساده، معمولی، و عام تعیین شد که با استفاده از سه مدل نمایی، کروی و گوسی ارزیابی شدند. پس از ارزیابی داده‌ها با استفاده از نتایج ارزیابی متقابل، دقیق‌ترین برازش را روش کریجینگ ساده با مدل نمایی نشان داد (میانگین خطای برآورد ۰/۰۲۳). نقشه خشکیدگی در طبقه‌های صفر تا ۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰ و ۴۰ < درصد ترسیم شد. بیشترین سطح خشکیدگی به طبقه ۲۰٪ تا ۳۰٪ با ۴۹۳/۹ هکتار، (۳۶/۳۷٪) و کمترین به طبقه صفر تا ۱۰٪ با ۷۰/۴۶ هکتار (۰/۲۰٪) تعلق داشت. نتایج نشان داد با استفاده از زمین‌آمار و سنجش از دور می‌توان پراکنش مکانی خشکیدگی بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه را در قالب نقشه ارائه داد و کانون خشکیدگی را شناسایی کرد.

*erfanifard@ut.ac.ir: پست الکترونیکی مسئول مکاتبات

مقدمه

بوم‌سازگان‌های طبیعی با ارزش جنگل‌های غرب ایران تنوع زیادی از گونه‌های گیاهی و جانوری دارند. وسیع‌ترین ناحیه رویشی ایران با حدود پنج میلیون هکتار مساحت، که حدوداً معادل ۴۰ درصد از کل جنگل‌های ایران است به جنگل‌های زاگرس تعلق دارد. این ناحیه رویشی که در طبقه جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و یکی از مهم‌ترین منابع تولید آب کشور به شمار می‌رود سالانه ۱۴۵ میلیارد مترمکعب آب در آن تولید می‌شود (۱۲ و ۴۰). همچنین این جنگل‌ها بیشترین تأثیر را در حفظ خاک و حیات‌وحش، تعدیل آب‌وهوا و تعادل اقتصادی- اجتماعی کشور، جلوگیری از سیلاب‌های مخرب، تولید میوه و محصولات جانبی دارند (۱۱، ۱۶ و ۳۱). بنابراین مدیریت جنگل‌های این ناحیه رویشی به- عنوان بوم‌سازگانی حساس و شکننده، نیازمند انجام تحقیقاتی فراگیر به منظور حفظ، احیا، تداوم ثمربخشی و توسعه پایدار این مناطق است. به منظور مدیریت پایدار این جنگل‌ها و به عبارتی اولین اقدام مؤثر در این زمینه، آگاهی از وضعیت موجود منطقه، دسترسی به داده‌های کمی، به‌روز و دارای صحت مناسب است (۲۱، ۲۳ و ۲۹).

متأسفانه با وجود فواید بی‌شماری که این جنگل‌های ارزشمند برای مردمان زاگرس نشین و سایر مناطق کشور به ارمغان داشته‌اند، امروزه شاهد تخریب کمی و کیفی جنگل‌های این ناحیه رویشی هستیم (۹). عامل‌های متعددی باعث خسارت به جنگل‌های زاگرس شده است که منشأ آن‌ها طبیعی و یا دخالت انسان بوده و در برخی مواقع هرکدام می‌تواند زمینه‌ساز دیگری باشد از آنجایی که خشکیدگی بلوط یکی از مشکلاتی است که باعث از بین رفتن بخشی از جنگل‌های زاگرس شده است، در نتیجه مطالعه شناسایی، و پایش مداوم کانون‌های خشکیدگی و دسترسی به نقشه مکانی درصد خشکیدگی برای برنامه‌ریزی جهت مهار آن امری ضروری است.

در حال حاضر یکی از کارآمدترین روش‌های موجود برای تهیه اطلاعات ارزشمند از جنگل‌ها با هزینه کم در

مدت‌زمان کوتاه، استفاده از فنون سنجش‌ازدور است که اخیراً به‌عنوان ابزاری قدرتمند در کنار مطالعات میدانی به کار گرفته می‌شود (۸ و ۳۳). در مطالعات متعددی ثابت شده است که روش‌های سنتی مانند عملیات میدانی، مطالعات متون، تفسیر نقشه و تجزیه و تحلیل داده‌های فرعی، به دلیل وقت‌گیر بودن، بسیار قدیمی و در اکثر اوقات بیش‌ازحد گران می‌باشند، در نتیجه برای تهیه نقشه پوشش گیاهی مؤثر نیستند (۳۴). در صورتی که مطالعات سنجش‌ازدور یک ابزار علمی و مقرون- به‌صرفه در مطالعات پوشش گیاهی است (۲۲ و ۴۵). به‌طورکلی آگاهی از وضعیت تراکم درختی و ویژگی‌های توده‌های جنگلی یکی از نخستین اقدامات در مدیریت جنگل است 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 (۱۹). استفاده از سنجش‌ازدور به دلیل ویژگی‌هایی آن امکان پذیرش تغییرات در سلامتی گیاهان مثل خشکیدگی درختان را فراهم می‌کند. فنون سنجش‌ازدور و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای یکی از روش‌های مفید مطالعه جوامع گیاهی است و بر اساس طیف بازتابی از عوارض موجود در منطقه، گیاهان موجود در سطح زمین، دریافت و تشخیص آن‌ها توسط سنجنده‌های ماهواره‌ای عمل می‌کنند که در تهیه نقشه پوشش گیاهی در پژوهش‌های پیشین مورد تأیید قرار گرفته است (۶، ۱۸، ۳۸ و ۴۱). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در مطالعه بیماری‌های گیاهی به‌کاررفته است (۲۲ و ۲۷). هرچند سنجش‌ازدور در مطالعه خشکیدگی درختان و تهیه نقشه آن دارای محدودیت است زیرا تنها می‌توان با سنجش‌ازدور موقعیت درختان خشکیده و سالم را تهیه کرد و امکان پهنه- بندی درصد خشکیدگی روی تصاویر ماهواره‌ای به‌تنهایی ممکن نیست (۷). درحالی‌که مدیران منابع طبیعی به نقشه‌هایی نیاز دارند که تغییرات درصد خشکیدگی را نشان داده و در شناسایی کانون‌های خشکیدگی برای هرگونه اقدام بعدی به ایشان کمک کند.

یکی از روش‌های تولید نقشه در علوم منابع طبیعی

تأثیرگذاری مستقیم جنگل دشت برم بر تالاب‌های ارژن و پریشان است به نحوی که از بین رفتن جنگل دشت برم، موجب افزایش بیش از پیش مشکلات در این تالاب‌های بین‌المللی می‌شود. در مطالعات انجام شده در مورد خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در ناحیه رویشی زاگرس و درختان بلوط در خارج از کشور (۱، ۶، ۱۱، ۱۸، ۱۹، ۲۱، ۳۸ و ۴۳). از داده‌برداری میدانی استفاده شده است این در حالی است که سنجش از دور می‌تواند وضعیت خشکیدگی درختان را در تمام نقاط، اعم از نقاط غیرقابل دسترس و صعب‌العبور تعیین کند. بنابراین به نظر می‌رسد تلفیق سنجش از دور و زمین‌آمار امکان پهنه‌بندی درصد خشکیدگی درختان و تهیه نقشه مکانی آن را می‌تواند فراهم نماید.

هدف این پژوهش تهیه نقشه پراکنش درختان خشکیده است که می‌تواند برای انجام کارهای اصلاحی و احیایی با زمان و هزینه کم مفید باشد. از آنجایی که تهیه داده‌های مناسب برای مطالعه تغییرات مکانی خشکیدگی درختان در عرصه با صرف هزینه زیاد ممکن است می‌توان داده‌های مورد نیاز را از تصاویر ارسال شده توسط ماهواره‌ها تهیه کرد و سپس با استفاده از روش‌های زمین‌آمار اقدام به تهیه نقشه تراکم درختان خشکیده نمود. بنابراین این مطالعه بر مبنای این فرضیه انجام شد که تلفیق سنجش از دور و زمین‌آمار امکان تهیه نقشه مکانی درصد خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم استان فارس را فراهم می‌آورد. با توجه به فرضیه پژوهش، هدف اصلی این مطالعه پهنه‌بندی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی با استفاده از تصاویر ماهواره RapidEye و فنون زمین‌آمار است. ارزیابی کارایی تصویر ماهواره RapidEye در تعیین موقعیت مکانی درختان خشکیده و تفکیک آن‌ها از درختان سالم و همچنین تعیین مدل بهینه و روش درونیابی مناسب در زمین‌آمار برای برآورد خشکیدگی درختان از اهداف فرعی این پژوهش قرار گرفت. در مقایسه با مطالعات قبلی، بهره‌گیری از تصاویر ماهواره برای جمع‌آوری داده‌ها به منظور پهنه‌بندی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در مطالعه حاضر از جنبه‌های نوآوری آن

استفاده از زمین‌آمار است. به‌طور کلی استفاده از زمین‌آمار ابزاری مناسب برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی و همچنین محاسبه ویژگی‌هایی است که وابستگی مکانی دارند (۴۴). از آنجایی که ایجاد نقشه فقط با آماربرداری صد درصد از منطقه امکان‌پذیر است و نمی‌توان با نمونه‌برداری به نتیجه دلخواه دست یافت بنابراین انتخاب روش مناسب با دقت بالا امری ضروری است (۳). احمدی و همکاران (۱) در راستای تهیه نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی با استفاده از زمین‌آمار نشان دادند که می‌توان تغییرات مکانی، خطای برآورد و احتمال پیش‌بینی خشکیدگی درختان بلوط زاگرس را در قالب نقشه ارائه و کانون خشکیدگی را بررسی کرد. اخوان و همکاران (۴) در منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان، با استفاده از دو روش کریجینگ و وزن دهی معکوس به منظور پهنه‌بندی تراکم و تاج پوشش جنگل بلوط نشان داده شد که می‌توان نقشه توزیع مکانی متغیرهای تراکم و تاج پوشش را با دقتی مناسب تولید کرد. کوهل و گرترنر (۳۲) از زمین‌آمار برای ارزیابی خسارات وارده به جنگل‌های سوئیس استفاده کردند و بیان شد روش زمین‌آمار برای تشریح توزیع مکانی خسارات جنگل بسیار مناسب است. وییرا و همکاران (۴۲) کریجینگ با مدل کروی را مناسب‌ترین مدل برای داده‌های خاک و گیاه معرفی کردند. با توجه به مطالعات پیشین، استفاده از زمین‌آمار در تهیه نقشه خسارات وارد به جنگل مانند خشکیدگی درختان تأیید شده است. هرچند تهیه داده‌های میدانی در قطعات نمونه که برای زمین‌آمار مورد نیاز است مهم‌ترین موضوع در استفاده از فنون زمین‌آمار است. علاوه بر زمان بر بودن اندازه‌گیری‌ها در قطعات نمونه، تعیین موقعیت مکانی دقیق آن‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است زیرا تهیه یک نقشه مطلوب در زمین‌آمار به ثبت دقیق مکان قطعات نمونه وابسته است (۴۴).

یکی از مناطق آسیب‌دیده در ناحیه رویشی زاگرس، دشت برم در استان فارس است که درختان بلوط آن دچار خشکیدگی شده و در معرض نابودی قرار گرفته است. دلیل اصلی لزوم حفاظت از دشت برم قرارگیری بخش گسترده‌ای از این منطقه در ذخیره‌گاه زیست‌کره ارژن و پریشان و

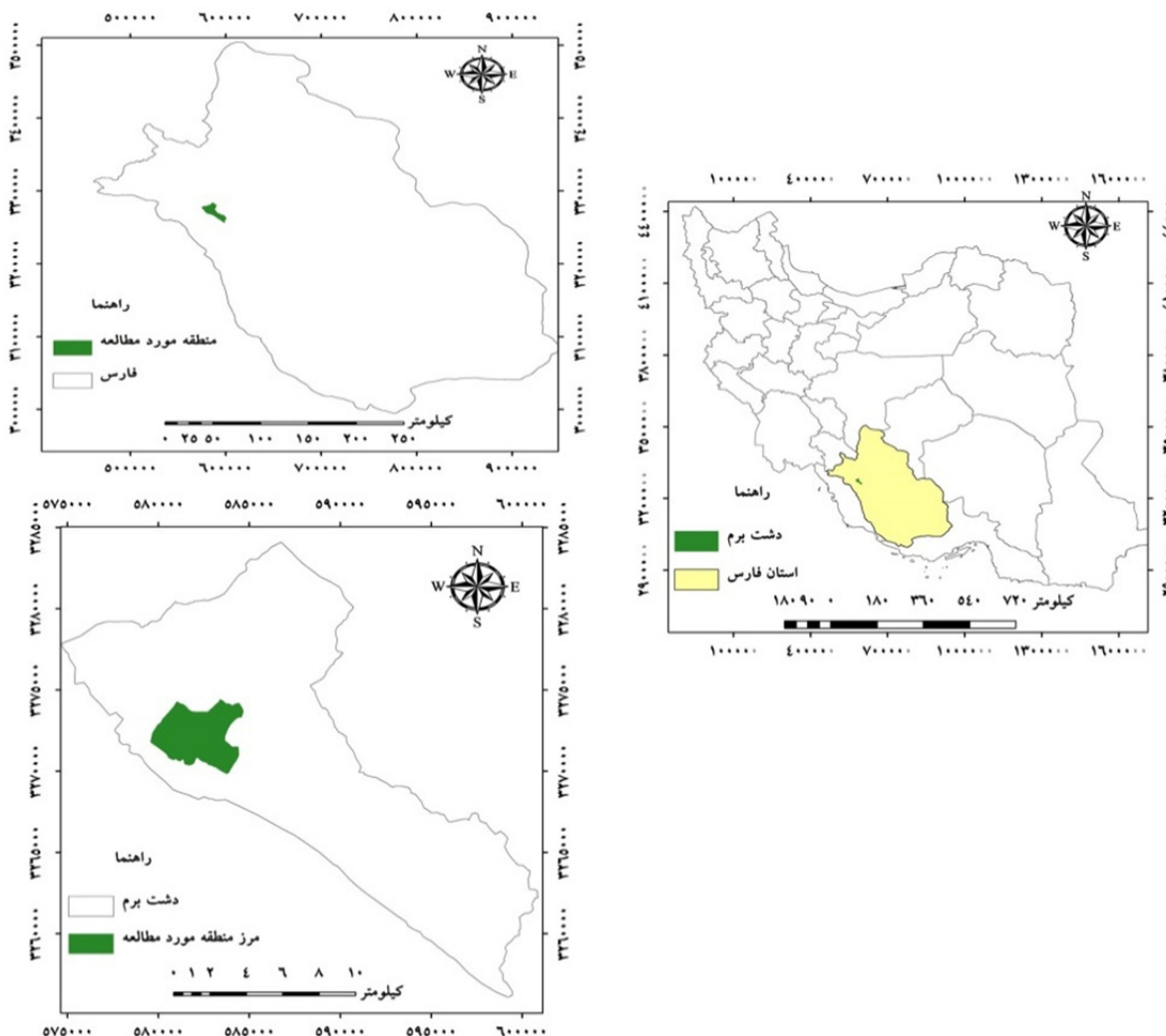
در مقایسه با مطالعات قبلی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد نظر در ۲۰ کیلومتری شمال شرقی شهرستان کازرون و در مسیر کازرون به شیراز با مختصات $18^{\circ} 49' 51''$ تا $52^{\circ} 51'$ طول شرقی و $33^{\circ} 33' 29''$ تا $29^{\circ} 42' 35''$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). کمینه ارتفاع از سطح دریا ۱۱۸۴ متر و بیشینه آن ۱۵۹۵ متر است. کمینه شیب در قطعه نمونه صفر و بیشینه آن ۸۱ درصد است.

بر اساس داده آمار هواشناسی از سال ۱۳۸۴ تا سال ۱۳۹۷ میانگین دما و بارندگی سالانه به ترتیب ۲۴/۶ سانتی‌گراد و ۳۱۷/۹ میلی‌متر است (۱۴). اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک است. منطقه مورد مطالعه دارای مساحت ۱۳۵۸/۳ هکتار است. بیشترین گونه منطقه را بلوط ایرانی (*Quercus brantti*) تشکیل می‌دهد و از آنجایی که بیشترین گزارش خشکیدگی در این محدوده بود مرز منطقه با توجه به نظر کارشناسان اداره منابع طبیعی استان فارس تهیه شد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

تصویر ماهواره‌ای RapidEye

ماهواره‌های RapidEye (متعلق به شرکت آلمانی RapidEye) دارای پنج ماهواره مشابه است، که در تاریخ ۲۹ اوت در سال ۲۰۰۹ میلادی شروع به کار کردند. این تصاویر دارای ۵ باند طیفی (آبی، سبز، قرمز، لبه‌قرمز، مادون‌قرمز نزدیک) است که باند طیفی لبه‌قرمز به منظور بررسی وضعیت سلامت پوشش‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد چراکه باند لبه‌قرمز به تغییرات کلروفیل حساس بوده و بر اساس نتایج به دست آمده این باند می‌تواند در بررسی سلامت پوشش گیاهی، تفکیک گونه، کمک به اندازه‌گیری پروتئین و نیتروژن در زی‌توده مؤثر واقع شود (۳۰ و ۳۹).

آماده‌سازی و پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور تصحیح هرگونه خطای رایج در سیستم تصویربرداری و یا شرایط اتمسفر در هنگام سنجش، پردازش اولیه بر روی داده‌های خام صورت می‌گیرد. با توجه به نوع سنجنده، سکوی حامل سنجنده، چرخش زمین و دیگر عوامل ناخواسته، ممکن است در تصویر ایجاد شده خطای رادیومتریک و ژئومتریک دیده شود (۱۳). پیش از تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی داده‌ها، فرآیند تصحیح هندسی (به روش نزدیک‌ترین همسایه و به صورت تصویر به تصویر با دقت ۰/۵ پیکسل) و رادیومتریک بر روی تصویر اعمال گردید (۳۵).

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

گام اول در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده انتخاب نمونه‌های تعلیمی است که به منظور تهیه نمونه‌های تعلیمی، شناسایی و بررسی درختان خشکیده و سالم عملیات میدانی صورت می‌گیرد. نمونه‌های تصادفی و استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه در جهت انتخاب تک‌درختان بیرون از توده‌های درختی، و پراکنش مناسب نمونه‌ها در تمام سطح منطقه مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اهداف پژوهش،

تصویر مورد نظر با استفاده از باندهای مادون‌قرمز نزدیک و لبه‌قرمز ایجاد شد. بر روی این تصویر با توجه به اطلاعات میدانی فراهم شده از بازدیدهای انجام شده، تعداد ۹۰ نمونه تعلیمی انتخاب شد که ۶۱ نمونه روی تاج درختان خشکیده و ۲۹ نمونه روی تاج درختان سالم قرار گرفت. پس از انتخاب نمونه‌های تعلیمی به منظور طبقه‌بندی تصویر از روش طبقه‌بندی نظارت شده با الگوریتم حداکثر احتمال استفاده شد. با توجه به اهداف پژوهش و سادگی طبقه‌بندی، تصویر در دو طبقه درختان خشکیده و سایر پدیده‌ها طبقه‌بندی شد چراکه کاربرد روش حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای با تعداد طبقات محدود در مطالعات قبلی تأیید شده است (۲۴ و ۳۶). میزان احتمال درستی هر پژوهش با صحت آن سنجیده می‌شود (۱۵). طبقه‌بندی تا زمانی که دقت و صحت آن بررسی نشده کامل نیست (۳۴). به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی انجام شده، به محاسبه صحت کلی، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و ضریب کاپا پرداخته شد که، رابطه ۱ نشان‌دهنده صحت کلی است.

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{\sum_{k=1}^N a_{ik}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N a_{kk} \quad [1]$$

در این رابطه؛ OA صحت کلی، N تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده، $\sum_{k=1}^N a_{kk}$ مجموع پیکسل‌های قطر اصلی ماتریس خطا (تعداد کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده) است. صحت تولیدکننده از رابطه ۲ تعیین گردید.

$$PA = \frac{a_{tt}}{\sum_{i=1}^N a_{ki}} \quad [2]$$

در این رابطه؛ a_{tt} تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده (بر روی قطر اصلی) و $\sum_{i=1}^N a_{ki}$ جمع تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان نمونه آموزشی آن طبقه مورد استفاده قرار گرفته است (جمع ستون). صحت کاربر نیز از رابطه ۳ محاسبه گردید. در این رابطه a_{nn} معرف تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی (بر روی قطر اصلی) و $\sum_{i=1}^N a_{ki}$ تعداد کل پیکسل‌های طبقه مورد نظر است.

متر با روش منظم تصادفی جمع‌آوری شد. سپس با توجه به مساحت تاج درختان خشکیده در هر قطعه‌نمونه و مساحت آن قطعه‌نمونه درصد خشکیدگی محاسبه‌شده و به نقطه‌ای فرضی در مرکز هر قطعه‌نمونه اختصاص داده شد. نتیجه این مرحله یک نقشه نقطه‌ای بود که هر نقطه حاوی اطلاعات مربوط به درصد خشکیدگی است. پس از محاسبه میانگین خشکیدگی درختان در قطعه‌نمونه، به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از نمودار Q-Q Plot، و روند کلی داده‌ها با ابزار Trend analysis، بررسی شد. میزان نیم‌تغییرنا بستگی به فاصله بین مقادیرهای یک متغیر ناحیه‌ای در دونقطه دارد. در صورتی که این مقادیر به جهت نیز وابسته باشد، واریوگرام ناهمسانگرد (Anisotropy) و در غیر این صورت همسانگرد نامیده می‌شود. سپس به منظور تهیه بهترین مدل واریوگرام، ساختار همبستگی مکانی داده‌ها مورد بررسی و بهترین روش درونیابی پس از انتخاب مدل واریوگرام بهینه انتخاب شد (با توجه به داده‌ها هرچه میزان ساختار مکانی بیشتر باشد داده‌های آن قوی‌تر است هم‌چنین هرچه میزان اثر قطعه‌ای به آستانه کمتر باشد داده‌ها دارای همبستگی مکانی قوی‌تری است و آستانه بیشتر نمایانگر خطای بیشتر است. پس بهترین مدل، مدلی است که اثر قطعه‌ای، آستانه و اثر قطعه‌ای به آستانه کمتر، و ساختار مکانی بیشتری داشته باشد). در این پژوهش مدل‌های کروی، گوسی و نمایی استفاده شدند که علت استفاده از این سه مدل از میان مدل‌های متنوع دیگر این بود که این سه مدل بیشترین کاربرد را در مطالعات منابع طبیعی و پوشش گیاهی داشتند (۴، ۱۰ و ۴۴). روش‌های درونیابی کریجینگ ساده (Simple Kriging)، کریجینگ معمولی (Ordinary Kriging)، کریجینگ عام (Universal Kriging) استفاده شد زیرا عمومی‌ترین روش‌های کریجینگ در علوم محیط‌زیست هستند (۲۴ و ۴۲). پس از پهنه‌بندی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی از روش‌های درون‌یابی با استفاده از آماره‌های میانگین خطای برآورد (Mean prediction Error; MPE) جذر میانگین مربعات خطای برآورد (Root-Mean-Square prediction Error; RMSPE) و میانگین خطای معیار کریجینگ (Average Kriging Standard Error;

$$UA = \frac{an}{\sum_{i=1}^N a_{ki}} \quad [۳]$$

سپس ضریب کاپا که توافق شانسی را از صحت کلی نقشه‌های تولیدشده به روش رومی و خودکار حذف می‌کند نیز برای ارزیابی دقیق‌تر صحت نقشه‌های حاصل مورداستفاده قرار گرفت که $Pr(a)$ توافق مشاهده نسبی میان ارزیابی‌ها، $Pr(e)$ احتمال فرضی توافق شانسی است.

$$K = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)} \quad [۴]$$

زمین‌آمار

از آنجایی که بررسی سطح وسیع و گسترده از یک منطقه مشکل و هزینه‌بر است، معمولاً برای چنین مناطقی، قطعه‌نمونه به صورت نقطه انتخاب و سپس با استفاده از توابع خاص، داده‌های آن را به کل منطقه مطالعاتی نسبت می‌دهند. بنابراین زمین‌آمار امکان درونیابی درصد خشکیدگی درختان بلوط را در فضای بین نمونه‌ها فراهم می‌کند و امکان تهیه نقشه خشکیدگی را فراهم می‌آورد. پس از تهیه نقشه مکان درختان خشکیده و تفکیک آن‌ها از درختان سالم، اقدام به نمونه‌برداری روی تصویر طبقه‌بندی شد. با توجه به وسعت منطقه که حدود ۱۳۵۸/۳ هکتار است نیاز به تعداد مناسب قطعه‌نمونه است. که در نهایت با استفاده از رابطه ۵، ۱۵۰ قطعه‌نمونه برای اندازه‌گیری به دست آمد که هر نقطه مرکزی معرف درختان خشکیده از مساحت دایره است.

$$n = \frac{t^2(s\%)^2}{(E\%)^2} \quad [۵]$$

در این رابطه؛ t معادل ۱/۹۶ و اشتباه معیار (S%) معادل ۶۶ و خطای قابل قبول (E%) ۱۰ است.

برای نمونه‌برداری از قطعات نمونه با شکل دایره استفاده شد. شکل دایره به دلیل کمترین سطح و بیشترین فشردگی از میان اشکال هندسی انتخاب شد، که کمترین مرز را نسبت به سایر اشکال هندسی دارا است. مساحت تاج درختان خشکیده در ۱۵۰ قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل به مساحت ۲۰۰۰ مترمربع (با شعاع ۲۵/۲۴ متر) بر اساس شبکه‌ای به ابعاد ۳۰۰ × ۳۰۰

احتمال مطابق شکل ۲ صورت گرفت. به منظور بررسی خشکیدگی، طبقه‌بندی در مرحله اول به سه طبقه درختان سالم، خشک و سایر پدیده‌ها تقسیم شد و در پایان تنها نقاط خشکیده در نقشه تهیه شد که نشان‌دهنده ۲۰۲/۵ هکتار مساحت تاج درختان خشکیده و ۱۴/۹۱ درصد درختان خشکیده در کل منطقه مورد مطالعه با مساحت ۱۳۵۸/۳ هکتار است. ضریب کاپا و صحت کلی (جدول ۱) نشان‌دهنده دقت قابل قبولی در طبقه‌بندی انجام شده در شکل ۲ است. با قرار دادن لایه‌ها و جاده‌ها روی نقشه مکانی درختان خشکیده و تفسیر بصری آن، مشاهده شد که هرچه از جاده به سمت ارتفاعات پیش می‌رویم میزان خشکیدگی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج مربوط به درصد خشکیدگی در ۱۵۰ قطعه نمونه نشان داد حداقل میزان درصد خشکیدگی صفر و حداکثر درصد خشکیدگی ۶۱/۸۸ با میانگین ۱۳/۹۴ و انحراف معیار ۱۲/۷۱ است که ۲۱ پلات بدون خشکیدگی و یک پلات دارای خشکیدگی بیشتر از ۶۰ درصد است.

ارزیابی شدند. در حالتی که برآوردها صحیح باشند و به درستی محاسبه شده باشد باید میزان جذر میانگین مربعات خطای برآورد و میانگین خطای معیار کریجینگ به هم نزدیک باشند (۲۶).

$$MPE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{z(x_i) - \hat{z}(x_i)\} \quad [6]$$

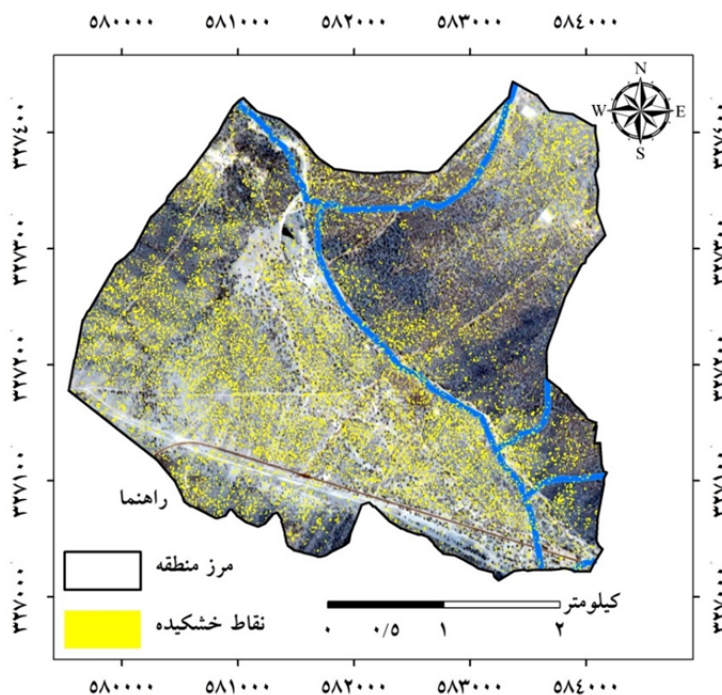
$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \{z(x_i) - \hat{z}(x_i)\}^2} \quad [7]$$

$$AKSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sigma^2(x_i)} \quad [8]$$

در این رابطه‌ها؛ $\hat{z}(x_i)$ مقدار برآوردی متغیر ناحیه‌ای Z در نقطه x_i ، N تعداد نمونه‌ها، $\sigma^2(x_i)$ واریانس کریجینگ در ناحیه x_i متغیر مورد بررسی است.

نتایج

بعد از انجام پردازش‌های لازم بر روی تصویر خام، طبقه‌بندی به روش پیکسل پایه و با استفاده از الگوریتم حداکثر



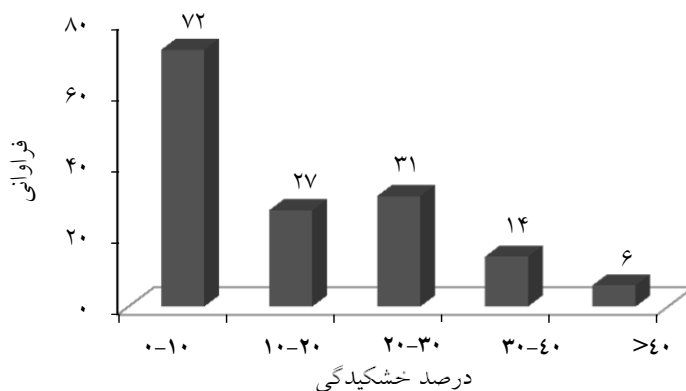
شکل ۲. نقشه پراکنش خشکیدگی درختان با استفاده از طبقه‌بندی حداکثر احتمال بر روی تصاویر RapidEye دشت برم

جدول ۱. نتایج بررسی صحت طبقه‌بندی به روش پیکسل پایه در دوطبقه درختان سالم و خشکیده

| شاخص‌های ارزیابی | درختان خشکیده (%) | درختان سالم (%) |
|---------------------|-------------------|-----------------|
| صحت کلی | ۸۰ | ۸۰ |
| صحت تولیدکننده | ۷۵ | ۸۵ |
| خطای صحت تولیدکننده | ۲۵ | ۱۵ |
| صحت کاربر | ۸۶ | ۷۷ |
| خطای صحت کاربر | ۱۴ | ۲۳ |
| ضریب کاپا | ۷۳ | ۷۳ |

به‌دست آمده بود، تهیه شد. با توجه به شکل ۳ بیشترین فراوانی درصد خشکیدگی در طبقه صفر تا ۱۰ درصد با ۷۲ داده و کمترین فراوانی مربوط به طبقه بیشتر از ۴۰ با ۶ داده است.

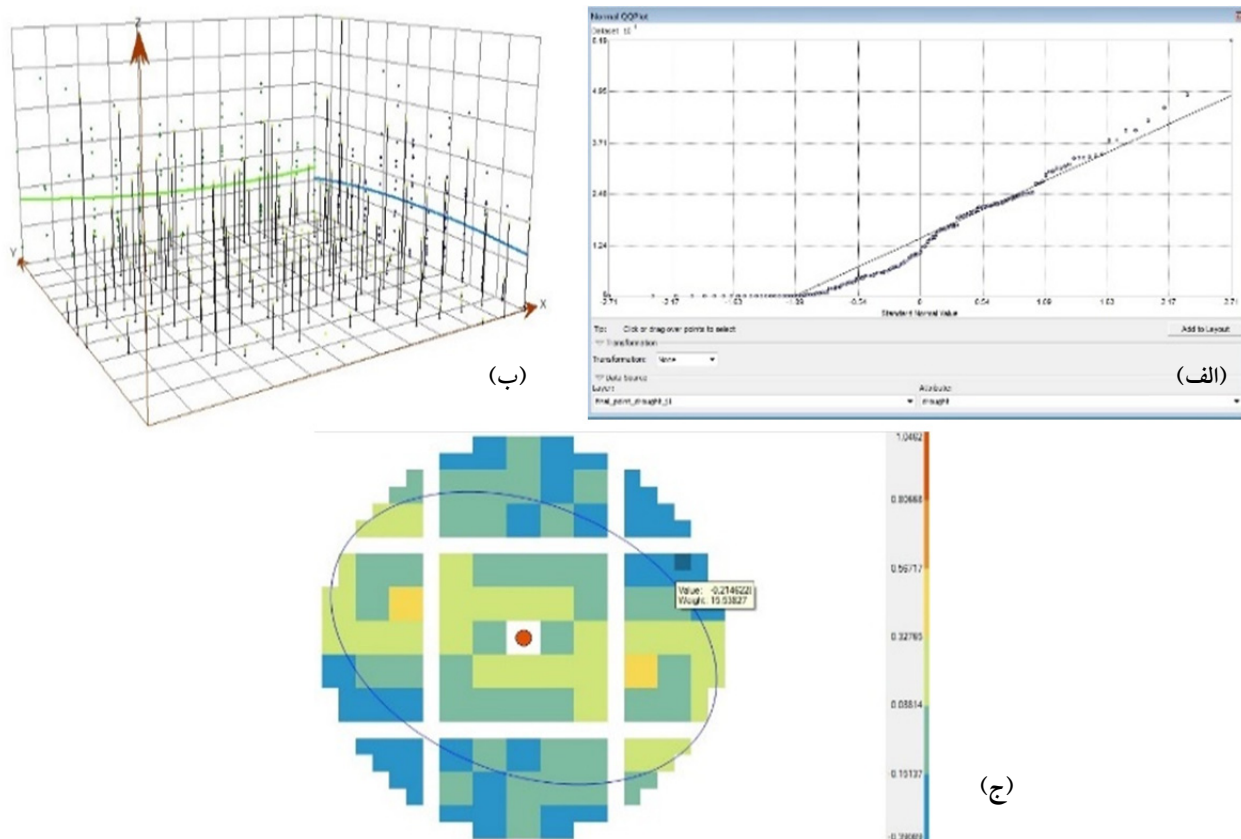
نقشه خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم استان فارس در طبقه‌های صفر تا ۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۴۰، و بیشتر از ۴۰ درصد با توجه به پراکنش خشکیدگی و نقشه تهیه شده با استفاده از مطالعات میدانی که توسط اداره منابع طبیعی



شکل ۳. فراوانی درصد خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه

نمودار شرقی-غربی و شمالی-جنوبی مشاهده شد (شکل ۴-ب). همچنین مشاهده شد که داده‌ها در سمت شمال غربی به جنوب شرقی دارای ناهمسانگردی هندسی هستند (شکل ۴-ج).

نتایج ارزیابی نرمال بودن درصد خشکیدگی با استفاده از نمودار Q-Q Plot نشان داد که نتایج حاصل از نمونه‌برداری روی تصویر طبقه‌بندی شده نرمال بودند زیرا خط تغییرات متغیر در امتداد خط فرضی قرار گرفت (شکل ۴-الف). همچنین عدم وجود روند در داده‌ها با توجه به مسطح بودن



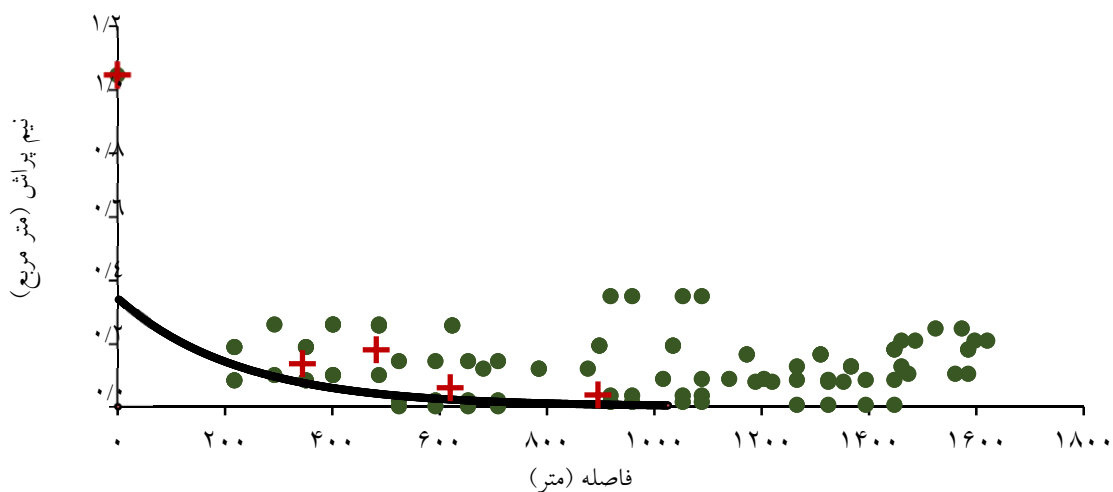
شکل ۴. ارزیابی داده‌ها؛ (الف) نرمال بودن داده‌ها، (ب) بررسی روند و (ج) بررسی همسانگردی

درختان بلوط کاهش می‌یابد (شکل ۵). با توجه به نتایج جدول ۲ بهترین مدل، مدل نمایی و با مقایسه نمودار RMSPE، MPE، AKSE در شکل ۶ مناسب‌ترین روش درونیابی کریجینگ، روش ساده، با کمترین مقدار خطا انتخاب شد که از این مدل و روش برای تهیه نقشه پراکنش مکانی درصد خشکیدگی استفاده شد.

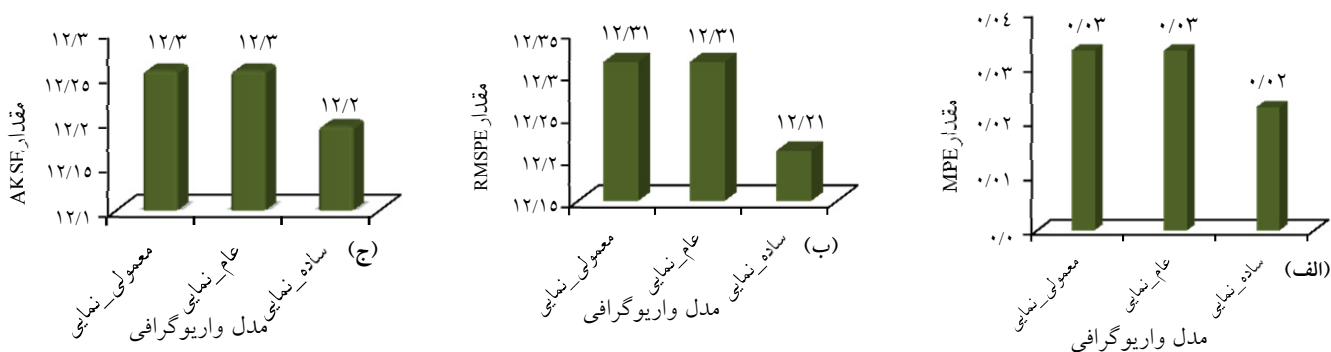
با توجه به نتایج مناسب‌ترین مدل برای محاسبه درصد خشکیدگی مدل نمایی است زیرا دارای کمترین میزان اثر قطعه‌ای، آستانه و اثر قطعه‌ای به آستانه و بیشترین ساختار مکانی در مقایسه با سایر مدل‌ها بود (جدول ۲). همچنین نمودار بهینه واریوگرام نشان می‌دهد که مقادیر درصد خشکیدگی تا فاصله معینی از هم تأثیر می‌پذیرند و با بیشتر شدن فاصله از حدود ۱۱۰۰ متری میزان همبستگی خشکیدگی

جدول ۲. داده‌های مدل‌های واریوگرافی و انواع روش‌های درون‌یابی برای منطقه مورد مطالعه

| واریوگرافی-درون‌یابی | اثر قطعه‌ای (%) | دامنه تأثیر (متر) | آستانه نسبی (%) | آستانه (%) | ساختار مکانی (%) | اثر قطعه‌ای/آستانه (%) |
|----------------------|-----------------|-------------------|-----------------|------------|------------------|------------------------|
| معمولی-کروی | ۱۱۳/۶۸ | ۱۰۷۷/۸۳ | ۴۷/۲۶ | ۱۶۰/۹۴ | ۲۹/۳۷ | ۷۰/۶۴ |
| معمولی-نمایی | ۱۱۸/۲۱ | ۱۵۳۶/۱۹ | ۴۳/۷۴ | ۱۶۵/۴۶ | ۲۷/۱۰ | ۷۱/۴۴ |
| معمولی-گوسی | ۱۲۶/۴۵ | ۱۰۷۷/۸۳ | ۳۵/۷۷ | ۱۷۳/۷۱ | ۲۲/۰۴ | ۷۲/۸۰ |
| عام-کروی | ۱۳۵/۶۸ | ۱۰۷۷/۸۳ | ۴۷/۲۶ | ۱۶۰/۹۴ | ۲۹/۳۶ | ۷۰/۶۴ |
| عام-نمایی | ۱۱۸/۲۱ | ۱۵۳۶/۱۹ | ۴۳/۷۴ | ۱۶۵/۴۶ | ۲۷/۱۰ | ۷۱/۴۴ |
| عام-گوسی | ۱۲۶/۴۵ | ۱۰۷۷/۸۳ | ۳۵/۷۷ | ۱۷۳/۷۱ | ۲۲/۰۵ | ۷۲/۸۰ |
| ساده-کروی | ۰/۷۹ | ۱۱۶۷/۰۷ | ۰/۲۷ | ۴۸/۰۴ | ۲۵/۷۶ | ۱/۶۲ |
| ساده-نمایی | ۰/۷۱ | ۱۱۰۱/۴۷ | ۰/۳۴ | ۴۷/۹۷ | ۳۲/۴۲ | ۱/۴۸ |
| ساده-گوسی | ۰/۸۵ | ۱۰۸۵/۶۵ | ۰/۲۰ | ۴۸/۱۱ | ۱۹/۰۹ | ۱/۷۶ |



شکل ۵. نمودار بهینه واریوگرام (نمایی) خشکیدگی درختان بلوط ایرانی منطقه مورد مطالعه



شکل ۶. تغییرات مدل واریوگرافی و انواع روش‌های درون‌یابی؛ (الف) MPE، (ب) RMSPE و (ج) AKSF

صفر تا ۱۰ درصد و بیشترین مساحت درختان خشکیده مربوط به طبقه ۲۰ تا ۳۰ درصد است.

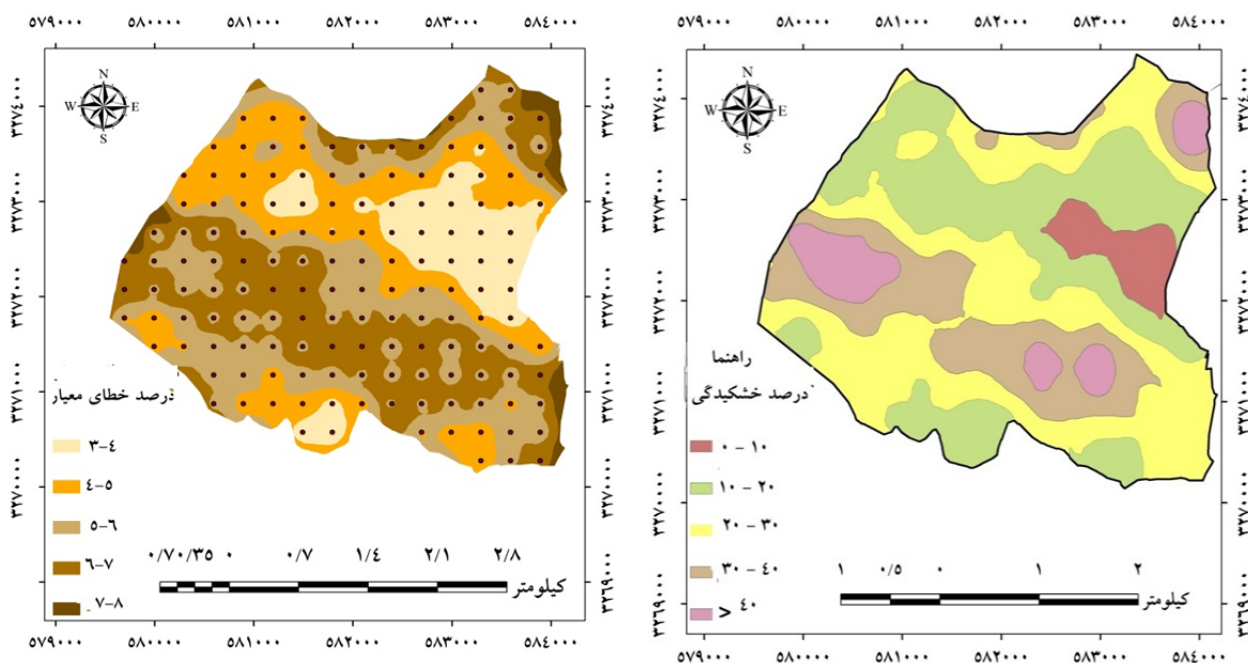
جدول ۳ نتایج کمی حاصل از نقشه پهنه‌بندی را نشان می‌دهد که کمترین میزان درصد خشکیدگی مربوط به طبقه

جدول ۳. نتایج کمی نقشه پهنه‌بندی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم؛ استان فارس

| طبقه خشکیدگی | ۱۰-۰٪ | ۲۰-۱۰٪ | ۳۰-۲۰٪ | ۴۰-۳۰٪ | >۴۰٪ |
|---------------|-------|--------|--------|--------|-------|
| مساحت (هکتار) | ۷۰/۵ | ۴۳۰/۶ | ۴۹۳/۹ | ۲۶۲/۱ | ۱۰۱/۲ |
| مساحت (%) | ۵/۲ | ۳۱/۷ | ۳۶/۴ | ۱۹/۳ | ۷/۴ |

جذر میانگین مربعات خطای برآورد (۱۲/۲۱) و میانگین خطای معیار کریجینگ (۱۲/۲۰) برای درصد خشکیدگی درختان بلوط در منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. شایان‌ذکر است که با توجه به نزدیکی میزان جذر مربعات میانگین خطا و میانگین خطای معیار، به‌درستی میزان درصد خشکیدگی درختان بلوط ایرانی برآورد شده‌اند.

با استفاده از مدل بهینه انتخاب‌شده (نمایی) و روش درون‌یابی بهینه (ساده) نقشه پهنه‌بندی خشکیدگی با استفاده از روش زمین‌آمار شکل (۷-الف) ترسیم شد. در شکل (۷-ب) مشاهده می‌شود که اطراف نقاط نمونه‌برداری شده، میزان خطا کمتر و با دور شدن از این نقاط بر میزان خطا افزوده می‌شود. با استفاده از روش ارزیابی متقابل، صحت برآورد کریجینگ ساده مورد بررسی قرار گرفت و میزان خطای برآورد (۰/۲۳)،



شکل ۷. نقشه پهنه‌بندی درصد خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت برم با استفاده از مدل نمایی و (الف) روش درون‌یابی ساده و نقشه (ب) اشتباه معیار پهنه‌بندی انجام‌شده به روش کریجینگ

بحث و نتیجه گیری

در دهه‌های اخیر جنگل‌های منطقه زاگرس همچون سایر مناطق جنگلی کشور با خطر متعددی از جمله خشک‌سالی، آتش‌سوزی، تغییر کاربری، قطع درختان، چرای بیش‌ازحد دام و به‌ویژه حمله آفات و بیماری‌های گیاهی روبرو بوده‌اند. مجموع این عوامل در نهایت موجب کاهش سطح جنگل‌ها، کم شدن تراکم پوشش گیاهی در عرصه‌های طبیعی، کاهش و یا عدم زادآوری گونه‌های گیاهی مهم و پراکنش نامناسب سنی درختان، از بین رفتن برخی از گونه‌های کمیاب گیاهی و جانوری موجود در جنگل‌ها و محیط‌های طبیعی، فرسایش خاک، عدم ذخیره نزولات جوی و افت سطح آب‌های زیرزمینی و تهی شدن آبخوان و نشست اراضی می‌شود (۳، ۱۱ و ۱۹).

نتایج تفسیر بصری طبقه‌بندی تصویر RapidEye نشان داد که پدیده خشکیدگی در ارتفاعات و اطراف آبراه‌ها کمتر دیده‌شده و با تغییر کاربری مانند ساخت‌وساز و کشاورزی، میزان خشکیدگی افزایش یافته که می‌تواند به دلیل کاهش افت آب زیرزمینی بوده باشد (شکل ۲). در مطالعات انجام‌شده توسط حمزه‌پور و همکاران (۱۱) کاهش بارندگی و تغییرات آب‌وهوایی را عامل تخریب پوشش گیاهی دانسته‌اند و همچنین محمدیاری و همکاران (۱۸) به تأثیر تخریب پوشش گیاهی بر عوامل زیست‌محیطی اشاره کرده‌اند. به‌منظور بررسی شاخص افزایش زی‌توده درختان سرخشکیدگی جنگل بلوط در اطراف دریای مدیترانه طی پژوهشی به این نتیجه رسیدند که مرگ‌ومیر و افزایش زی‌توده در بالای سطح زمین به‌خوبی با بارندگی همبستگی دارد (۳۷). در نتیجه عوامل انسانی، عوامل طبیعی و حشرات نیز می‌توانند از عوامل خشکیدگی این درختان باشند. پس مدیریت صحیح و بهره‌برداری پایدار در هر اکوسیستم مستلزم درک صحیح از منطقه و عوامل محیطی آن است و به دلیل اهمیت و نقش جنگل‌های زاگرس، اطلاعات مفید، کمی و دقیق برای برنامه‌ریزی نیاز است که استفاده از عملیات میدانی پرهزینه و زمان‌بر است و از آنجایی که این جنگل‌ها فاقد درآمد هستند صرف زمان و هزینه زیاد صرفه

اقتصادی ندارد و یافتن روشی مناسب برای تهیه نقشه‌های ویژگی‌های پوشش این منطقه با اندک هزینه و زمان امری ضروری است (۴، ۸، ۲۵ و ۳۴).

باند‌های مادون‌قرمز و لبه‌قرمز به تغییرات محتوای کلروفیل حساس هستند و بر اساس مطالعات به‌دست‌آمده این باندها می‌توانند در نظارت بر سلامت پوشش گیاهی، جداسازی گونه و تشخیص خشکیدگی کمک کنند (۳۰ و ۳۹). نتایج شکل ۲ نشان داد ۱۴/۹۱ درصد از منطقه مورد مطالعه را درختان خشکیده بلوط ایرانی تشکیل می‌دهد. بهترین طبقه‌بندی زمانی است که صحت کلی و ضریب کاپا هر دو بالا باشد که نشان‌دهنده توافقی و همسویی بین طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است. با توجه به صحت کلی و ضریب کاپا و قدرت تفکیک مکانی بالا می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر RapidEye برای این منظور مناسب بوده است (جدول ۲). تفسیر بصری نتایج شکل ۲ نشان داد درختانی که در مسیر آبراه بوده‌اند نسبت به تنش‌های محیطی مقاوم‌ترند و کمتر دچار خشکیدگی شده‌اند. در مطالعه واسر و همکاران (۴۳) در زمینه طبقه‌بندی مرگ‌ومیر گونه درختی زبان‌گنجشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای WorldView-2 با داشتن ۷ طبقه دقت کلی را ۸۳ درصد و برای طبقه‌بندی چهارگانه ۷۳ درصد به دست آوردند که بیان کردند افزایش میزان صحت کلی، دقت بالای طبقه‌بندی را نشان می‌دهد که این صحت کلی بیشتر نسبت به پژوهش پیشرو می‌تواند به دلیل قدرت تفکیک مکانی و نوع تصویر باشد. همچنین در پژوهش انجام‌شده توسط ایمانی‌فر و همکاران (۶) به‌منظور تعیین وسعت و شدت پدیده زوال بلوط در جنگل‌های شهرستان ملکشاهی در استان ایلام با استفاده از تصاویر لندست نشان دادند که زوال دارای الگوی هسته‌ای بوده و از مرکز منطقه مورد مطالعه شروع شده و در طی زمان به دلایل مختلف گسترش یافته است که می‌تواند در نتیجه عوامل محیطی مانند آبراهه، پستی و بلندی و یا حتی تغییر کاربری باشد که می‌تواند با نتایج بصری اشاره‌شده همسو باشد. درحالی‌که احمدی‌ثانی و همکاران (۲) به‌منظور تهیه نقشه تراکم جنگل زاگرس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER نشان دادند

و روش درون‌یابی ساده تهیه شد که می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت و احیای جنگل‌های آسیب‌دیده مفید واقع شود (شکل ۷-الف). همچنین در این نقشه مناطق بحرانی (بیشترین خشکیدگی) و وسعت آن مشخص شده است که می‌تواند اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی را به کارشناسان ارائه دهد (شکل ۷-ب). پژوهش پیشرو نشان داد با استفاده از زمین‌آمار (کریجینگ) و تصاویر ماهواره‌ای می‌توان تغییرات مکانی خشکیدگی درختان را در قالب نقشه ارائه کرد و کانون خشکیدگی را نشان داد و درستی میزان درصد خشکیدگی برآورد شد. این نتایج با نتایج کاویان‌پور و همکاران (۱۷) که کارایی فن‌های آمار مکانی در ارزیابی تغییرات پوشش تاجی را مورد بررسی قرار دادند و بیان کردند بهترین مدل واریوگرام، مدل نمایی و بهترین روش درون‌یابی، روش ساده و معمولی است، هم‌خوانی داشت. در پژوهش انجام‌شده توسط مهدوی و همکاران (۲۰) که به بررسی ساختار مکانی و پهنه‌بندی متغیر تراکم درختی در جنگل‌های بلوط زاگرس پرداخته است وجود ناهمسانگردی را نشان‌دهنده این مطلب می‌دانند که متغیر ناحیه‌ای مورد نظر دارای وابستگی مکانی بیشتری در جهت خاص است که خود باعث می‌شود وزن‌های اعمال‌شده در آن جهت نسبت به جهت‌های دیگر برای محاسبه نقطه نامعلوم در برآورد کریجینگ بیشتر باشد که با مطالب این پژوهش متناسب است. اگرچه بهترین مدل انتخابی آن‌ها مدل نمایی بود ولی مناسب‌ترین روش درون‌یابی را روش معمولی بیان کردند که این تفاوت در انتخاب روش می‌تواند بسته به منطقه و موضوع مورد مطالعه و همچنین روش کار متفاوت باشد. در مطالعه احمدی و همکاران (۱) به‌منظور تهیه نقشه خشکیدگی با استفاده از زمین‌آمار و نمونه‌برداری میدانی در دشت برم استان فارس ساختار مکانی متوسط، بهترین مدل واریوگرافی کروی و روش درون‌یابی کریجینگ معمولی انتخاب شد و بیان کردند عوامل ساختار مکانی بسیار قوی در متغیر خشکیدگی، ممکن است به دلیل عدم همبستگی این متغیر به یک یا تعداد معدودی متغیر مستقل باشد و شاید بتوان گفت که عامل‌های متعددی بر خشکیدگی تأثیرگذار هستند که برهمکنش آن‌ها نیز

که استفاده از اطلاعات طیفی به‌تنهایی نمی‌تواند موجب تفکیک طبقات درختان تنک شود که این تفاوت در نتایج می‌تواند به دلیل تفاوت موقعیت منطقه و انتخاب پوشش‌های تنک و همچنین تفاوت در قدرت تفکیک مکانی باشد چراکه در تصاویر RapidEye و ASTER قدرت تفکیک مکانی به ترتیب پنج و ۳۰ متر است در نتیجه تصاویر RapidEye جزئیات بهتر و دقیق‌تری را نشان خواهد داد. با توجه به نتایج مطالعات قبلی و پژوهش حاضر می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از جمله RapidEye که در مطالعه حاضر استفاده شد به دلیل تهیه باند مادون‌قرمز، لبه‌قرمز می‌تواند برای شناسایی درختان خشکیده مناسب باشد که با انتخاب مناسب‌ترین باندها می‌توان پوشش گیاهی سالم از خشک را به‌درستی تشخیص داد پس می‌توان بیان کرد سنجش‌ازدور یک ابزار علمی و مقرون‌به-صرفه در مطالعات پوشش گیاهی است (۳۳، ۴۱ و ۴۵). پیشنهاد می‌شود با ایجاد قطعات نمونه ثابت و دائم علاوه بر دسترسی به اطلاعات موردنیاز در پایش تغییرات خشکیدگی نسبت به تعیین صحت نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای اقدام نمود.

با ارزیابی داده‌ها به‌وسیله نمودار Q-Qplot توزیع نرمال داده‌ها، و با نمودار روند، عدم وجود روند در داده‌ها مشاهده و بررسی شد (شکل ۴). با توجه به نتایج حاصله متغیر خشکیدگی درختان دارای ساختار مکانی متوسط است که عدم وجود ساختار مکانی بسیار قوی در متغیر خشکیدگی، ممکن است به دلیل شرایط محیطی و همچنین برهم‌کنش متغیرهایی است که ناحیه‌ای نمی‌باشند. مدل نمایی به‌عنوان بهترین مدل واریوگرام با توجه به کمترین میزان اثر قطعه‌ای به آستانه، آستانه و اثر قطعه‌ای، در اعتبارسنجی نقشه‌های ایجادشده انتخاب شد (جدول ۳). شکل ۶ نشان داد که درون‌یابی خشکیدگی با روش کریجینگ ساده، دارای کمترین میزان خطا نسبت به سایر روش‌های درون‌یابی است و در شکل ۵ اشاره شد که فاصله نمونه‌ها می‌تواند تا ۱۱۰۰ متر افزایش یابد که نشان‌دهنده ارتباط متوسط خشکیدگی با تغییرات مکانی است (۱). پس از آن نقشه پراکنش خشکیدگی با استفاده از مدل نمایی

- تأثیرهای متفاوتی بر خشکیدگی دارد و بعضی از این متغیرها یا برهم‌کنش آن‌ها ناحیه‌ای نیستند اگرچه در هر دو پژوهش ساختار مکانی متوسط، و شرایط محیطی متأثر بر آن بیان شد ولی تفاوت در انتخاب مدل و روش درون‌یابی می‌تواند به دلیل تهیه نقشه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در پژوهش حاضر باشد. اخوان و کلاین (۵) در بررسی قابلیت کریجینگ در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل‌کاری‌ها به این نتیجه رسیدند که متغیر تراکم، ساختار مکانی مناسبی نداشته و به‌صورت یک متغیر ناحیه‌ای رفتار نمی‌کند که دلیل آن می‌تواند فواصل کاشت منظم درختان و عدم تغییر نظم پایه‌ها در طول زمان و همچنین روش کار متفاوت باشد. صحت نقشه‌های حاصل از روش‌های مختلف درون‌یابی باید مورد ارزیابی قرار گیرد تا از قابل‌استفاده بودن آن‌ها اطمینان حاصل شود. با مقایسه میانگین خطای استاندارد و جذر میانگین مربعات خطا مشاهده شد که مقادیر آن‌ها به هم نزدیک بوده است، بنابراین می‌توان به صحت برآوردها اشاره کرد (۲۸).
- با توجه به نتایج حاصله می‌توان اظهار کرد که با استفاده از زمین‌آمار (کریجینگ) می‌توان تغییرات مکانی و خطای برآورد خشکیدگی درختان بلوط زاگرس را در قالب نقشه ارائه و کانون خشکیدگی را بررسی کرد در نتیجه فرضیه اولیه تحقیق مبنی بر امکان تهیه نقشه خشکیدگی درختان بلوط ایرانی در دشت‌برم استان فارس با استفاده از تلفیق سنجش‌ازدور و زمین‌آمار، به بیانی دگر استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به‌عنوان ورودی زمین‌آمار در تهیه نقشه خشکیدگی درختان، تأیید شد. پس می‌توان گفت زمین‌آمار مناسب برای تهیه نقشه پراکنش مکانی با دقت مناسب، در جهت مطالعات پدیده جنگلی و خشکیدگی است که می‌توان با بررسی بیشتر عوامل تأثیرگذار بر آن، به‌منظور کارهای احیایی و مدیریتی بازمان و هزینه کمتر مورد استفاده قرار گیرد.
- منابع مورد استفاده**
- احمدی، ش.، ق. ا. زاهدی‌امیری، و م. ر. مروی‌مهاجر. ۱۳۹۵. تهیه نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) با استفاده از روش زمین‌آمار (کریجینگ) در استان فارس. فصلنامه علمی-پژوهشی سنجش‌ازدور، ۱۳(۱): ۱-۱۷.
 - احمدی‌ثانی، ن.، ع. ا. درویش‌صفت، م. زبیری و ع. فرزانه. ۱۳۸۷. بررسی قابلیت تصاویر سنجنده ASTER جهت تهیه نقشه تراکم جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: جنگل‌های مریوان). منابع طبیعی ایران، ۶۱(۴): ۶۰۳-۶۱۴.
 - اخوان، ر.، م. زبیری، ق. زاهدی‌امیری، م. نمیرانیان و د. ماندالاز. ۱۳۸۵. بررسی ساختار مکانی و برآورد موجودی جنگل‌های خزری با استفاده از روش زمین‌آمار (Geostatistics). منابع طبیعی ایران، ۵۹(۱): ۸۹-۱۰۲.
 - اخوان، ر.، م. کرمی‌خرم‌آبادی و ج. سوسنی. ۱۳۹۰. کاربرد روش کریجینگ و IDW در پهنه‌بندی تراکم و تاج‌پوشش جنگل‌های شاخه‌زاد بلوط (مطالعه موردی: منطقه کاکارضای خرم‌آباد لرستان). جنگل ایران، ۳(۴): ۳۰۵-۳۱۶.
 - اخوان، ر. و ک. کلاین. ۱۳۸۸. کارایی کریجینگ در برآورد و نقشه‌سازی موجودی جنگل‌کاری‌ها (مطالعه موردی: جنگل-کاری بششکی رامسر). جنگل و صنوبر ایران، ۱۷(۲): ۳۰۳-۳۱۸.
 - ایمانی‌فر، ص.، م. حسنلو، م. معتق و م. رستم‌نیا. ۱۳۹۵. تعیین وسعت پدیده زوال بلوط در جنگل‌های شهرستان ملکشاهی با استفاده از تصاویر لندست. اولین کنفرانس مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. تهران، دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، ۱۹ صفحه.
 - برازمند، س.، ش. شتایی‌جویباری و الف. عبدی. ۱۳۹۰. بررسی امکان تشخیص سرخشکیدگی تاج درختان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد Quickbird (مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان). جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۴): ۴۶۶-۴۷۷.
 - بشیری، م. ۱۳۹۳. مقدمه‌ای بر سنجش‌ازدور و کاربرد آن در پردازش عوارض طبیعی. اولین همایش ملی فناوری و مدیریت دانش با محوریت اقتصاد مقاومتی، تربت‌حیدریه، دانشگاه تربت‌حیدریه، ۷ صفحه.
 - پوربابایی، ح.، ر. چراغی و س. س. ابراهیمی. ۱۳۹۴. بررسی ساختار و تنوع گونه‌های چوبی در رویشگاه بلوط ایران (*Quercus brantii*) (مطالعه موردی: منطقه دشتک، یاسوج، غرب ایران). تحقیقات جنگل‌های زاگرس، ۲(۱): ۱-۱۷.

درختی بلوط زاگرس به روش کربجینگ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای WorldView-2 برگرفته از پایگاه اطلاعاتی گوگل ارث. پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۲۳(۴): ۸۷-۱۱۰.

۲۱. مهرابی، و. ۱۳۹۴. انتخاب پارامترهای مقیاس در بخش‌بندی تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی RapidEye برای تهیه نقشه خشکیدگی درختان بلوط ایرانی؛ دشت‌برم استان فارس. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دکتر سید رشید فلاح‌شمسی، مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه شیراز، دانشکده کشاورزی بخش مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست). ۱۱۰ صفحه.

۲۲. میرزایی ملاحمد، ر. و م. عسگری. ۱۳۹۵. مروری بر روند تخریب پوشش جنگلی زاگرس با تأکید بر روش‌های آشکارسازی تصاویر به کمک RS و GIS به همراه تعیین عوامل تخریب در شرایط تغییر اقلیم. اولین کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس. ۱۱ صفحه.

۲۳. ناصری، ف.، ع. ا. درویش‌صفت، ه. سبحانی و م. نمیرانیان. ۱۳۸۳. ارزیابی داده‌های لندست برای تهیه نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه‌خشک. منابع طبیعی ایران، ۵۷(۱): ۱۰۹-۱۱۹.

۲۴. نیازی، ی.، م. ر. اختصاصی، ح. ملکی‌نژاد، س. ز. حسینی و ج. مرشدی. ۱۳۹۰. مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه‌مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام). جغرافیا و توسعه، ۲۰: ۱۱۹-۱۳۲.

۲۵. یغمائی‌ان، ن.، اسدی، ح. و ص. رضایی. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی و ارزیابی خطر تخریب اراضی با استفاده از روش مدالوس در حوضه سیاهپوش استان اردبیل. پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، ۲۴(۱): ۱۷۳-۱۸۷.

26. Beon M-S, Cho KH, Kim HO, Oh H-K, Jeong J-C. 2017. Mapping of vegetation using multi-temporal downscaled satellite images of a reclaimed area in Saemangeum, Republic of Korea. Remote Sensing, 9(3): 272. doi:https://doi.org/10.3390/rs9030272.

27. Brodrick P, Asner G. 2017. Remotely sensed predictors of conifer tree mortality during severe drought. Environmental Research Letters, 12(11): 115013.

28. Garcia FM, Gonzalez PV, Rodriguez FL. 2010. Geostatistical analysis and mapping of ground-level ozone in a medium sized urban area. World Academy of Science, Engineering and

۱۰. حسینی‌پاک، ع. ا. ۱۳۹۲. زمین‌آمار (ژئواستاتستیک). چاپ چهارم، تهران، ایران، انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۴ صفحه.

۱۱. حمزه‌پور، م.، ه. کیادلبری و س. ک. بردبار. ۱۳۹۰. بررسی مقدماتی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Q. brantii* Lindl) در دشت‌برم کازرون، استان فارس. جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۲): ۳۵۲-۳۶۳.

۱۲. درویش‌صفت، ع. ا.، ن. میری، ن. ا. ضرغام و ز. شاکری. ۱۳۹۶. برآورد شاخص سطح برگ در جنگل‌های زاگرس با داده‌های ماهواره لندست ۸. جنگل ایران، ۹(۱): ۲۹-۴۲.

۱۳. رسولی، ع. ا. ۱۳۹۳. مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. چاپ اول، تبریز، ایران، انتشارات دانشگاه تبریز، ۷۰۳ صفحه.

۱۴. سازمان هواشناسی. ۱۳۹۷. گزارش‌گیری آمار ماهیانه متوسط دما و بارش استان فارس، شهر کازرون. ۵۸ صفحه.

۱۵. سفینیان، ع. و ل. خداکرامی. ۱۳۹۰. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیر-حوزه آبخیز کبودآهنگ، رزن-قهاوند و خونجین-تلخاب در استان همدان. آمایش سرزمین، ۳(۴): ۹۵-۱۱۴.

۱۶. قربانی، س.، س. م. حجتی، خ. ثاقب‌طالبی و ش. شتابی. ۱۳۹۴. تأثیر تغییر کاربری زمین بر کارکرد اکوهیدرولوژیک تاج پوشش در جنگل بلوط ایرانی، حوضه آبخیز قلعه گل استان لرستان. جنگل و صنوبر ایران، ۲۴(۳): ۳۹۰-۴۰۱.

۱۷. کاویان‌پور، ا. ح.، ا. قربانی و ل. حشمتی. ۱۳۹۳. کاربرد آمار مکانی در ارزیابی تغییرات پوشش تاجی گونه مرتعی غلف گوسفندی. اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۵(۳): ۵۹-۷۰.

۱۸. محمدیاری، ف.، ح. ر. پورخبازی، م. توکلی و ح. اقدر. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های ETM⁺ و OLI مطالعه موردی: شهرستان بهبهان، اولین همایش ملی ارزیابی مدیریت و آمایش محیط-زیستی در ایران، همدان: انجمن ارزیابی محیط‌زیست هگمتانه، مرکز توسعه همایش‌های آریا هگمتان، ۷ صفحه.

۱۹. مرآتی، ا.، طاهری، ع. و پارسا، ن. ۱۳۹۶. پهنه‌بندی کیفی منابع آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار و GIS (مطالعه موردی حوضه آبخیز سلیمان‌شاه). دانش آب‌و‌خاک، ۲۷(۲): ۲۳۷-۲۴۸.

۲۰. مهدوی، ع.، ج. عزیز و ر. آخوان. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی تراکم

- Technology, 4(1): 1244-1255.
29. Gouveia CM, Trigo RM, Beguería S, Vicente-Serrano SM. 2017. Drought impacts on vegetation activity in the Mediterranean region: An assessment using remote sensing data and multi-scale drought indicators. *Global and Planetary Change*, 151: 15-27. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.06.011>.
 30. Kálin U, Lang N, Hug C, Gessler A, Wegner JD. 2019. Defoliation estimation of forest trees from ground-level images. *Remote Sensing of Environment*, 223: 143-153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.12.021>.
 31. Karlson M, Ostwald M. 2016. Remote sensing of vegetation in the Sudano-Sahelian zone: A literature review from 1975 to 2014. *Journal of Arid Environments*, 124: 257-269. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2015.08.022>.
 32. Köhl M, Gertner G. 1997. Geostatistics in evaluating forest damage surveys: considerations on methods for describing spatial distributions. *Forest Ecology and Management*, 95(2): 131-140. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00023-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00023-6).
 33. Lawley V, Lewis M, Clarke K, Ostendorf B. 2016. Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological Indicators*, 60: 1273-1283. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.021>.
 34. Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. 2015. *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, 736 pp.
 35. Malatesta L, Attorre F, Altobelli A, Adeeb A, De Sanctis M, Taleb NM, Scholte PT, Vitale M. 2013. Vegetation mapping from high-resolution satellite images in the heterogeneous arid environments of Socotra Island (Yemen). *Journal of Applied Remote Sensing*, 7(1): 073527. doi:<https://doi.org/10.1117/1.JRS.7.073527>.
 36. Mensah AA, Akoto Sarfo D, Partey ST. 2019. Assessment of vegetation dynamics using remote sensing and GIS: A case of Bosomtwe Range Forest Reserve, Ghana. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2): 145-154. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.004>.
 37. Mirzaei R, Rahimi K, Ghorbani H, HafeziMoghades N. 2015. Evaluating Different Interpolation Methods to Predict Copper and Nickel Concentrations in Surface Soil. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 19(73): 85-97. doi:<https://10.18869/acadpub.jstnar.19.73.85>.
 38. Ogaya R, Barbeta A, Bañou C, Peñuelas J. 2015. Satellite data as indicators of tree biomass growth and forest dieback in a Mediterranean holm oak forest. *Annals of Forest Science*, 72(1): 135-144. doi:<https://10.1007/s13595-014-0408-y>.
 39. Persson M, Lindberg E, Reese H. 2018. Tree species classification with multi-temporal Sentinel-2 data. *Remote Sensing*, 10(11): 1794. doi:<https://doi.org/10.3390/rs10111794>.
 40. Sagheb-Talebi K, Pourhashemi M, Sajedi T. 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Springer, 152 pp.
 41. Thomas N, Hendrix C, Congalton RG. 2003. A comparison of urban mapping methods using high-resolution digital imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(9): 963-972. doi:<https://doi.org/10.14358/PERS.69.9.963>.
 42. Vieira SR, Pierre LH, Grego CR, Siqueira GM, Dafonte JD. 2010. A Geostatistical Analysis of Rubber Tree Growth Characteristics and Soil Physical Attributes. In: Atkinson PM, Lloyd CD (eds) *geoENV VII – Geostatistics for Environmental Applications*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp 255-264. https://doi.org/210.1007/1978-1090-1481-2322-1003_1023.
 43. Waser LT, Küchler M, Jütte K, Stampfer T. 2014. Evaluating the potential of WorldView-2 data to classify tree species and different levels of ash mortality. *Remote Sensing*, 6(5): 4515-4545. doi:<https://doi.org/10.3390/rs6054515>.
 44. Webster R, Oliver MA. 2007. *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons, 330 pp.
 45. Xie Y, Sha Z, Yu M. 2008. Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 9-23. doi:<https://doi.org/10.1093/jpe/rtn005>.



Spatial distribution of Persian Oak decline using a combination of geostatistical techniques and remote sensing (Case study: Barm plain, Fars province)

R. Bagheri¹, S. Y. Erfanfard^{2*}

1. MSc. Student of Desert Management, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Iran

2. Assoc. Prof. Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Faculty of Geography, University of Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received 4 November 2019

Accepted 21 March 2020

Available online 16 April 2020

Keywords:

Persian Oak
Spatial variation
RapidEye image
Geostatistic
Decline map

ABSTRACT

Zagros arid woodlands are among the most important and valuable areas of Iran's natural resources that due to the dieback of trees in recent years, it seems necessary to manage and rehabilitate this vegetation. This research was aimed to study the spatial distribution map dieback of Persian oak trees (*Quercus brantii* Lindl), analyze and describe the spatial distribution using a combination of geostatistical techniques and remote sensing in Barm plain, Fars province. First, the RapidEye satellite image was classified into two categories of healthy and dried trees with the supervised classified algorithm including maximum likelihood. The overall accuracy and Kappa coefficients were 80% and 73%, respectively. The data were then collected in circular sample plots of 2000 m² (with a radius of 25.24 m) based on a 300×300 meter network in a randomized manner. After preparing the point map, the percentage of drying of the classified image was determined by simple, ordinary, and universal Kriging interpolation method, which were evaluated using three models: Exponential, spherical, Gaussian methods. After evaluating the data using the cross-evaluation results, the most accurate fitting was shown by the simple Kriging method with the exponential model (mean estimation error of 0.023). Dieback map was obtained with classes of zero to 10, 10-20, 20-30, 30-40 and more than 40%. The largest area was related to class 20% to 30% with 493.9 ha and the smallest area was for zero to 10%, with 70.46 ha. The present study showed that it is possible to obtain maps of the spatial distribution of Persian oak dieback and recognize the focal points using geostatistical techniques and remote sensing.

* Corresponding author e-mail address: erfanifard@ut.ac.ir