

طبقه‌بندی تصویر ماهواره Worldview2 با استفاده از تکنیک شیء‌پایه به منظور شناسایی آلودگی جنگل‌های زاگرس به گونه نیمه‌انگلی موخور (*Loranthus europaeus*)

بهاره سهرابی سراج^۱، ساسان بابایی کفاکی^{۲*}، هادی کیادلیری^۲ و رضا اخوان^۲

^۱ دکتری جنگلداری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جنگلداری، تهران

^۲ استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جنگلداری، تهران

^۳ دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۵/۲۳)

چکیده

گونه نیمه‌انگلی موخور (*Loranthus europaeus*) از عوامل تهدیدکننده جنگل‌های زاگرس به‌شمار می‌رود و شناسایی عرصه‌های آلوده به آن به‌منظور مدیریت در عرصه‌های جنگلی حائز اهمیت است. منطقه حفاظت‌شده کوه منجل واقع در استان ایلام به‌دلیل حضور چشمگیر موخور با شدت‌های متفاوت و پاک‌سازی نشدن با مساحت ۳۷ هکتار، در رویشگاه زاگرس به‌عنوان نمونه برای بررسی انتخاب شد. به‌منظور طبقه‌بندی موخور، تصویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک مکانی کم Worldview 2 مربوط به اواخر آبان ۱۳۸۹ و پس از خزان بلوط تهیه شد. پس از تصحیحات هندسی و رادیومتری، تصویر با استفاده از شاخص تفاوت گیاهی نرمال شده و آنالیز مؤلفه‌های اصلی در سطح وارث با عدد مقیاس ۲۹ قطعه‌بندی شد. سپس با ۳۱۲ نقطه واقعیت زمینی، الگوریتم‌های K نزدیک‌ترین همسایه (با پارامتر K متفاوت)، ماشین بردار پشتیبان (با پارامتر C متفاوت) و جنگل تصادفی (با تعداد درخت متفاوت) براساس طبقه‌بندی شیء‌پایه و با ۱۸ ویژگی طیفی و شکلی مقایسه شد. صحت کلی K نزدیک‌ترین همسایه ۸۵/۱ درصد، ماشین بردار پشتیبان با صحت کلی ۸۷/۴ درصد و درنهایت جنگل تصادفی با صحت کلی ۹۲/۹ درصد جهت طبقه‌بندی آلودگی جنگل به چهار طبقه سالم، آلودگی کم، متوسط و شدید به‌دست آمد. در بین الگوریتم‌های مقایسه‌شده، جنگل تصادفی با ۱۰۰۰ درخت مناسب‌ترین طبقه‌بندی را برای شناسایی شدت‌های متفاوت آلودگی جنگل ارائه داد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، شناسایی موخور در منطقه زاگرس با تصویر Worldview 2 و تکنیک شیء‌پایه امکان‌پذیر است.

واژه‌های کلیدی: ایلام، جنگل تصادفی، طبقه‌بندی شیء‌پایه، موخور، Worldview 2.

مقدمه و هدف

جنگل‌های زاگرس از مهم‌ترین اکوسیستم‌های ایران است که در سال‌های اخیر تغییر شرایط اکولوژیک و پیامدهای ناشی از آن، در کنار سایر چالش‌های موجود، اکوسیستم جنگلی آن را تحت تأثیر و در معرض تهدید قرار داده است.

پدیده خشکیدگی جنگل‌های بلوط غرب ایران پس از وقوع در برخی استان‌های غربی کشور، به سرعت گسترش یافته و به آسیب دیدن بخش بزرگی از رویشگاه‌های جنگلی بلوط منجر شده است (پورمجتبی و همکاران، ۱۳۹۰). از طرفی تهدید جدی دیگر حضور گونه نیمه‌انگلی موخور است که طی دهه اخیر سبب خشکیدگی سرشاخه‌ها یا در پاره‌ای از مواقع باعث خشکیدگی کل درخت شده است (ناصری و همکاران، ۱۳۸۹)؛ بنابراین پایش این گیاه نیمه‌انگل ضروری به نظر می‌رسد.

گیاه نیمه‌انگلی موخور با نام علمی *Loranthus europaeus* Jacq. راسته *Santalales*، خانواده *Loranthaceae*، جنس *Loranthus* sp. و با نام انگلیسی Yellow Mistletoe است. جنس موخور در سراسر دنیا پراکنش داشته و گونه *Loranthus europaeus* در جنوب شرق و مرکز اروپا و بخش‌هایی از آسیا گسترش دارد (Watson and Dallwitz, 1992). موخور به‌علت داشتن سبزینه، نیمه‌انگلی و خزان‌کننده است. این گونه دارای برگ‌های چرمی، گوشتی و به‌شکل قاشق بوده و میوه آن گرد، زرد و درشت است و در داخل آن بذرهای بسیار چسبناکی قرار دارد (مظفریان، ۱۳۸۷). از جمله پژوهشگرانی که درباره اکولوژی و فنولوژی گونه نیمه‌انگلی موخور بررسی کرده‌اند می‌توان به عزیز و کاووسی (۱۳۸۸)، Kumbasli et al. (2011) و Gebauer et al. (2012) اشاره کرد، همه این تحقیقات حاکی از آسیب‌رسانی این گیاه به میزبان خود است.

از طرفی محققان زیادی با استفاده از فن‌سنجش

از دور به شناسایی، پایش آفات و بیماری‌ها و تعیین سلامت جنگل پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات برازمنند و همکاران (۱۳۹۰) و Gairola and Rocchini (2013) اشاره کرد. استفاده از روش‌های جدید طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای همواره با استقبال محققان عرصه سنجش از دور مواجه بوده است که از جمله آنها می‌توان به ماشین‌های یادگیری برای طبقه‌بندی اشاره داشت (Huang et al. 2006). هدف یادگیری ماشینی این است که الگوریتم بتواند به تدریج و با افزایش داده‌ها بازدهی بیشتری در وظیفه مورد نظر پیدا کند (Dietterich, 1998). همچنین استفاده از تکنیک شیء‌پایه به جای پیکسل پایه به محققان اجازه می‌دهد که از سایر خصوصیات تصویر همچون بافت و شکل بهره بیشتری ببرند (Stumpfa and Kerlea, 2011).

از جمله محققانی که با استفاده از تکنیک شیء‌پایه اقدام به شناسایی درختان در جنگل و تهیه نقشه اراضی کرده‌اند می‌توان به رفیعیان و همکاران (۱۳۹۱) و Rodriguez-Galiano et al. (2012) اشاره کرد. در این تحقیق با توجه به مشخصات گیاه نیمه‌انگلی موخور بر روی پایه میزبان، فرضیه استفاده از تکنیک شیء‌پایه و الگوریتم‌های ماشین یادگیری بررسی شد. از طرفی برای طبقه‌بندی آلودگی در تصویر ماهواره‌ای داده تعلیمی و واقعیت زمینی به چهار طبقه سالم، آلودگی کم، متوسط و زیاد، براساس تعداد پایه موخور و حجم اشغال شده تاج میزبان، برای هر پایه یک نقطه استفاده شد که به کل تاج تعمیم داده شد. بنابراین استفاده از تکنیک پیکسل پایه مناسب به نظر نمی‌رسید. با توجه به مرور منابع، در زمینه شناسایی گیاهان نیمه‌انگلی با استفاده از داده ماهواره‌ای تحقیقی انجام پذیرفته است؛ بنابراین هدف این تحقیق بررسی امکان شناسایی شدت آلودگی جنگل با استفاده از الگوریتم‌های مختلف شیء‌پایه است؛ به گونه‌ای که با معرفی تکنیک مناسب برای طبقه‌بندی آلودگی به‌منظور پایش این گونه

طبیعی انتخاب شد. منطقه تحقیق در رویشگاه زاگرس، شمال شهرستان ایلام و در دامنه شرقی منطقه حفاظت شده کوه منجل واقع شده است (شکل ۱ الف، ب).

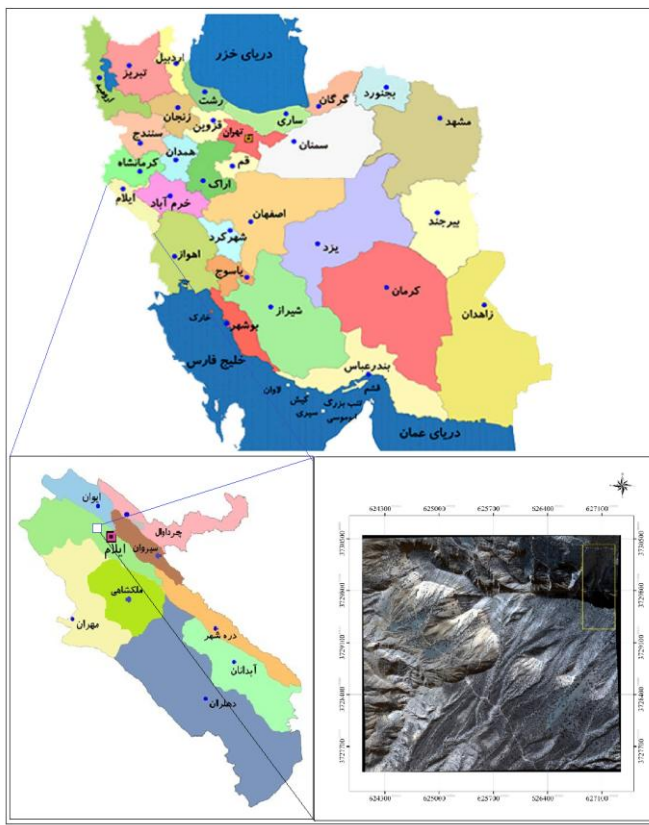
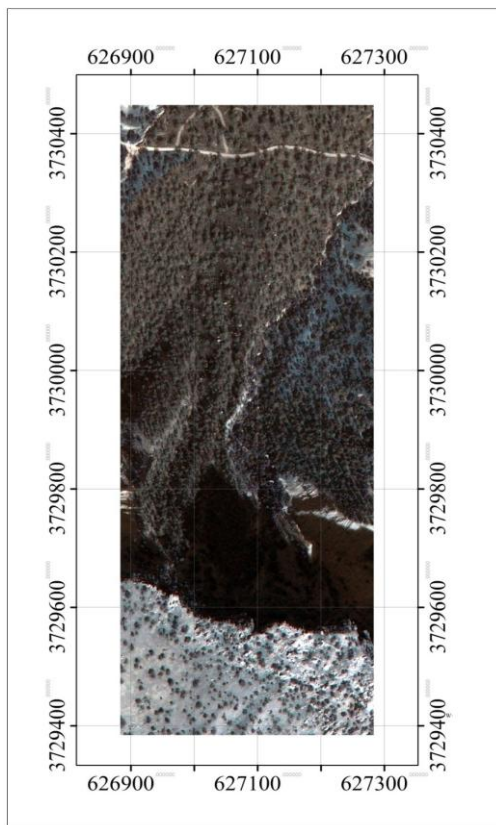
گونه موخور طی دهه های اخیر در منطقه تحقیق حضور داشته است و اغلب با درختان برودار (*Quercus brantii* Lindl.) و سایر درختان پهن برگ همچون بادام (*Amygdalus* sp.)، بنه (*Pistacia* sp.) و افرا (*Acer* sp.) همزیستی دارد (شکل ۲). در سال های اخیر حمله این گیاه به باغ های زراعی در استان های فارس، اصفهان و کرمان نیز گزارش شده است.

نیمه انگلی در سطوح وسیع تر و با هزینه و زمان کمتر بتوان اقدامات حمایتی مناسب در جنگل های مبتلا را برنامه ریزی و اجرا کرد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه

منطقه مورد آماربرداری با مختصات طول جغرافیایی ۳۷۲۹۴۰۸ تا ۳۷۳۰۴۲۸ متر و عرض جغرافیایی ۶۶۶۹۰۳ تا ۶۶۷۲۶۷ متر در سیستم تصویری UTM در زون ۳۸ و ۱۴۲۴ تا ۱۴۹۰ متر ارتفاع از سطح دریاست. این منطقه ۳۷ هکتاری به دلیل حضور گونه نیمه انگلی موخور بر روی درختان میزبان با شدت های متفاوت، توسط اداره منابع



ب

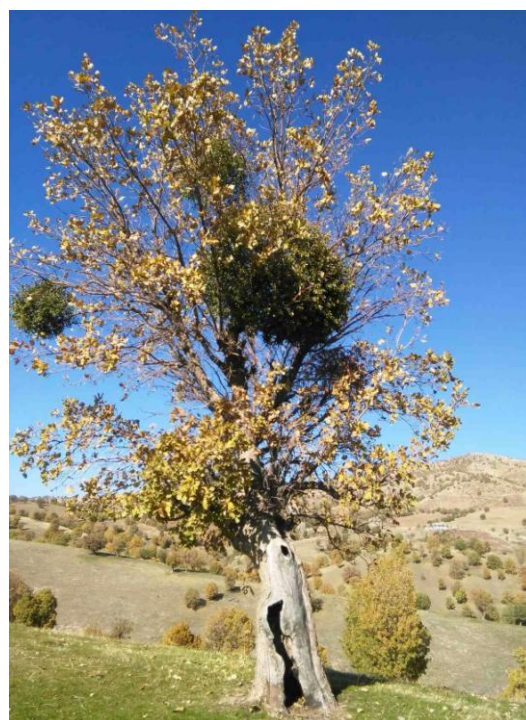
الف

شکل ۱- استان ایلام و فریم تصویر ماهواره ای (الف)، منطقه تحقیق (ب)

از پستی و بلندی^۲ تشدید می‌شود؛ بنابراین تصحیح هندسی ضروری است. در این پژوهش از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ رقومی منطقه به شماره NW ۵۲۵۷۲ برای ایجاد مدل رقومی ارتفاع (DEM)^۳ و انتخاب نقاط کنترل زمینی استفاده شد. با انتخاب ۵۱ نقطه GCP^۴ و استفاده از روش انطباق NCC^۵ و نمونه‌برداری مجدد NN^۶، تصویر پانکروماتیک اورتو با خطای کمتر از یک‌دهم پیکسل ($X=0.11, Y=0.01$) تصحیح شد. سپس از تصویر پانکروماتیک تصحیح‌شده جهت Pansharpenning تصویر چندطیفی استفاده و در نهایت تصویر چندطیفی مشابه تصویر پانکروماتیک با انتخاب ۴۵ نقطه GCP و با خطای کمتر از یک‌دهم پیکسل ($RMS X=0.07, Y=0.12$) تصحیح شد. همچنین تصویر مورد نظر برای بررسی خطاهای رادیومتریکی از نظر وجود خطاهایی مانند خطوط جافتاده، پیکسل‌های جافتاده یا نوارنوارشدگی بازبینی شد.

تهیه مناطق تعلیمی و واقعیت زمینی

پس از پیمایش جنگل در منطقه مورد مطالعه، ۹۶ نقطه مربوط به زمین، جاده و صخره و ۲۴۶ پایه درخت، هر پایه یک نقطه (با توجه به تراکم درختان توده مورد بررسی حدود ۱۰ درصد) به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات به‌صورت تصادفی با استفاده از DGPS^۷ (RTK GNSS مدل GS15) انتخاب شد. در زمینه پوشش گیاهی به‌دلیل اینکه تنها گونه‌های بلوط و موخور در زمان تصویربرداری دارای برگ بودند، به‌عنوان پوشش گیاهی معرفی شدند. از طرفی برای طبقه‌بندی جنگل به چهار طبقه، پایه‌های سالم و آلوده با شدت آلودگی کم (آلودگی بین ۱ تا ۲۵٪)،



شکل ۲- نحوه استقرار موخور بر روی پایه میزبان

تصویر ماهواره‌ای

تصویر استفاده‌شده از ماهواره (Wv 2) Worldveiw 2، با شماره پروژه ۱۴۷۲۴۵، محدوده زون ۳۸ شمالی در سیستم تصویر UTM، با فرمت BSQ، اخذشده در ۱۴ نوامبر ۲۰۱۰ (۲۳ آبان ۱۳۸۹) معادل زمان خزان و تغییر رنگ برگ پایه‌های بلوط به‌عنوان پایه میزبان و درعین حال عدم خزان موخور تهیه شد. از سایر مشخصات این تصویر می‌توان به اندازه تفکیک مکانی پانکروماتیک ۴۶ سانتی‌متر در نقطه نادیر و اندازه تفکیک مکانی تصویر چندباندی ۱/۸۵ متر در نقطه نادیر با هشت باند اشاره کرد که آن را در زمره تصاویر با اندازه تفکیک مکانی کم^۱ قرار می‌دهد.

پیش‌پردازش تصویر ماهواره‌ای

به‌دلیل کوهستانی بودن منطقه و قرار گرفتن آن در حاشیه فریم تصویر اصلی، پدیده جابه‌جایی ناشی

¹ High Resolution (HR)

² Relief Displacement

³ Digital Elevation Model

⁴ Ground Control Point

⁵ Normalized Cross Correlation Matching Method

⁶ Nearest Neighbor Resampling

⁷ Differential Global Positioning System

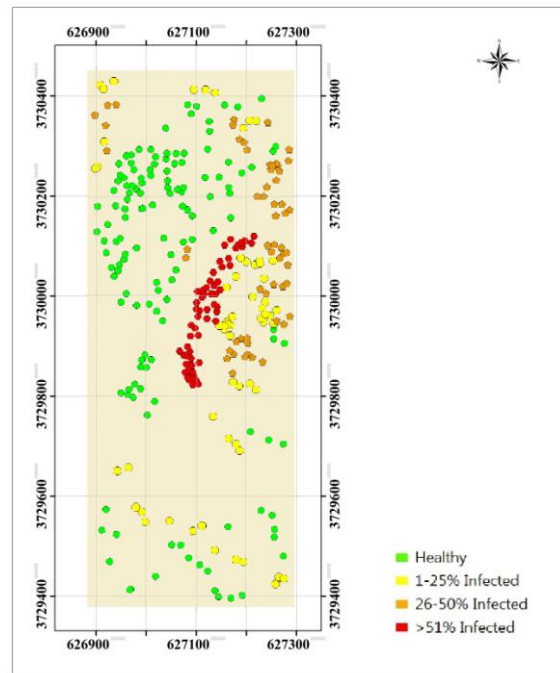
قطعه‌بندی تصویر^۱

طبقه‌بندی شیء پایه از دو مرحله اصلی تشکیل می‌شود؛ مرحله نخست، قطعه‌بندی تصویر است که پیکسل‌ها را به صورت قطعه با هم ادغام می‌کند و سپس طبقه‌بندی بر پایه قطعات (نه تک پیکسل‌ها) انجام می‌گیرد. قطعه‌بندی چندمقیاس^۲ نوعی روش ادغام نواحی است که فرایند ادغام را از یک پیکسل شروع کرده و به صورت پی‌درپی پیکسل‌ها یا قطعه تصویری موجود را ادغام می‌کند (Benz et al. 2004).

معیار ناهمگنی چگونگی همگن بودن یا ناهمگن بودن قطعه را در الگوریتم چندمقیاس بررسی می‌کند. معیار همگنی به عنوان ترکیبی از مشخصات طیفی و شکلی هر دو قطعه کاندید ادغام، اعمال می‌شود. همگنی رنگی بر پایه انحراف معیار رنگ‌های طیفی و همگنی شکلی بر اساس انحراف معیار یک شکل متراکم^۳ یا نرم^۴ است.

یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های الگوریتم چندمقیاس پارامتر مقیاس^۵ است. Dragut et al. (2010) بر اساس تغییرات واریانس محلی^۶ در هنگام ادغام قطعه‌ها و پیکسل‌ها در قطعه‌بندی چندمقیاس روشی را عرضه کردند که با آن می‌توان مقیاس مناسب برای قطعه‌بندی را برآورد کرد. ابزار مورد نظر به عنوان extension همراه نرم‌افزار eCognition تحت عنوان ESP^۷ توسعه داده شده و استفاده می‌شود. اساس این روش این است که اگر ادغام بین دو پیکسل یا قطعه هم‌جنس صورت بگیرد، روند تغییرات واریانس محلی نزولی خواهد بود، ولی در هنگام ادغام دو پیکسل یا قطعه غیرهم‌جنس، واریانس محلی افزایش خواهد داشت. در واقع نرخ تغییرات واریانس محلی که با ROC-LV^۸ نامگذاری

متوسط (آلودگی بین ۲۶ تا ۵۰ درصد) و زیاد (بیشتر از ۵۱ درصد) نیز مشخص شدند. برای ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده نیز مختصات ۳۱۲ پایه درخت (هر پایه درخت یک نقطه) در چهار طبقه جهت واقعیت زمینی به صورت تصادفی با استفاده از DGPS (RTK GNSS مدل GS15) برداشت شد (شکل ۳).



شکل ۳- موقعیت واقعیت زمینی در چهار طبقه پایه سالم، آلودگی کم (آلودگی بین ۱ تا ۲۵ درصد)، متوسط (آلودگی بین ۲۶ تا ۵۰ درصد) و زیاد (بیشتر از ۵۱ درصد)

برای محاسبه مناسب بودن نقاط نمونه تعلیمی از آزمون Jeffries-Matusita, Transformed Divergence استفاده شد. در این آزمون نقاط انتخابی به صورت جفت‌جفت محاسبه می‌شود. اعداد این آزمون بین صفر تا ۲ متغیرند و هرچه به عدد ۲ نزدیک‌تر باشند به معنای مناسب بودن و اعداد کمتر از یک به معنای نامناسب بودن به منظور ورود به فرایند طبقه‌بندی است. در این پژوهش اعداد به دست آمده از ۱/۵ تا ۱/۹ و کمترین تفکیک‌پذیری بین زمین و نقاط سالم و بیشترین تفکیک‌پذیری بین نقاطی با آلودگی زیاد و سالم بوده است.

¹ Segmentation

² Multi-resolution (Multi Scale)

³ Compactness

⁴ Smoothness

⁵ Scale Parameter

⁶ Local Variance

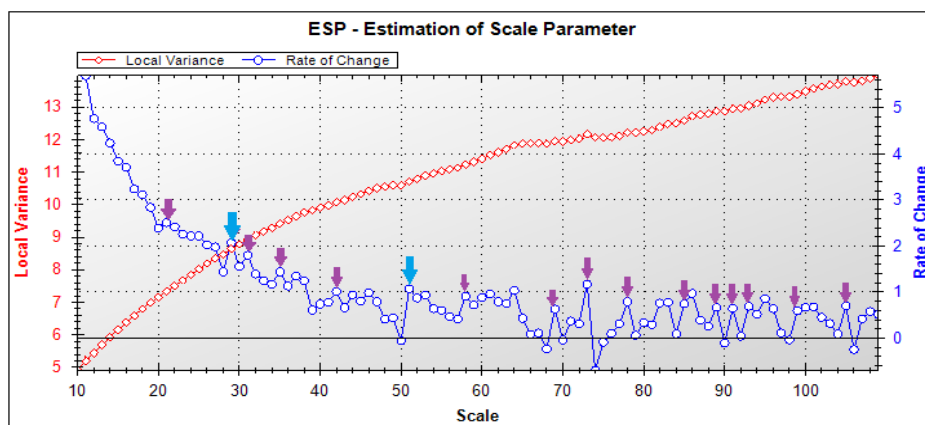
⁷ Estimation of Scale Parameter

⁸ Rate of Change- Local Variance

قطعات سطوح بالاتر^۲ هستند. به این معنا که در تحقیق حاضر مقیاس ۲۹ جهت تشکیل قطعه موخو در تاج درخت میزبان به‌عنوان سطح وارث و مقیاس ۵۱ برای جداسازی تاج درختان و زمین به‌عنوان سطح والد به‌صورت چشمی مناسب تشخیص داده شد (جدول ۱ و شکل ۵). در سطح والد و وارث با استفاده از خصوصیات باندهای ۲ Wv بیشترین وزن‌دهی به باندهای زرد، قرمز، لبه قرمز و مادون قرمز ۱ به‌دلیل تأثیرپذیری بیشتر از پوشش گیاهی و ارائه قطعه‌بندی مناسب‌تر داده شد.

شده، نشان‌دهنده درست یا نادرست بودن ادغام است. در نمودار ذکرشده می‌توان نقاط یا مقیاس‌هایی را که ROC-LV آن در زمان ادغام قطعات کوچک‌تر و تشکیل قطعات در سطح جدید به‌طور ناگهانی افزایش یافته به‌عنوان مقیاس‌های مناسب انتخاب کرد. همان‌گونه که در شکل ۴ نشان داده شده مناسب‌ترین مقیاس‌ها برای قطعات در این مطالعه، ۲۱، ۲۹، ۳۵، ۴۳، ۵۱، ۵۸، ۶۹، ۷۳، ۷۸، ۸۵، ۸۹، ۹۱، ۹۳، ۹۹ و ۱۰۵ بوده است.

در بین مقیاس‌ها، وابستگی سلسله‌مراتبی وجود دارد (Lackner and Conway, 2008). در این سلسله‌مراتب، قطعات کوچک‌تر^۱ همواره محاط در



شکل ۴- پلات ROC-LV برای تعیین عدد مقیاس بهینه در قطعه‌بندی تصویر

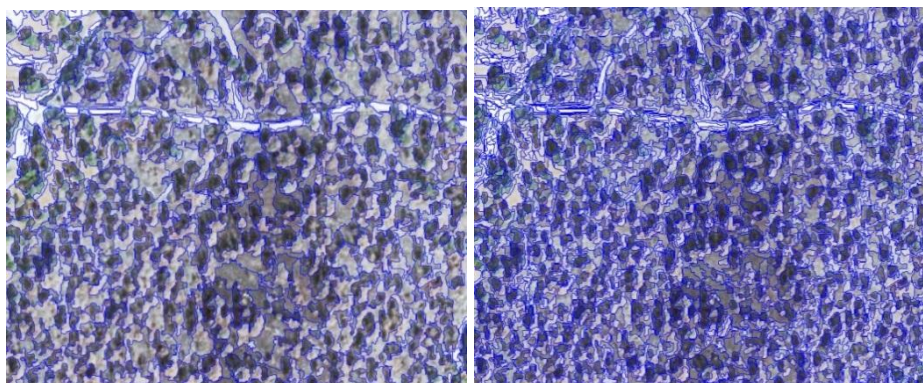
جدول ۱- ضرایب طیفی، شکل و مقیاس برای قطعه‌بندی تصویر در سطح والد و وارث

متغیر	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۶	باند ۷	باند ۸	مقیاس	ضریب شکل	ضریب فشردگی
والد	۰	۱	۱	۲	۳	۲	۳	۱	۵۱	۰/۱	۰/۵
وارث	۰	۱	۱	۳	۴	۳	۴	۱	۲۹	۰/۳	۰/۷

باند ۱: ساحلی، باند ۲: آبی، باند ۳: سبز، باند ۴: زرد، باند ۵: قرمز، باند ۶: لبه قرمز، باند ۷: مادون قرمز ۱، باند ۸: مادون قرمز ۲

^۱ Sublevel and Subobject

^۲ Superlevel and Superobject



والد

وارث

شکل ۵- قطعه‌بندی تصویر در سطح والد و وارث با بزرگنمایی ۵۰۰

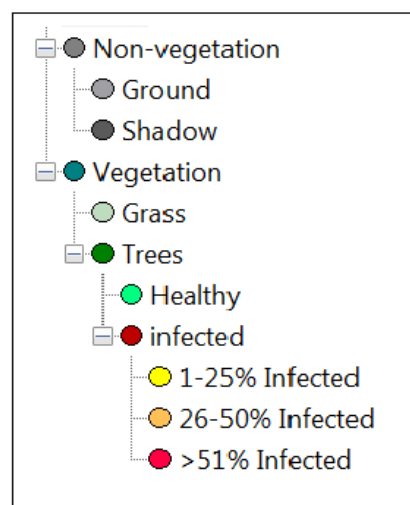
ویژگی‌های استفاده‌شده برای ورود به فرایند

طبقه‌بندی

پس از قطعه‌بندی تصویر و استخراج قطعات در سطوح مختلف می‌توان از ویژگی‌های طیفی، هندسی و بافتی قطعات برای طبقه‌بندی شیء پایه و در الگوریتم‌ها ماشین یادگیری به صورت تدریجی استفاده کرد. شایان ذکر است که برای کاهش محاسبات، از تولید تمام ویژگی‌ها صرف نظر شد و از ویژگی‌های پرکاربرد همچون Mean (متوسط مقادیر طیفی یک باند از مقادیر طیفی پیکسل‌های داخل هر قطعه)، Brightness (متوسط مقادیر طیفی تمام باندها از مقادیر طیفی پیکسل‌های داخل هر قطعه)، Hue Saturation Intensity (HIS) (تبدیل فضای رنگی)، EVI و NDVI (شاخص‌های گیاهی)، Asymmetry (عدم تقارن هر قطعه نسبت به خودش)، Brightness/ Maximum difference (جهت تشخیص پوشش گیاهی و خاک)، Maximum difference (حداکثر اختلاف بین دو زوج باند از ۸ باند اصلی) و Roundness (تقارن هر قطعه نسبت به یک سطح) استفاده شد (Huete *et al.* 2002; Eckert, 2012).

سلسله‌مراتب طبقات^۱

منظور از مدل سلسله‌مراتبی، طراحی سیستمی قانونمند است که تقدم و تأخر در طبقه‌بندی طبقات را به نحوی هدایت کند که کمترین اغتشاش را در نتایج طبقه‌بندی پدید آورد. بدین جهت تشخیص و جداسازی پوشش گیاهی و غیرگیاهی، پایه‌های سالم از آلوده و همچنین پایه‌های آلوده با شدت‌های متفاوت مطابق شکل ۵ به صورت سلسله‌مراتب طبقات تعریف شد. در سطح والد جداسازی قطعات گیاهی از غیرگیاهی و در سطح وارث، تنها طبقه‌بندی تاج درختان انجام پذیرفت.



شکل ۶- سلسله‌مراتب طبقات

^۱ Class Hierarchy

الگوریتم‌های طبقه‌بندی

برای طبقه‌بندی سه الگوریتم، الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه (KNN)^۱، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)^۲ و الگوریتم جنگل تصادفی (RF)^۳ استفاده شد.

الگوریتم K نزدیک‌ترین همسایه (KNN)

روش نزدیک‌ترین همسایه براساس شباهت طیفی قطعه‌های هم‌طبقه پایه‌ریزی می‌شود. نزدیکی قطعه‌ها براساس محاسبه فاصله بین آنها در فضای چندطیفی برآورد می‌شود. در واقع در این نوع طبقه‌بندی، طبقه‌ای را که اکثریت را در بین تعداد مشخصی (K) از قطعه‌های معلوم حول قطعه مورد نظر دارد به قطعه مجهول نسبت می‌دهند. برای تعیین مقدار K به‌طور معمول از پارامتر فاصله استفاده می‌شود. به این ترتیب مشخص می‌شود که حضور کدام طبقه در حول قطعه مجهول قوی‌تر است. در نهایت قطعه به طبقه دارای بیشترین فراوانی متعلق می‌شود. مقدار K که توسط کاربر تعیین می‌شود، بر صحت طبقه‌بندی تأثیر مستقیم دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱).

الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)

ماشین‌های بردار پشتیبان، طبقه‌های مختلف را در تصویر ماهواره‌ای با ابرصفحه دارای بیشترین مرز از هم جدا می‌کنند. منظور از مرز، فاصله ابرصفحه تا نزدیک‌ترین نمونه‌ها در طرفین است. در کاربردهای سنجش از دوری SVM، کرنل RBF^۴ به‌علت عملکرد خوب به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در این کرنل به‌طور مستقیم، دو پارامتر گاما و C باید بررسی شود. پارامتر گاما تأثیر یک داده تعلیمی را نشان می‌دهد. به‌طور معمول اندازه پارامتر گاما معادل $1/K$ و K تعداد

ویژگی‌های مورد استفاده در طبقه‌بندی است. پارامتر C تلاش می‌کند در سطح تصمیم‌گیری اجازه حضور نمونه تعلیمی اشتباه را ندهد (Dibike et al. 2001).

الگوریتم جنگل تصادفی (RF)

الگوریتم جنگل تصادفی، از جدیدترین روش‌های طبقه‌بندی تصویر است که توسط Breiman در سال ۲۰۰۱ و با توسعه روش Bagging ابداع شد (Breiman, 2003). تفاوت اصلی آن با Bagging در انتخاب ویژگی تصادفی است. هنگام ساختن یک درخت تصمیم، جنگل تصادفی در هر گام از انتخاب انشعاب ابتدا مجموعه‌ای از ویژگی‌ها را به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کند. تعداد درخت‌ها باید به‌اندازه کافی باشد تا نرخ خطا پایدار یا ثابت شود (Jin, 2012). جنگل تصادفی به‌دلیل انتخاب زیرمجموعه تصادفی برای تولید هر درخت تصمیم، طبقه‌بندی منعطف‌تری را تهیه می‌کند (Zhou, 2012).

نتایج

از آنجا که هدف این تحقیق شناسایی درختان آلوده از سالم و تعیین شدت آلودگی است، در تمامی الگوریتم‌های استفاده‌شده برای طبقه‌بندی تنها در سطح وارث ارزیابی از طریق جدول خطا انجام گرفت و نیازی به ارزیابی سطح والد یعنی جداسازی زمین از پوشش گیاهی حس نشد. از طرفی از مؤلفه‌های اول و دوم PCA به‌عنوان لایه موضوعی^۵ یا باند فرعی جهت طبقه‌بندی بهتر و NDVI به‌عنوان حد آستانه برای تشخیص زمین و سایه از پوشش گیاهی استفاده شد. برای ارزیابی صحت نقشه طبقه‌بندی تولیدشده، از ۳۱۲ نقطه واقعیت زمینی برای چهار طبقه مختلف سالم، دارای آلودگی کم، متوسط و شدید استفاده شد. در این تحقیق مقدار عدد C، K و تعداد درخت به‌صورت اعداد صحیح مقایسه شدند. اعداد ۱ تا ۵ جهت پارامتر C، اعداد ۱ تا ۴ جهت پارامتر K و اعداد

¹ K Nearest Neighbor

² Support Vector Machine

³ Random Forest

⁴ Radial Basis Function

⁵ Thematic layer

۱۰۰۰ در الگوریتم RF بهترین طبقه‌بندی‌ها را ارائه دادند (جدول ۲).

در جدول ۳، جدول خطا مربوط به الگوریتم RF با تعداد درخت ۱۰۰۰ به عنوان بهترین طبقه‌بندی و در جدول ۴ درصد خطای Omission، خطای Commission، صحت تولیدکننده و کاربر ارائه شده است.

۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ جهت پارامتر تعداد درخت بررسی شدند. در این الگوریتم‌ها انتخاب اعداد تا جایی صورت گرفت که دیگر افزایشی در صحت طبقه‌بندی مشاهده نشد.

در روش KNN بیشترین صحت مربوط به عدد K سه، در روش SVM، مناسب‌ترین طبقه‌بندی مربوط به پارامتر C، دو و در آخر پارامتر تعداد درخت

جدول ۲- صحت کلی و ضریب کاپا در الگوریتم KNN، SVM و RF

الگوریتم	پارامتر	عدد مناسب	صحت کلی	ضریب کاپا
KNN	K	۳	۸۵/۰۶۹۴	۰/۸۰۰۵
SVM	C	۲	۸۷/۳۷۲۰	۰/۸۳۰۵
RF	تعداد درخت	۱۰۰۰	۹۲/۹۲۹۳	۰/۹۰۵۵

صحت کلی: نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده به جمع کل پیکسل‌های معلوم،
ضریب کاپا: صحت طبقه‌بندی نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی

جدول ۳- جدول خطا الگوریتم جنگل تصادفی با تعداد درخت ۱۰۰۰ به درصد

کلاس	سالم	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد	کل
سالم	۹۱/۵۷	۴/۱۷	۱/۳۲	۱/۵۲	۲۷/۲۷
آلودگی کم	۳/۶۱	۹۳/۰۶	۲/۶۳	۳/۰۳	۲۴/۹۲
آلودگی متوسط	۲/۴۱	۲/۷۸	۹۳/۴۲	۱/۵۲	۲۵/۵۹
آلودگی زیاد	۲/۴۱	۰	۲/۶۳	۹۳/۹۴	۲۲/۲۲
کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۴- درصد خطای Omission، خطای Commission، صحت تولیدکننده و کاربر

کلاس	Omission	Commission	صحت تولیدکننده	صحت کاربر
سالم	۸/۴۳	۶/۱۷	۹۱/۵۷	۹۳/۸۳
آلودگی کم	۶/۹۴	۹/۴۶	۹۳/۰۶	۹۰/۵۴
آلودگی متوسط	۶/۵۸	۶/۵۸	۹۳/۴۲	۹۳/۴۲
آلودگی زیاد	۶/۰۶	۶/۰۶	۹۳/۹۴	۹۳/۹۴

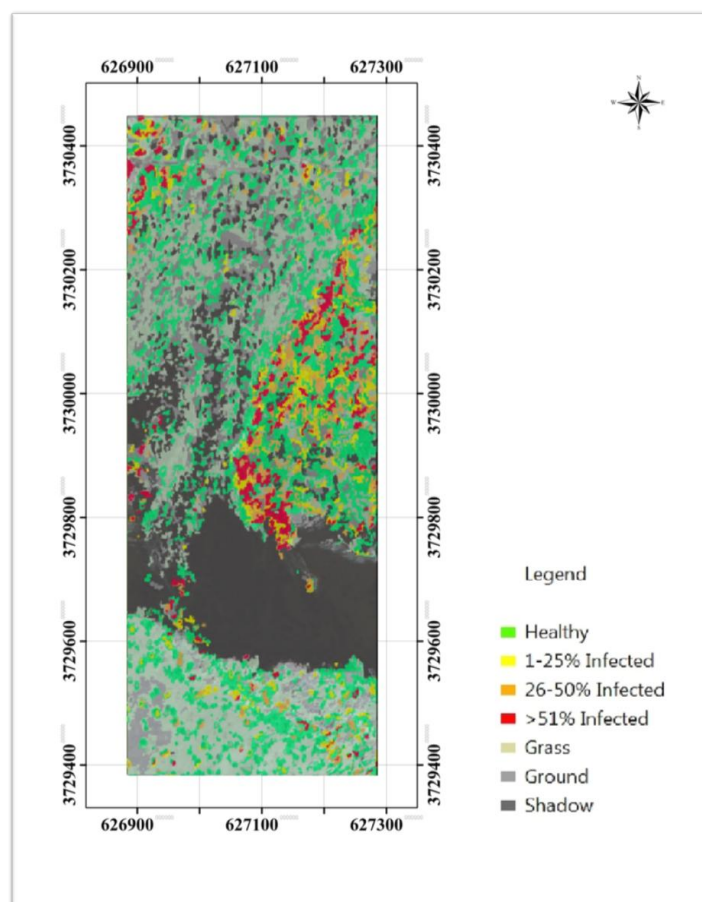
خطای Omission (درصد پیکسل‌هایی که در واقعیت، مربوط به کلاس موردنظر است ولی جزو کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده است)، خطای Commission (درصد پیکسل‌هایی که در واقعیت، مربوط به کلاس موردنظر نیست، ولی جزو آن کلاس طبقه‌بندی شده است)، صحت کاربر^۱ (نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی‌شده به مجموع پیکسل‌های یک کلاس) و صحت تولیدکننده^۲ (صحت طبقه‌بندی پیکسل‌های مربوط به یک کلاس خاص در نقشه واقعیت زمینی).

^۱ User Accuracy

^۲ Producer's Accuracy

شرق، شمال غرب و جنوب شرقی منطقه وجود دارد. همان‌طور که مشخص است بیشترین آلودگی در قسمت‌هایی است که تاج متراکم‌تری دارند.

شکل ۷ طبقه‌بندی مناطق سالم و آلوده را در منطقه تحقیق با استفاده از طبقه‌بندی RF نشان می‌دهد. در این شکل بیشترین آلودگی در قسمت‌های



شکل ۷- نقشه طبقه‌بندی نهایی با الگوریتم جنگل تصادفی و تعداد درخت ۱۰۰۰

بنابراین اطمینان از صحت قطعه ایجاد شده توسط کاربر و به صورت چشمی بسیار مهم است (رفیعیان و همکاران، ۱۳۹۱). قطعه‌بندی هم از نظر هندسی (انطباق دقیق مرز قطعات بر پدیده‌ها) و هم از نظر مفهومی (اختصاص هر قطعه تنها برای یک طبقه) قابل ارزیابی است (Yu *et al.*, 2006). روش‌های مختلف ارزیابی نتایج قطعه‌بندی توسط محققانی همچون Zhang (1996) و Hoover (1996) بررسی شده است، اما اطمینان‌بخش‌ترین روش ارزیابی، تفسیر چشمی است؛ بنابراین نتیجه هیچ نوع قطعه‌بندی

بحث

در این پژوهش تصویر ماهواره‌ای با اندازه تفکیک رادیومتری ۱۱ بیت و اندازه تفکیک مکانی کم پس از Pansharpening به دلیل تفکیک مناسب مکانی همچنین انجام تصحیح هندسی اورتو توانست نتایج دلخواه برای طبقه‌بندی ارائه دهد. جهت طبقه‌بندی تصویر از تکنیک شیء‌پایه استفاده شد. از آنجا که طبقه‌بندی شیء‌پایه بر پایه قطعات حاصل از قطعه‌بندی استوار است، خطای ایجاد شده در این مرحله در مرحله طبقه‌بندی اصلاح نخواهد شد؛

معرفی آنها به صورت تدریجی به الگوریتم‌های ماشین یادگیری صحت طبقه‌بندی را به صورت چشمگیری افزایش داد. با توجه به ویژگی‌های استفاده شده همچون Hue Intensity (HIS), Brightness, Mean Saturation, EVI و NDVI در هر دو سطح والد و وارث، Asymmetry و Brightness/Max.diff در سطح والد و Max.diff و Roundness در سطح وارث استفاده شد (Gong and Sasagawa, 2005; Eckert, 2012). همچنین از دو ویژگی Skewness (چولگی بین باندها) و border index (شاخص مرز قطعات) نیز استفاده شد که به دلیل افزایش ندادن صحت طبقه‌بندی به تدریج از روند طبقه‌بندی حذف شدند.

در این پژوهش در مقایسه بین الگوریتم‌های استفاده‌شده (RF, SVM, KNN) با RF (RF) با صحت ۹۲/۹۲ درصد، صحت بیشتری داشت. در تحقیقات Nitze et al. (2012) در خصوص طبقه‌بندی محصولات کشاورزی با استفاده از الگوریتم‌های درخت تصمیم، ماشین بردار پشتیبان و جنگل تصادفی و Rodriguez-Galiano et al. (2012) طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم بیشترین شباهت و جنگل تصادفی، همانند نتیجه این پژوهش الگوریتم جنگل تصادفی صحت بیشتری دارد که به دلیل انعطاف‌پذیری زیاد این الگوریتم در سطح تصمیم‌گیری است (جدول ۲). با توجه به جدول خطا بیشترین خطا متعلق به قطعات سالم و کمترین خطا در قطعات دارای آلودگی زیاد رخ داده است (جدول ۳) که ممکن است به علت خزان درختان منطقه تحقیق یا تغییر رنگ برگ‌ها به زرد و قطعه‌بندی نادرست تاج میزبان باشد. از طرفی خطای Omission و Commission نیز در قطعات سالم بیشتر بوده و صحت تولیدکننده و کاربر در قطعات دارای آلودگی زیاد بهتر بوده است (جدول ۴) که نشان‌دهنده امکان استفاده از تکنیک شیء‌پایه و الگوریتم RF در تشخیص سطوح آلوده به موخور در

پذیرفته نخواهد بود، مگر اینکه از دید مفسر راضی‌کننده باشد (Baatz and Schape, 1999). ESP در الگوریتم چند مقیاس، امکان شناسایی مناسب مقیاس‌ها در قطعه‌بندی را ارائه داد. همان‌گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است، در بین مناسب‌ترین مقیاس‌ها برای تولید قطعه‌های تصویری به صورت چشمی دو مقیاس ۲۹ و ۵۱ در سطح وارث و والد انتخاب شد و ضرایب طیفی و شکلی با توجه به خصوصیات باندها انتخاب شد. ایجاد سلسله‌مراتب قطعه‌بندی، در تفکیک پدیده‌های مختلف از نظر ابعاد بسیار مهم است و نیز به مفسر امکان می‌دهد که طبقات کوچک‌تر را در محدوده طبقات کلی طبقه‌بندی کند. در این تحقیق سطح وارث برای تشخیص پایه‌های موخور روی تاج درخت میزبان تشکیل شد تا طبقه‌بندی تنها در سطح تاج درختان که در سطح والد از زمین جدا شده بودند انجام پذیرد. از بین باندهای تصویر، باند ۱ به دلیل استفاده در تعیین عمق آب‌ها و تأثیر نداشتن بر پوشش گیاهی وزن صفر و وزن دهی به بقیه باندها با توجه به تأثیرگذاری بر پوشش سبز موخور در زمان تصویربرداری در سطح وارث انتخاب شد. دو پارامتر شکل و فشردگی در تصویر می‌تواند به حفظ لبه‌های هموار کمک کند. از نظر کیفی، چنین قطعاتی بهتر و مفیدتر از قطعات نامنظم و شاخه‌دارند (Benz et al., 2004) به همین علت به دو پارامتر شکل و فشردگی با توجه به کروی بودن پایه موخور و میزان فشردگی برگ‌ها و تأثیر بر طیف سبز، در سطح وارث ضریب بیشتری داده شد (جدول ۱). لایه موضوعی NDVI توانست به‌عنوان آستانه‌سازی مناسب برای جداسازی زمین و سایه از پوشش گیاهی قطعه‌بندی مناسب‌تری ارائه دهد؛ اما مؤلفه‌های اول و دوم PCA در قطعه‌بندی تأثیری ایجاد نکردند. پیش‌فرض استفاده از داده‌های تعلیمی براساس هر نقطه در یک قطعه انتخاب شد تا در مرحله طبقه‌بندی اختلال ایجاد نشود.

انتخاب ویژگی‌های مناسب طیفی و هندسی و

ذاکری انارکی، سارا و سید رشید فلاح‌شمسی، ۱۳۹۲. بررسی امکان تهیه نقشه خشکیدگی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Rapideye و Aster L1B. جنگل ایران، ۵ (۴): ۴۴۳-۴۵۷.

عزیزی، سهیلا و محمدرضا کاووسی، ۱۳۸۸. تأثیر جهت‌های جغرافیایی در شدت آلودگی *Loranthus* sp. و تعیین میزبان‌های آن در جنگل‌های استان ایلام، در: مجموعه مقالات سومین همایش ملی جنگل، ۲۲-۲۴ اردیبهشت، تهران.

فاطمی، سید باقر و یوسف رضایی، ۱۳۹۱. مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، تهران، ۲۶۶ ص.

مظفریان، ولی‌الله، ۱۳۸۷. فلور ایلام، انتشارات اداره کل منابع طبیعی استان ایلام، ۹۳۶ ص.

ناصری، بهروز، فرشید کرمی، فتح‌الله نادری و عماد سلامت، ۱۳۸۹. تعیین میزان آلودگی موخورد در جنگل‌های بلوط میان تنگ استان ایلام، تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۸ (۲): ۱۷۸-۱۸۷.

Baatz, M., and A. Schape, 1999. Object-oriented and multi-scale image analysis in semantic network, in Proc. of 2nd Int. symposium on operationalization of remote sensing, Ensched, ITC, 148-157.

Benz, U.C., P. Hofmann, G. Willhauck, I. Lingenfelder, and M. Heynen, 2004. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information, *Photogrammetry and Remote Sensing*, 58: 239-58.

Breiman, L., 2003. Manual for setting up, using, and understanding random forest, *Remote sensing journal*, 4: 23-41.

Dibike, Y.B., S. Velickov, D.P., Solomatine, and M. Abbott, 2001. Model induction with support vector machines: introduction and applications, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 15(3): 208-216.

Dietterich, T.G., 1998. Approximate Statistical Tests for Comparing Supervised Classification Learning Algorithms, *Neural Computation*, 10 (7), 1895-1923.

جنگل‌های زاگرس است.

اگرچه Heurich *et al.* (2010) توانستند با استفاده از تکنیک شیء‌پایه، شناسایی خشکیدگی درختان بر اثر حمله حشره چوب‌خوار صنوبر (*Ips typographus*) را شناسایی کنند و ذاکری انارکی و فلاح شمسی (۱۳۹۲) با استفاده از تصاویر با اندازه تفکیک مکانی کم، نقشه خشکیدگی درختان بلوط در زاگرس را تهیه کردند، تاکنون هیچ تحقیقی در زمینه شناسایی گیاهان نیمه‌انگلی از طریق تصویر ماهواره‌ای در ایران یا دیگر نقاط جهان صورت نپذیرفته است؛ از این رو نتایج این پژوهش به نوعی منحصر به فرد است؛ بنابراین پیشنهاد می‌شود بر پایه یافته‌های این تحقیق و با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی زیاد در زمان مناسب و همچنین استفاده از داده‌های تعلیمی و واقعیت زمینی نسبت به طبقه‌بندی این گیاه مخرب با استفاده از تکنیک شیء‌پایه و در نتیجه مبارزه با آن در کل منطقه زاگرس یا دیگر جنگل‌های آلوده اقدام شود.

منابع

برازمند، سحر، شعبان شتایی جویباری و امید عبدی، ۱۳۹۰. بررسی امکان تشخیص سر خشکیدگی تاج درختان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی زیاد Quickbird مطالعه موردی: جنگل شصت کلاته گرگان، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹ (۴): ۱۵۹-۱۷۴.

پورمجتبی، حمزه، هادی کیادلیری و سید کاظم بردبار، ۱۳۹۰. بررسی مقدماتی خشکیدگی درختان بلوط ایرانی (*Q. brantii* Lindl) در دشت برم کازرون، استان فارس، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۹ (۲): ۳۵۲-۳۶۳.

رفیعیان، امید، علی اصغر درویش صفت، ساسان بابایی کفاکی و اسدالله متاجی، ۱۳۹۱. تشخیص گونه‌های درختی با تصاویر هوایی رقومی به روش شیء پایه در جنگل‌های شمال ایران (مطالعه موردی: جنگل کاری چمستان نور)، سنجش از دور و GIS ایران، ۴ (۲): ۶۳-۷۳.

- Drăguț, L., D. Tiede, and S.R. Levick, 2010. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data, *International Journal of Geographical Information Science*, 24: 859-71.
- Eckert, S., 2012. Improved Forest Biomass and Carbon Estimations Using Texture Measures from WorldView-2 Satellite Data, *Remote Sensing*, 4: 810-829.
- Gairola, S.S., and D. Rocchini, 2013. High-resolution satellite remote sensing: a new frontier for biodiversity exploration in Indian Himalayan forests, *International Journal of Remote Sensing*, 34(6): 2156-218.
- Gebauer, R., D., Volařík, and J. Urban, 2012. *Quercus pubescens* and its hemipara site *Loranthus europaeus*: nutrient dynamics of leaves and twigs, *Acta Physiologiae Plantarum Journal*, 34(5): 1801-1809.
- Gong, P., and T. Sasagawa, 2005. Integrated shadow removal based on photogrammetry and image analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 26(18): 3911-3929.
- Heurich, M.T., T. Ochs, T. Andresen, and T. Schneider, 2010. Object-orientated image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (*Ips typographus*) outbreak, *Forest Research*, 129:313-324.
- Hoover, A., 1996. An experimental comparison range image segmentation algorithms, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18(7): 673-689.
- Huang, G.B., Q.Y. Zhu, and C.K. Siew, 2006. Extreme Learning Machine: Theory and Applications, *Neurocomputing*, 70 (3): 489-501.
- Huete, K., T. Didan E.P. Miura, X. Rodriguez, L. Gao, and G. Ferreira, 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices, *Remote Sensing of Environment*, 83: 195-213.
- Jin, J., 2012. A Random forest based method for urban land cover classification using LiDAR data and aerial imagery, *Remote Sensing of Environment*, 81: 190-211.
- Kumbasli, M., V. Beskardes, E. Makineci, E. Özdemir, E. Yilmaz, H. Zengin, and O. Sevgi, 2011. Hosts and distribution of yellow mistletoe (*Loranthus europaeus* Jacq. (*Loranthaceae*)) on Northern Strandjas Oak Forests-Turkey, *Scientific Research and Essays*, 6(14): 2970-2975.
- Lackner, M., and T.M. Conway, 2008. Determining land-use information from land cover through an object-oriented classification of IKONOS imagery, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 34 (2): 77-92.
- Nitze, I., U. Schulthess, and H. Asche, 2012. Comparison of machine learning algorithms Random Forest, Artificial Neural Network and Support Vector Machine to Maximum Likelihood for supervised crop type classification, In Proceedings of the 4th GEOBIA, 35-40.
- Rodriguez-Galiano, V.F., B. Ghimire, J. Rogan, M. Chica-Olmo, and J.P. Rigol-Sanchez, 2012. An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification, *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 67: 93-104.
- Stumpf, A., and N. Kerlea, 2011. Object-oriented mapping of landslides using random forests, *Remote Sensing of Environment*, 115(10): 2564-2577.
- Watson, L., and M.J. Dallwitz, 1992. onwards. The families of flowering plants: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval, Version: 8th December, 2015, DDescription Language for TAxonomym, 564pp.
- Yu, Q., P. Gong, N. Clinton, G. Biging, M. Kelly, and D. Schirokauer, 2006. Object-Based detailed vegetation classification with air born high spatial resolution remote sensing imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(7): 799-811
- Zhang, Y., 1996. A Survey on evaluation methods for image segmentation, *Pattern Recognition*, 29(8): 1334-1346.
- Zhou, Z.H., 2012. In Ensemble methods: foundations and algorithms. Chapman and Hall/CRC Press, 236 pp.

Classification of worldview 2 satellite image by using object-based technique to identifying the infection of Zagros forests by *Loranthus europaeus*

B. Sohrabi Saraj¹, S. Babaei Kafaki^{2*}, H. Kiadaliri², and R. Akhavan³

¹Ph.D of forestry, Department of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

²Assistant Prof., Department of Forestry, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran

³Associate research, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I. R. Iran

(Received: 15 January 2016; Accepted: 13 August 2016)

Abstract

Yellow mistletoe (*Loranthus europaeus*) species is a semi-parasitic plant threatening the Zagros forests, hence identification of infectious areas are important for its control and management. For this purpose, a forest patch ca 37 ha with different intensities of yellow mistletoe was selected in Ilam province. In order to classify the yellow mistletoe, worldview 2 satellite image dated November 14, 2010 was used. After radiometric and geometric corrections, the image was segmented by NDVI and PCA as thematic layers with different band weights and 29 scale parameter. Different algorithms such as K Nearest Neighbor (with different K parameter), Support Vector Machine (with different C parameter), and Random Forest (with different number of trees) based on object-based approach with 18 spectral and shape features were then compared by using 312 ground truth points. The overall accuracy for K Nearest Neighbor, Support Vector Machine and Random Forest algorithm were obtained 85.1%, 87.4% and 92.9%, respectively for infection classification into four categories (non, low, medium and severe infections). Random Forest algorithm with 1000 trees was the best one in identifying the various intensities of infections. It is concluded that identification of yellow mistletoe in Zagros by using worldview 2-satellite image and object-based classification is possible.

Keywords: Ilam, *Loranthus europaeus*, Object-based Classification, Random Forest, Worldview 2.

* Corresponding author

Tel: +989123136048

Email: Babaie47@yahoo.com