

## کاربرد منحنی ROC در ارزیابی روش‌های طبقه‌بندی پیکسل - پایه روی تصاویر هوایی UltraCam-D برای تفکیک تاج درختان در توده‌های خالص بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس

سیدیوسف عرفانی‌فرد

استادیار، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

پست الکترونیک: erfanfard@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۲/۰۱

### چکیده

مدیریت پایدار جنگل در زاگرس نیازمند برآورد تراکم تاج پوشش درختان جنگلی است و صحت نقشه‌های مربوط به این ویژگی که از سنجش از دور به دست آمده است، باید با روش‌های مناسب مورد ارزیابی قرار گیرد. این پژوهش با هدف ارزیابی نتایج سه طبقه‌بندی‌کننده پیکسل - پایه روی تصاویر هوایی UltraCam-D برای تفکیک تاج درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس به وسیله منحنی عملیاتی دریافت‌کننده (ROC) انجام شد. یک قطعه نمونه با مساحت ۳۰ هکتار در بخشی از توده‌های خالص بلوط ایرانی این جنگل‌ها انتخاب شد و موقعیت مکانی و محدوده تاج همه درختان آن به طور کامل مساحی شدند. تصویر هوایی UltraCam-D منطقه مورد نظر با استفاده از طبقه‌بندی‌کننده‌های حداکثر احتمال (ML)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و ماشین بردار پشتیبان (SVM) طبقه‌بندی شد. سپس نتایج حاصل از طبقه‌بندی با استفاده از منحنی ROC و شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا و نقشه واقعیت زمینی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیشترین سطح زیر منحنی ROC مربوط به «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده ML بوده است (۰/۸۹۴) و در مقابل، کمترین سطح زیر منحنی مربوط به طبقه‌بندی‌کننده SVM بود (۰/۸۱۹). حساسیت و ویژگی «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده ML (به ترتیب ۰/۹۹۹ و ۰/۹۹۹) بیشتر از دو طبقه‌بندی‌کننده دیگر بود. اگرچه دقت طبقه‌بندی‌کننده SVM در تفکیک «تاج درختان» حداکثر مقدار ممکن بود (۱/۰۰۰)، اما صحت این طبقه در طبقه‌بندی‌کننده ML (۰/۹۹۹) بیشتر بود. به طور کلی این پژوهش نشان داد که منحنی ROC قادر به ارزیابی صحت و دقت روش‌های طبقه‌بندی پیکسل - پایه مورد بررسی روی تصاویر هوایی UltraCam-D به منظور تفکیک «تاج درختان» بوده است.

واژه‌های کلیدی: تاج درختان، زاگرس، طبقه‌بندی‌کننده‌های پیکسل - پایه، منحنی ROC، UltraCam-D.

### مقدمه

تحلیل داده‌های مربوط به بوم‌سازگان جنگل (Colgan *et al.*, 2012; Mathieu *et al.*, 2013) و از جمله جنگل‌های زاگرس (Ahmadi Sani *et al.*, 2008)؛ Parma & Shataee, 2010) در سال‌های اخیر توسعه فراوان یافته به نحوی که امروزه، این فناوری به عنوان یکی از مهمترین

مدیریت و توسعه پایدار در جنگل‌های زاگرس به دنبال حفظ و بهبود تنوع گونه‌ای، ساختار، عملکرد حال و آینده و بازدهی زیست‌شناختی این بوم‌سازگان است. در این راستا، فناوری سنجش از دور به منظور استفاده در جمع‌آوری و

روش‌های جدید و مناسب برای تجزیه و تحلیل آنها ضروری است. یکی از انواع تصاویر هوایی با استفاده از دوربین رقمی UltraCam-D تهیه می‌شود که با توان تفکیک مکانی بسیار زیاد (۰/۰۶ متر در داده تصویر مورد استفاده)، مطالعه دقیق و صحیح روی تک‌درختان زاگرس را ممکن کرده است. لازم به ذکر است که Darvishsefat و همکاران (۲۰۱۰) و Rafieyan و همکاران (۲۰۱۱) از تصاویر هوایی UltraCam-D (UCD) برای تشخیص گونه‌های درختی در جنگلکاری‌ها و طبقه‌بندی تیپ جنگل‌های هیرکانی استفاده نموده و کاربرد روش شی‌مبنا را برای این منظور مورد تایید قرار داده‌اند.

روش‌های طبقه‌بندی در داده‌های سنجش از دور که براساس اطلاعات سلول (پیکسل) عمل می‌کنند و به پیکسل-پایه (Pixel-based) شهرت دارند، بسیار متنوع هستند و در پژوهش‌های پیشین مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند. یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی که در بسیاری از مطالعات گذشته مورد تایید و توصیه قرار گرفته است، روش حداکثر احتمال (Maximum [ML] Likelihood) است. اگرچه این روش برای داده‌های ETM+ (Ahmadpour et al., 2011)، LISS-IV (Abdolahi & Shataee, 2012) و عکس‌های هوایی (Nouredini et al., 2012) به کار رفته و تایید شده، در بررسی پیشینه پژوهش برای تصاویر هوایی UCD تنها در یک پژوهش (Rafieyan et al., 2011) برای تهیه نقشه تیپ جنگل‌های مترکم هیرکانی به‌کار رفته و نتایج قابل قبولی نداشته است. با توجه به این موضوع، ارزیابی کارایی این روش در مطالعه حاضر با هدف شناسایی و تهیه نقشه تاج تک‌درختان در جنگل‌های تنک زاگرس ضروری به نظر می‌رسد. یکی دیگر از روش‌های طبقه‌بندی که در تحلیل داده‌های سنجش از دور بکار رفته است، طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural [ANN] Network) می‌باشد. این روش برای طبقه‌بندی داده‌های IKONOS (Klobucar et al., 2008؛ Teodoro et al., 2010) و Quickbird (Pacifci et al., 2009)،

منابع در تهیه نقشه و پایش این جنگل‌ها در راستای برنامه‌ریزی و اجرای مدیریت پایدار محسوب می‌شود (Franklin, 2001؛ Li et al., 2008). از آنجایی که نیاز به این نقشه‌ها و تکرار پایش تغییرات در این بوم‌سازگان رو به گسترش بوده و کاربرد سنجش از دور در مدیریت پایدار پوشش گیاهی نوین فراتر از جمع‌آوری داده است، این فناوری به سرعت توسعه یافته تا پاسخگوی این نیازها باشد (De Jong & Van Der Meer, 2005).

در راستای این توسعه، افزایش چشم‌گیر توان تفکیک مکانی، زمانی، طیفی و رادیومتری داده‌های تولید شده در سنجش از دور، نیاز به استفاده از روشهای مناسب در استخراج اطلاعات از این داده‌ها را اجتناب‌ناپذیر نموده است. شناسایی و کاربرد روش‌های تجزیه و تحلیل متناسب با نوع داده‌های سنجش از دور به کار رفته، امکان پاسخگویی صحیح و دقیق به پرسش‌های مدیریت پایدار پوشش گیاهی را با هزینه‌ای قابل توجه فراهم می‌آورد (Schowengerdt, 2007؛ Paine & Kiser, 2012). بنابراین یافتن راهکاری برای مقایسه و ارزیابی نتایج حاصل از روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور و انتخاب روش بهینه ضروری به نظر می‌رسد. عکس‌های هوایی به عنوان یکی از قدیمی‌ترین داده‌های سنجش از دور شناخته شده و علاوه بر کاربرد در مطالعات جنگل (Ghanbari & Shataee, 2010؛ Brookhouse et al., 2011) و استفاده به عنوان واقعیت زمینی در برخی مطالعات که از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای استفاده می‌کنند (Moeinazad Tehrani et al., 2008)، در مطالعات جنگل‌های زاگرس نیز به کار رفته است (Erfanifard et al., 2007؛ Amini et al., 2008). از آنجایی که عکس‌های هوایی در گذشته به صورت چاپ شده روی کاغذ تهیه می‌شده که امروز نیز کاربرد دارند، استفاده از روشهای تجزیه و تحلیل دستی برای تفسیر آنها متداول بوده است (Paine & Kiser, 2012). در حالی که امروزه با پیشرفتهای روزافزون فناوری سنجش از دور، عکسهای هوایی به صورت رقمی برداشت می‌شوند و بنابراین، دسترسی به

پژوهشگران علوم (Camps-Valls et al., 2012؛ 2007). سنجش از دور، شاخصی با نام منحنی عملیاتی دریافت کننده (Receiver Operating Characteristic [ROC]) را توسعه دادند که اطلاعاتی به مراتب بیشتر و دقیق تر نسبت به دو شاخص ساده و متداول اشاره شده در مورد صحت نقشه‌های موضوعی ارائه می‌کنند (Jones & Reinke, 2009؛ Camps-Valls et al., 2012). از آنجایی که منحنی ROC در مطالعات معدودی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی پوشش گیاهی با داده‌های سنجش از دور (Alonso & Malpica, 2010؛ Alatorre et al., 2011) به کار رفته است و همچنین، اطلاعات ارزشمندی در مورد صحت نتایج حاصل از یک طبقه‌بندی کننده ارائه می‌کند، ضروری به نظر می‌رسد که کاربرد آن توسعه یابد. بنابراین، این پژوهش با هدف ارزیابی نتایج سه طبقه‌بندی کننده پیکسل-پایه ML، ANN و SVM روی تصاویر هوایی UCD برای تفکیک تاج درختان بلوط ایرانی در توده‌های خالص جنگل‌های زاگرس با استفاده از منحنی ROC انجام گرفت. همچنین مقایسه اطلاعات ارائه شده با این شاخص و شاخص‌های رایج از اهداف دیگر این مطالعه بوده است.

### مواد و روشها

#### منطقه مورد مطالعه

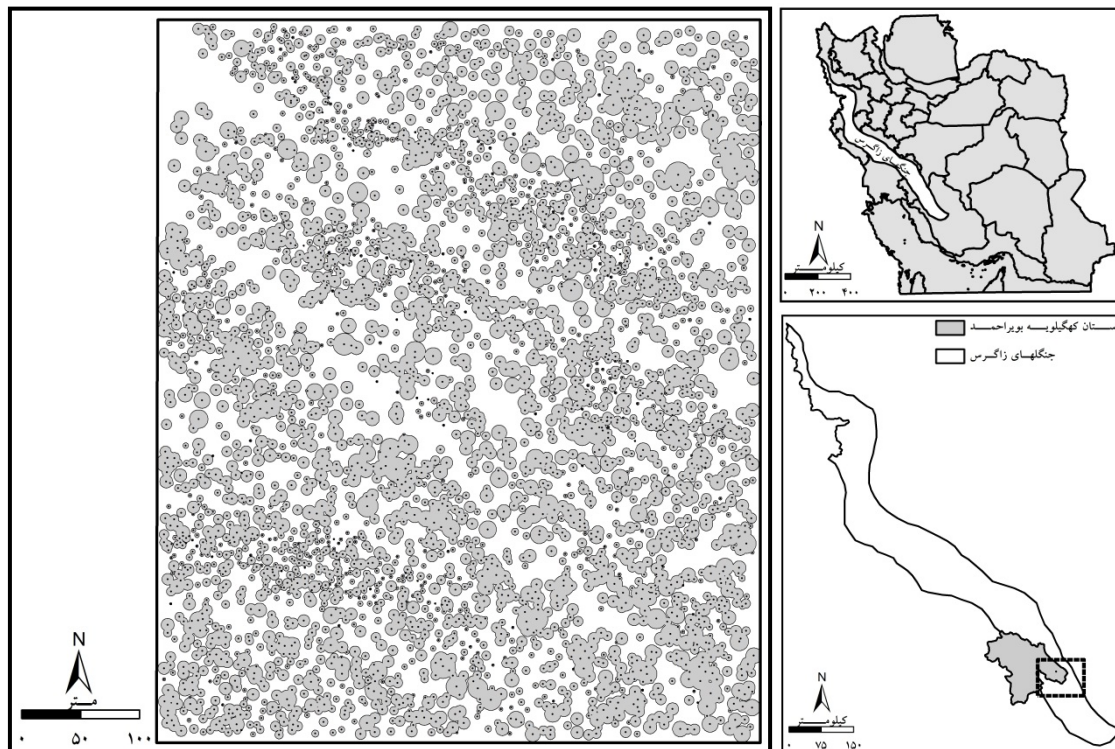
برای انجام این پژوهش بخشی از توده‌های خالص بلوط ایرانی (*Quercus brantii* var. *persica*) به عنوان مهمترین گونه جنگل‌های زاگرس در استان کهگیلویه بویراحمد در نزدیکی شهرستان یاسوج انتخاب شد (شکل ۱). این محدوده تنها پوشیده از درختان شاخه‌زاد بلوط ایرانی است که به صورت خالص پراکنده شده‌اند. بر اساس منحنی آمپروترمیک ایستگاه یاسوج، حدود ۸۲ درصد بارندگی در نیمه دوم سال اتفاق می‌افتد. ارتفاع منطقه از سطح دریا حدود ۱۸۸۰ متر، متوسط بارندگی سالیانه حدود ۵۰۰ میلی‌متر، میانگین دمای سالیانه ۲۴/۶ درجه سانتی‌گراد و طول مدت خشکی پنج ماه در سال است (Jazirehi & Ebrahimi Rostaghi, 2003). بخشی از این شاخه‌زادها با

(Alatorre et al., 2011) ETM+، (Dobrev & Klein, 2011) و سایر داده‌های ماهواره‌ای به کار رفته است ولی در بررسی مطالعات پیشین، تاکنون از این روش در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور هوایی استفاده نشده است. سومین الگوریتم پرکاربرد طبقه‌بندی پیکسل-پایه که با توجه به قابلیت آن در صحت طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور توسعه فراوان یافته، روش ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine [SVM]) است. اگرچه از این روش نیز در طبقه‌بندی تصاویر هوایی UCD استفاده نشده، اما به طور گسترده در پژوهش‌هایی با داده‌های سنجش از دور مختلف مانند DAISEX (Camps-Valls et al., 2004) LiDAR، (Vaughn et al., 2012) و ALOS (Negri et al., 2014) به کار رفته و مورد تایید قرار گرفته است.

از آنجایی که هر کدام از این روش‌ها قابلیت‌های برجسته‌ای در طبقه‌بندی داشته و در مطالعات پیشین برای داده‌های ماهواره‌ای توصیه شده‌اند، کاربرد آنها روی تصاویر هوایی UCD ضروری به نظر می‌رسد تا روش طبقه‌بندی مناسب برای این داده‌ها در ناحیه رویشی زاگرس شناسایی شود. در مدیریت پایدار ناحیه رویشی ارزشمند زاگرس نیاز به نقشه‌هایی است که با صحت معلوم از داده‌های سنجش از دور تولید شده باشند. در صورت آگاهی از صحت نقشه‌های تولید شده، کاربر می‌تواند میزان موفقیت برنامه‌ریزی انجام شده براساس نقشه‌های یادشده را برآورد نماید. تا به امروز در بیشتر مطالعات انجام شده از دو شاخص «صحت کلی» و «ضریب کاپا» مبتنی بر جدول خطا برای ارزیابی صحت نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور استفاده می‌شده است (Rafieyan et al., 2011؛ Vaughn et al., 2012). با توجه به نیاز روزافزون به کسب اطلاعات جامع در مورد صحت نقشه‌های تولید شده، استفاده از این دو شاخص به تنهایی پاسخگوی نیاز کاربران نقشه‌های موضوعی نیست. علاوه بر این، دو شاخص یاد شده حتی در کنار صحت تولیدکننده و کاربر اطلاعات کافی در مورد نتایج طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور ارائه نمی‌کند (Chen,

شده تهیه شده که در این پژوهش به عنوان نقشه واقعیت زمینی در نظر گرفته شد (شکل ۱). لازم به ذکر است که دقت موقعیت مکانی نقشه این درختان با استفاده از سامانه موقعیت یاب جهانی تفاضلی (Differential Global Positioning System: DGPS) مدل Leica Viva GS10 در این پژوهش دوباره مورد ارزیابی قرار گرفت.

مساحت ۳۰ هکتار (۵۰۰ × ۶۰۰ متر) که در گذشته نقشه درختان آن تهیه شده بود، برای این پژوهش به کار رفت. برای تهیه نقشه درختان، از روش میدانی فاصله آزیموت برای تعیین موقعیت مکانی درختان استفاده شده و مساحت تاج هر یک از آنها در عرصه اندازه‌گیری شده است. سپس با استفاده از سامانه اطلاعات مکانی، نقشه نهایی درختان یاد



شکل ۱- نقشه درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه در استان کهگیلویه و بویراحمد، جنگلهای زاگرس و ایران

### تصاویر هوایی UCD

می‌کند (Darvishsefat et al., 2010; Paine & Kiser, 2012). با توجه به زاویه دید (IFOV) کوچک دوربین UCD و ارتفاع پرواز نزدیک به ۷۰۰ متر، مساحت محدود تحت پوشش در هر تصویر حدود ۷۵ هکتار می‌باشد. با وجود جابجایی در این داده‌ها، مقدار آن با توجه به زاویه دید کلی و ارتفاع پرواز هواپیما، کمتر از عکس‌های هوایی معمولی بوده و امکان اندازه‌گیری مساحت با استفاده از تصویر عمودی تاج با حداقل جابجایی فراهم گردید. تصویر UCD مورد استفاده در این

این تصاویر دارای توان تفکیک مکانی بسیار زیاد (۶ سانتی‌متر در تصویر مورد استفاده در این پژوهش) هستند هرچند مقدار توان تفکیک مکانی با توجه به ارتفاع پرواز ممکن است تغییر نماید. دوربین مورد استفاده برای تهیه این تصاویر دارای فاصله کانونی ۱۰۱/۴ میلی‌متر و زاویه دید ۳۷° بوده و تصویرهای این دوربین ۷۵۰۰ × ۱۱۵۰۰ پیکسل با ابعاد ۹ میکرون می‌باشد که داده‌ها را در ۵ باند پانکروماتیک، آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک تولید

دارد. پس از ورود نمونه‌های تعلیمی متعلق به یک طبقه خاص به شبکه عصبی، یک مدل مناسب ساخته شده و پس از آن در مرحله آزمون، شبکه عصبی مدل مربوطه را تعمیم داده و خروجی مناسب را برای داده‌هایی که اطلاعاتی از آنها ندارد تولید می‌کند و طبقه‌بندی انجام می‌شود (De Jong & Van Der Meer, 2005; Zhang et al., 2012).

#### طبقه‌بندی‌کننده SVM

این طبقه‌بندی‌کننده که قابلیت کاربرد به صورت خطی و غیرخطی را دارد، روشی بر اساس نظریه تعلیمی آماری است. در این پژوهش از تابع (kernel) غیرخطی عملکرد شعاع‌مبنا (RBF) از میان شالوده‌های خطی، چندجمله‌ای، حلقوی (Sigmoid) استفاده شد که بیش از سایر کرنل‌ها در پژوهش‌های پیشین توصیه شده و بهترین عملکرد را روی انواع داده‌های سنجش از دور دارد (Colgan et al., 2012; Pouteau et al., 2012). این روش طبقات را بر اساس یک سطح تصمیم‌گیری به نام ابرصفحه بهینه (optimal hyperplane) از یکدیگر تفکیک می‌کند. داده‌هایی را که نزدیک به این صفحات بوده و فاصله بین طبقات را زیاد می‌نماید، بردارهای پشتیبان می‌نامند که از نمونه‌های تعلیمی گرفته می‌شوند (Vapnik, 2000; Negri et al., 2014).

#### منحنی ROC

یکی از روش‌های مناسب برای ارزیابی نتایج حاصل از یک طبقه‌بندی‌کننده و ارزیابی میزان قابلیت آن در شناسایی طبقه موردنظر استفاده از منحنی عملیاتی دریافت‌کننده به‌منظور بررسی حساسیت روش است. منظور از حساسیت ارتباط بین میزان سلول‌های درست طبقه‌بندی شده و موارد نادرست است. هرچه میزان انحراف از خط مبنا برای یک طبقه خاص در منحنی ROC بیشتر باشد، کارایی طبقه‌بندی‌کننده یادشده در شناسایی آن طبقه بیشتر است. علاوه بر بررسی روند نمودار طبقه موردنظر، سطح زیر آن نمودار نیز محاسبه می‌گردد. این مساحت بیانگر احتمال این است که یک سلول انتخاب شده به‌طور تصادفی، صحیح طبقه‌بندی می‌شود و هرچه بیشتر باشد، قابلیت اطمینان روش یادشده را نشان می‌دهد (Jones & Reinke, 2009; Alatorre et

پژوهش در تاریخ ۱۳۸۷/۱۰/۱ با مقیاس متوسط ۱:۷۰۰۰ تهیه شده است که منطقه مورد مطالعه، در سه فریم تصویر به شماره‌های ۱۲۷۶، ۱۲۷۷ و ۱۲۷۸ از بلوک یاسوج قرار دارد. این تصاویر هوایی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و ۷ نقطه کنترل زمینی دقیق (به دست آمده از کاربرد DGPS اشاره شده در بازدید میدانی) در نقشه درختان تصحیح هندسی شده و در نهایت، محدوده مورد مطالعه از موزاییک نهایی استخراج شد. سپس تصویر هوایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمونه‌های تعلیمی مشابه که در سه طبقه «تاج درختان»، «سایه درختان» و «زمین» گرفته شده و به‌وسیله سه طبقه‌بندی‌کننده پیکسل-پایه ML، ANN و SVM طبقه‌بندی شد.

#### روشهای طبقه‌بندی

##### طبقه‌بندی‌کننده ML

این طبقه‌بندی‌کننده به عنوان یک روش پارامتریک، از نمونه‌های تعلیمی برای برآورد میانگین، پراش، همپراش، و احتمالات طبقات استفاده می‌کند. فرضیه اصلی در این روش توزیع نرمال داده‌ها است. تحت این فرضیه، توزیع پراکنش داده‌ها از طریق بردار میانگین نمایش داده شده و برای محاسبه احتمالات به کار می‌رود. اگرچه ممکن است نمونه‌های تعلیمی و طبقات از توزیع نرمال برخوردار نباشند. سپس هر سلول به طبقه‌ای اختصاص پیدا می‌کند که بیشترین احتمال را دارد مربوط به آن طبقه باشد. اگر احتمال به دست آمده کمتر از حد آستانه تعیین شده توسط کاربر باشد، سلول مربوطه به عنوان طبقه‌بندی نشده باقی می‌ماند (De Jong & Van Der Meer, 2005).

##### طبقه‌بندی‌کننده ANN

این طبقه‌بندی‌کننده به عنوان یک روش ناپارامتریک، یکی از فناوری‌های هوش مصنوعی است که برای طبقه‌بندی خودکار تصاویر استفاده شده و به عنوان جایگزینی برای روش‌های آماری متداول (مانند روش ML) محسوب می‌شود. از میان مدل‌های مختلف ANN، در این پژوهش از مدل پرسپترون چندلایه به عنوان پرکاربردترین مدل ANN استفاده شد. در این روش دو مرحله تعلیم و آزمون وجود

(Camps-Valls et al., 2012; al., 2011).

در این شاخص ارزیابی سلولهایی که به درستی به طبقه مورد نظر اختصاص یافته‌اند (TP)، سلولهایی که به درستی به طبقه مورد نظر اختصاص نیافته‌اند (TN)، سلولهایی که به نادرستی به طبقه مورد نظر اختصاص یافته‌اند (FP) و سلولهایی که به نادرستی به طبقه مورد نظر اختصاص نیافته‌اند (FN) مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای رسم این منحنی، باید محور x که نمایانگر «ویژگی-۱» (رابطه ۱) و محور y که حاوی «حساسیت» (رابطه ۲) است به ازای هر مقدار از آستانه طبقه مورد نظر محاسبه گردد.

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{TN}{TN+FP} = \text{ویژگی}$$

$$\text{رابطه (۲)} = \frac{TP}{TP+FN} = \text{حساسیت}$$

برای بررسی میزان تطابق مکانی طبقه شناسایی شده روی تصویر هوایی و واقعیت زمینی از «دقت» (رابطه ۳) و برای ارزیابی درستی تخصیص یک سلول به طبقه مورد نظر

از معیار «صحت» (رابطه ۴) استفاده می‌شود. در رابطه ۴، n تعداد کل سلول‌های طبقه‌بندی شده است.

$$\text{رابطه (۳)} = \frac{TP}{TP+FP} = \text{دقت}$$

$$\text{رابطه (۴)} = \frac{TP+TN}{n} = \text{صحت}$$

شاخص‌های رایج

به منظور مقایسه نتایج حاصل از منحنی ROC و شاخص‌هایی که تاکنون استفاده می‌شده، «صحت کلی» (رابطه ۵)، «ضریب کاپا» (رابطه ۶) و صحت تولیدکننده و کاربر محاسبه شدند. این شاخص‌ها با استفاده از جدول خطای به دست آمده از طبقه‌بندی تصویر هوایی UCD و نقشه واقعیت زمینی منطقه مورد مطالعه با استفاده از ۲۲۷۰۸ سلول تعیین شدند (Paine & Kiser, 2012).

برای تصحیح هندسی و طبقه‌بندی تصاویر هوایی UCD از نرم افزار PCI Geomatica V.10، برای محاسبه منحنی ROC از نرم‌افزار MatLab V.10 و برای رسم نمودارها از Excel V.2010 و شکل‌ها از ArcGIS V.9.3 استفاده شد.

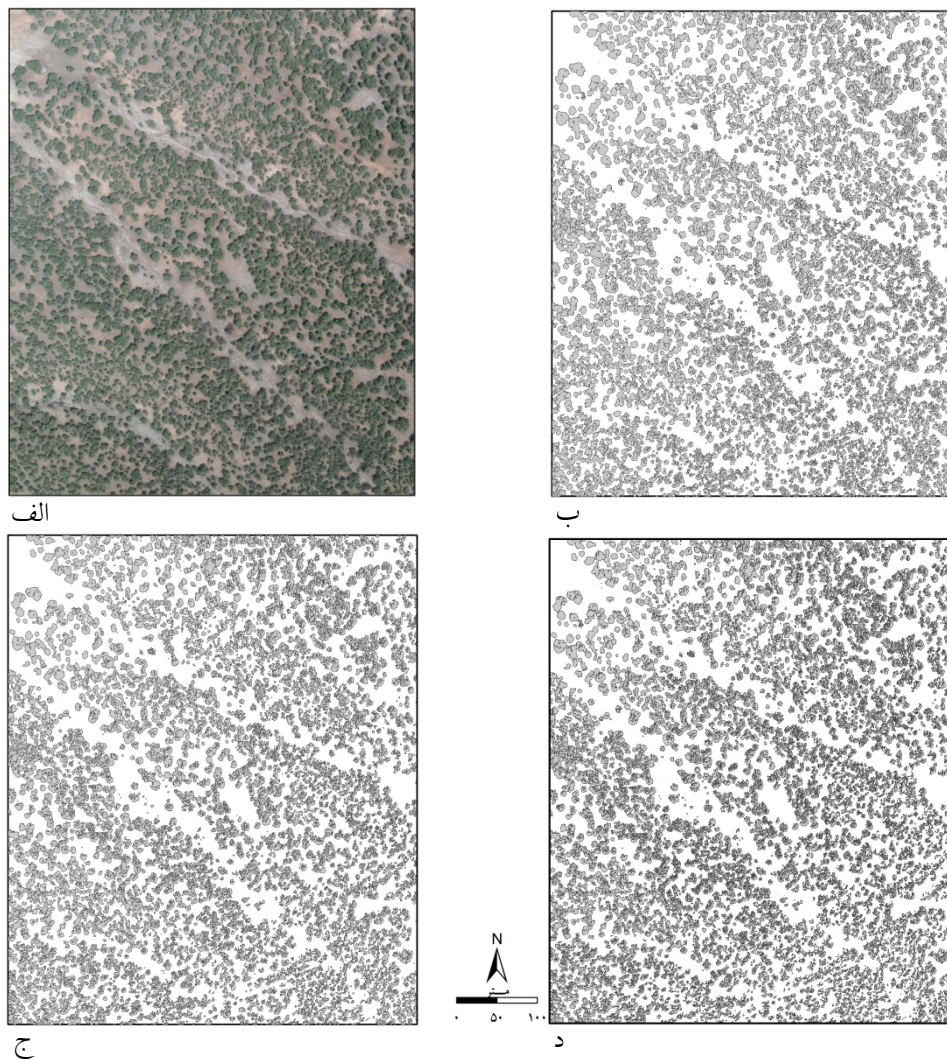
$$\text{رابطه (۵)} = \frac{\text{مجموع سلولهای درست طبقه بندی شده (قطر جدول خطا)}}{\text{تعداد کل سلول ها}} = \text{صحت کلی}$$

$$\text{رابطه (۶)} = \frac{(\text{تعداد کل سطرها} \times \text{تعداد کل ستونها}) - (\text{تعداد کل قطر جدول خطا} \times \text{تعداد کل سلولها})}{(\text{تعداد کل سطرها} \times \text{تعداد کل ستونها}) - \text{مجذور تعداد کل سلولها}}$$

## نتایج

الف). شکل ۲ ب، ج و د نتایج طبقه‌بندی تصویر یادشده با استفاده از سه طبقه‌بندی‌کننده ML، ANN و SVM را نشان می‌دهد.

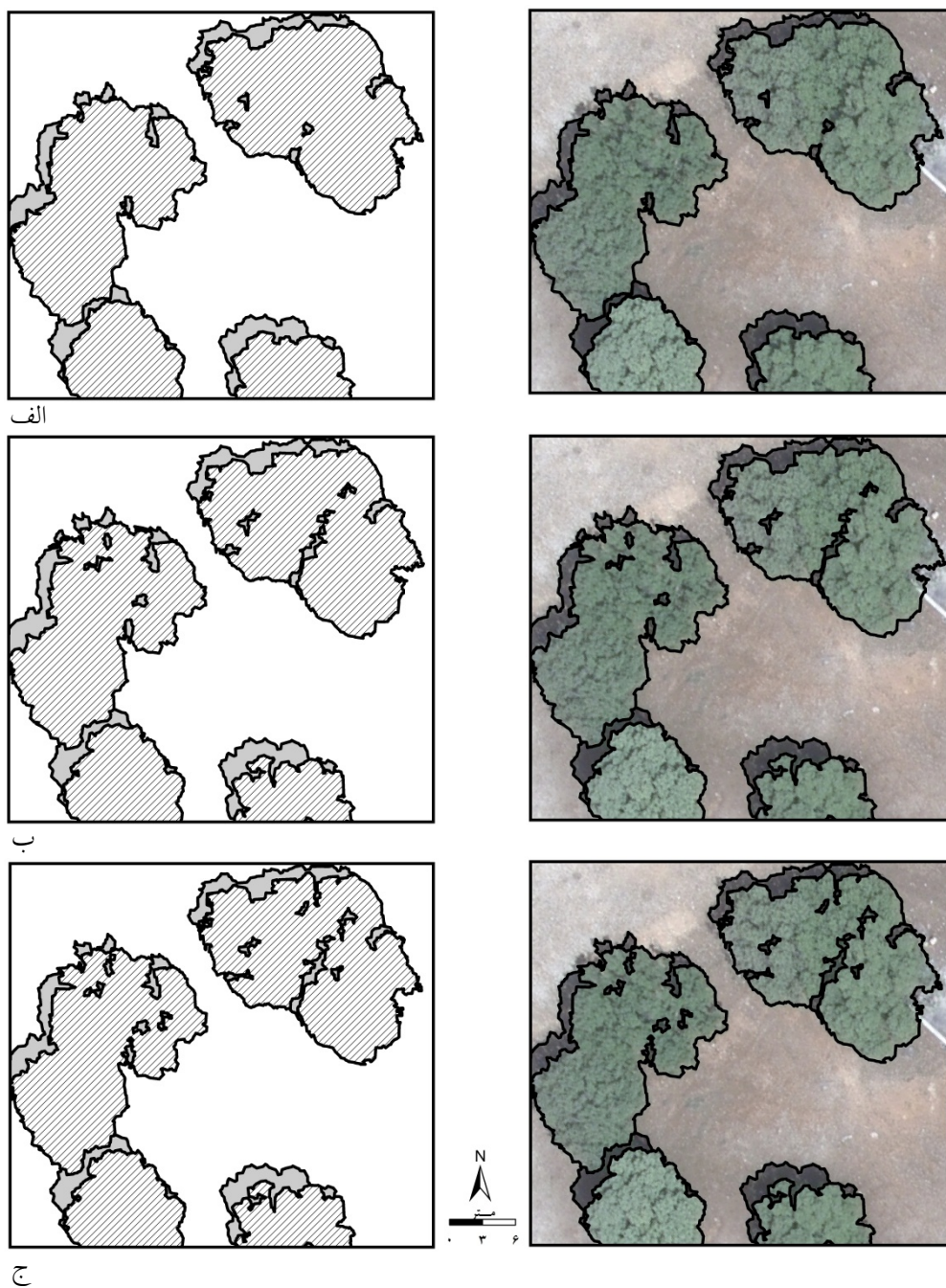
تصحیح هندسی تصویر هوایی UCD با خطای جذر میانگین مربع‌های (RMSE) ۰/۲۸ سلول (Y = ۰/۰۹) RMSE=۰/۲۶ X سلول) انجام شد (شکل ۲



شکل ۲- ترکیب رنگی واقعی تصویر هوایی UCD منطقه مورد مطالعه (الف) و نتیجه طبقه‌بندی آن با سه روش ML (ب)، ANN (ج) و SVM (د). چندوجهی‌های خاکستری در نتایج طبقه‌بندی «تاج درختان» را نشان می‌دهند.

موردنظر را از یکدیگر تفکیک کنند. همچنین شکل ۳ میزان تطابق طبقات تفکیک شده با تصویر هوایی UCD را نشان می‌دهند تا با ارزیابی بصری نیز بتوان نتایج این روش‌ها را بررسی نمود.

برای نمایش بهتر نتایج حاصل از کاربرد طبقه‌بندی‌کننده‌های مورد استفاده در شناسایی سه طبقه «تاج درختان»، «سایه درختان» و «زمین»، شکل ۲ با مقیاس بزرگتر تهیه شد (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ قابل رویت است، این طبقه‌بندی‌کننده‌ها توانستند سه طبقه

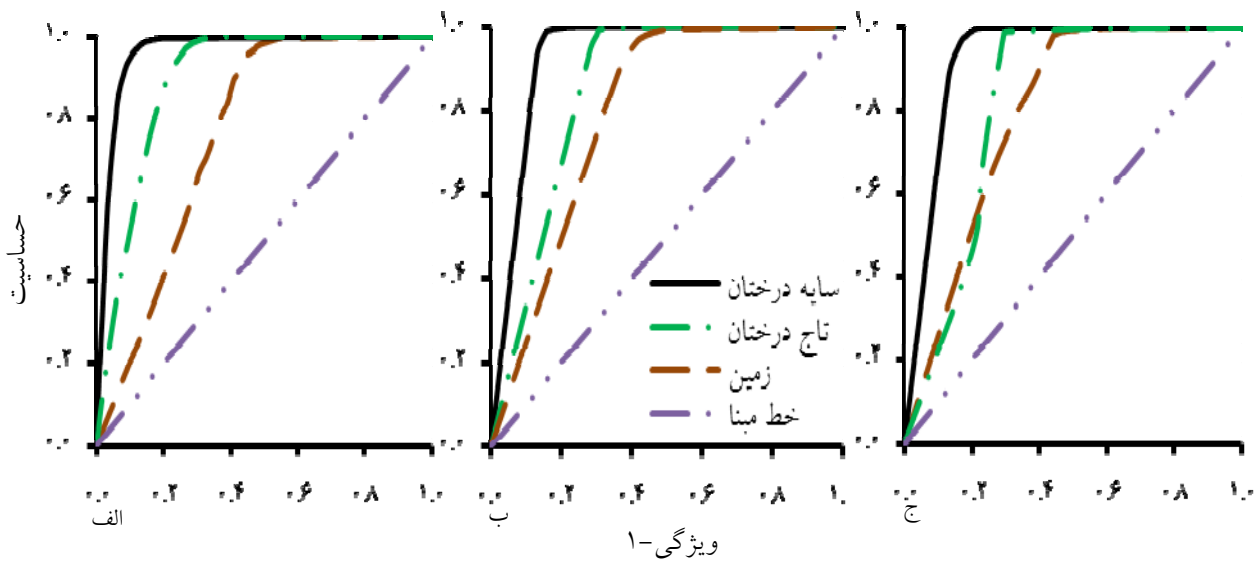


شکل ۳- طبقات تفکیک شده با روش‌های ML (الف)، ANN (ب) و SVM (ج) و روی هم‌اندازی نتایج طبقه‌بندی با تصویر هوایی UCD منطقه مورد مطالعه. چندوجهی‌های هاشورزده، «تاج درختان»؛ چندوجهی‌های خاکستری، «سایه درختان» و بخش‌های سفید، «زمین» است.

مطالعه دارای فاصله بیشتر بوده و در نهایت کمترین فاصله از خط مبنا مربوط به طبقه «زمین» در هر سه روش بود. با توجه به فاصله هر سه طبقه از خط مبنا، قابلیت هر سه طبقه‌بندی‌کننده تایید شده است.

در مرحله بعد، منحنی ROC طبقه‌بندی‌کننده‌های یادشده ترسیم شد (شکل ۴). چنانچه نتایج نشان داد بیشترین فاصله از خط مبنا در هر سه روش مربوط به طبقه «سایه درختان» بود. پس از آن طبقه «تاج درختان» یعنی طبقه مورد نظر این





شکل ۴- منحنی ROC طبقه‌بندی‌کننده‌های ML (الف)، ANN (ب) و SVM (ج) در تصویر هوایی UCD

مقابل، طبقه‌بندی‌کننده SVM کمترین سطح زیر منحنی را برای این طبقه داشت. این موضوع بیان‌گر احتمال بیشتر طبقه‌بندی درست هر سلول از تصویر منطقه توسط طبقه‌بندی‌کننده ML برای «تاج درختان» است که قابلیت بیشتری نسبت به سایرین داشته است.

علاوه بر منحنی ROC، شاخص‌های حساسیت، ویژگی، دقت و صحت؛ مقدار «صحت کلی» و «ضریب کاپا» و همچنین صحت تولیدکننده و کاربر نیز برای طبقه‌بندی‌کننده‌های یادشده محاسبه شدند که نتایج آن در جدول ۲ خلاصه شده است. بیشینه مقدار صحت کلی و ضریب کاپا مربوط به طبقه‌بندی‌کننده ML بوده و صحت تولیدکننده و کاربر طبقه «تاج درختان» به ترتیب در طبقه‌بندی‌کننده‌های ANN و ML به دست آمده است.

علاوه بر منحنی ROC شاخص‌های دقت و صحت نیز محاسبه شدند که نتایج محاسبه این شاخص‌ها و مؤلفه‌های مربوط به آنها در جدول ۱ آمده است. همان‌طور که ملاحظه شد حساسیت «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده ML بیشتر از سایرین به دست آمده و «سایه درختان» حداقل حساسیت را در طبقه‌بندی‌کننده ANN دارا بوده است. همچنین ویژگی «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده‌های ML و ANN مشابه و کمتر از طبقه‌بندی‌کننده SVM بود که حداکثر مقدار را داشت. اگرچه دقت طبقه‌بندی‌کننده SVM در تفکیک «تاج درختان» حداکثر مقدار ممکن بوده، صحت این طبقه در طبقه‌بندی‌کننده‌های ML و ANN مشابه و بیشتر از طبقه‌بندی‌کننده SVM بود.

در منحنی ROC، بیشترین سطح زیر منحنی مربوط به «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده ML به دست آمده و در

جدول ۱- خلاصه نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های منحنی ROC و مؤلفه‌های آنها در طبقه‌بندی کننده‌های ANN، ML و SVM

| شاخص‌ها       | SVM   |             |            | ANN   |             |            | ML    |             |            |
|---------------|-------|-------------|------------|-------|-------------|------------|-------|-------------|------------|
|               | زمین  | سایه درختان | تاج درختان | زمین  | سایه درختان | تاج درختان | زمین  | سایه درختان | تاج درختان |
| TP            | ۸۰۳۷  | ۶۵۸۶        | ۷۸۹۰       | ۷۹۸۲  | ۶۶۱۴        | ۷۹۴۴       | ۸۰۳۰  | ۶۵۸۶        | ۷۹۶۱       |
| FP            | ۳۵    | ۱۶۰         | ۰          | ۷     | ۱۶۰         | ۱          | ۳۳    | ۹۶          | ۲          |
| FN            | ۸۱    | ۳۵          | ۷۹         | ۷     | ۱۳۶         | ۲۵         | ۸۸    | ۳۵          | ۸          |
| TN            | ۱۴۵۵۵ | ۱۵۹۲۷       | ۱۴۷۳۹      | ۱۴۷۱۲ | ۱۵۷۹۸       | ۱۴۷۳۸      | ۱۴۵۵۷ | ۱۵۹۹۱       | ۱۴۷۳۷      |
| ویژگی         | ۰/۹۹۷ | ۰/۹۹۰       | ۱/۰۰۰      | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۸۹       | ۰/۹۹۹      | ۰/۹۹۸ | ۰/۹۹۴       | ۰/۹۹۹      |
| حساسیت        | ۰/۹۹۰ | ۰/۹۹۴       | ۰/۹۹۰      | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۷۹       | ۰/۹۹۷      | ۰/۹۸۹ | ۰/۹۹۵       | ۰/۹۹۹      |
| دقت           | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۷۶       | ۱/۰۰۰      | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۷۶       | ۰/۹۹۹      | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۸۶       | ۰/۹۹۹      |
| صحت           | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۱       | ۰/۹۹۶      | ۰/۹۹۹ | ۰/۹۸۷       | ۰/۹۹۹      | ۰/۹۹۵ | ۰/۹۹۴       | ۰/۹۹۹      |
| سطح زیر منحنی | ۰/۷۹۱ | ۰/۹۲۳       | ۰/۸۱۹      | ۰/۷۹۳ | ۰/۹۲۹       | ۰/۸۵۰      | ۰/۷۶۱ | ۰/۹۶۱       | ۰/۸۹۴      |

جدول ۲- خلاصه نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های رایج در طبقه‌بندی کننده‌های ANN، ML و SVM

| شاخص‌ها        | SVM    | ANN    | ML     | طبقات       |
|----------------|--------|--------|--------|-------------|
| صحت تولیدکننده | ۰/۹۹۵  | ۰/۹۹۸  | ۰/۹۹۵  | تاج درختان  |
|                | ۰/۹۹۰  | ۰/۹۸۳  | ۰/۹۸۹  | سایه درختان |
|                | ۰/۹۹۰  | ۰/۹۹۶  | ۰/۹۹۸  | زمین        |
| صحت کاربر      | ۰/۹۷۶  | ۰/۹۷۶  | ۰/۹۸۶  | تاج درختان  |
|                | ۰/۹۹۵  | ۰/۹۹۹  | ۰/۹۹۶  | سایه درختان |
|                | ۱      | ۰/۹۹۹  | ۰/۹۹۹  | زمین        |
| ضریب کاپا      | ۰/۹۸۷  | ۰/۹۸۹  | ۰/۹۹۱  |             |
| صحت کلی (درصد) | ۹۹/۱۴۱ | ۹۹/۲۶۰ | ۹۹/۴۲۳ |             |

## بحث

است. استفاده از داده‌های سنجش از دور که کیفیت آنها رو به توسعه است و همچنین کاربرد روش‌های کارآمد در استخراج اطلاعات از این داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شده است. علاوه بر این، دستیابی به راهکارهایی قابل اطمینان برای ارزیابی صحت و دقت نتایج حاصل از تحلیل داده‌های سنجش از دور به تفکیک طبقات مورد مطالعه ضروری می‌شود (Franklin, 2001; Schowengerdt,

مدیریت پایدار جنگل‌های زاگرس نیاز به نقشه‌های موضوعی دارد که از دقت و صحت کافی برخوردار بوده و امکان به‌روزرسانی آنها با هزینه و زمان قابل قبول فراهم باشد. در این راستا، سنجش از دور که به عنوان یکی از منابع مهم تولید نقشه و به‌روزرسانی آنها در بسیاری از مطالعات حوزه جنگل شناخته شده، توسعه فراوان یافته

درختان و بوته‌ها در مطالعات پیشین (Alonso & Malpica, 2010) ارزش دستاوردهای این روش ارزیابی صحت روشن‌تر خواهد شد. کاربرد منحنی ROC برای بررسی نتایج روش‌های طبقه‌بندی روی داده‌های سنجش از دور در پژوهش‌های پیشین (Alonso & Malpica, 2010; Alatorre et al., 2011) و منابع علمی (Chen, 2007; Camps-Valls et al., 2012) نیز مورد تایید قرار گرفته است. سطح زیر منحنی نیز نشان داد که در استفاده از طبقه‌بندی‌کننده ML روی این داده‌ها، احتمال طبقه‌بندی صحیح یک سلول که به‌طور تصادفی انتخاب شده در «تاج درختان» به احتمال ۸۹ درصد و بیشتر از دو روش دیگر قابل انجام است. این موضوع به دلیل نقش مهم تاج‌پوشش در بوم‌شناسی جنگل‌های زاگرس از اهمیت زیادی برخوردار است. این طبقه‌بندی‌کننده به احتمال ۹۶ درصد «سایه درختان» را نیز درست و بیشتر از دو روش دیگر طبقه‌بندی می‌کند که این موضوع نیز دارای اهمیت است، زیرا همواره یکی از منابع مهم خطا در تفسیر تصاویر و عکس‌های هوایی، سایه است (Erfanifard et al., 2007) و این طبقه‌بندی‌کننده قادر به جداسازی سایه از سایر پدیده‌ها در جنگل‌های زاگرس روی تصاویر هوایی UCD است.

علاوه بر این، «حساسیت» و «ویژگی» به دست آمده برای هر یک از طبقات قابلیت طبقه‌بندی‌کننده مورد بررسی را برای تفکیک هر یک از طبقات از یکدیگر به صورت کمی نشان داد. طبقه‌بندی‌کننده ML سلولهای «تاج درختان» و طبقه‌بندی‌کننده ANN سلولهای «زمین» را نسبت به سایر طبقات و روش‌ها به درستی شناسایی کرده است. همچنین طبقه‌بندی‌کننده SVM سلولهایی که به «تاج درختان» تعلق ندارند را به درستی و بهتر از سایر روش‌ها طبقه‌بندی کرده است. از طرف دیگر، نتایج «صحت» نشان داد که طبقه‌بندی‌کننده SVM توانسته «تاج درختان» را به درستی شناسایی کند بدین معنی که میزان تطابق در این طبقه با زمین به لحاظ موقعیت مکانی حداکثر بود. «تاج درختان» در طبقه‌بندی‌کننده ML و «تاج درختان» و «زمین» در طبقه‌بندی‌کننده ANN دارای بیشترین «صحت» بودند بدین

هدف کاربرد منحنی ROC و شاخص‌های وابسته به آن در ارزیابی نتایج استفاده از طبقه‌بندی‌کننده‌های ANN، ML و SVM روی تصاویر هوایی UCD برای تفکیک تاج تک‌درختان شاخه‌زاده‌های بلوط ایرانی در زاگرس انجام گرفت.

از آنجایی‌که توان تفکیک مکانی تصاویر UCD بسیار زیاد است و همچنین نقشه واقعیت زمینی تاج درختان بلوط ایرانی در منطقه مورد مطالعه در دسترس بود، امکان انتخاب نقاط کنترل زمینی دقیق فراهم شده و تصحیح هندسی از دقت زیادی برخوردار شد (RMSE=۰/۲۸ سلول). با توجه به این‌که منطقه مورد مطالعه در سه عکس قرار گرفت پس از تهیه موزائیک کنترل شده تصاویر هوایی، محدوده مورد نظر از آن بریده شد و این کار به دلیل حجم خیلی زیاد هر قطعه تصویر (حدود ۲۶۰ مگابایت) خیلی زمان‌بر و طولانی بود.

برای طبقه‌بندی تصویر هوایی منطقه مورد مطالعه، از سه طبقه‌بندی‌کننده ANN، ML و SVM استفاده شد. این روش‌های پیکسل-پایه در داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای توسعه فراوان یافته‌اند (Ahmadpour et al., 2011; Dobрева & Klein, 2011; Negri et al., 2014) ولی تاکنون به‌ندرت روی عکسهای هوایی به کار رفته‌اند (Nouredini et al., 2012). به‌منظور استفاده از قابلیت‌های طبقه‌بندی‌کننده‌های ANN و SVM که در تصاویر ماهواره‌ای تایید شدند (Alatorre et al., 2011; Dobрева & Klein, 2011; Zhang et al., 2012)، در این پژوهش برای نخستین بار روی تصاویر هوایی UCD به کار رفتند تا روش مناسب این داده‌ها برای هدف مورد نظر انتخاب شود. کاربرد منحنی ROC نشان داد که نتایج حاصل از طبقه‌بندی‌کننده ML برای تفکیک «تاج درختان» به عنوان طبقه مورد نظر پژوهش حاضر بهتر از سایر روش‌ها بوده است. این منحنی، قابلیت هر یک از طبقه‌بندی‌کننده‌ها را به تفکیک طبقات به صورت نمودار نمایش داد (شکل ۴). در این پژوهش با توجه به هدف، سه طبقه قابل تفکیک در نظر گرفته شد در حالی‌که با تعریف طبقات جزئی‌تر مانند

در مطالعه ویژگی تاج تک‌درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس هستند. همچنین، اگرچه استفاده از روش‌های طبقه‌بندی با پیچیدگی بیشتر مانند ANN و SVM روی این تصاویر امکان‌پذیر بوده ولی در منطقه پژوهش و روی این داده‌ها قادر نبودند طبقه موردنظر یعنی «تاج درختان» را با دقت و صحت بهتری نسبت به ML طبقه‌بندی نمایند. انتخاب روش طبقه‌بندی متناسب با نوع داده سنجش از دور در پژوهش‌ها و منابع مختلف نیز مانند این پژوهش مورد تاکید قرار گرفته است. استفاده از منحنی ROC توانست کارایی سه طبقه‌بندی‌کننده را در هر یک از طبقات نشان داده و اطلاعات مهم دیگری را نیز ارائه کرد که تشریح شد. بنابراین علاوه بر شاخص‌های صحت کلی و ضریب کاپا، از منحنی ROC نیز می‌توان استفاده نمود. توصیه می‌شود در مطالعات آتی، قابلیت این روش ارزیابی برای داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای و تصاویر هوایی UCD و برای طبقات جزئی‌تر با استفاده از سایر روش‌های طبقه‌بندی نیز بررسی گردد. پژوهشگران صاحب‌نظر بر این باورند که برای تفسیر درست از نتایج طبقه‌بندی باید از چندین شاخص به‌طور همزمان استفاده نمود زیرا هر کدام از آنها، از جنبه‌های متفاوت نتایج را تفسیر می‌کنند.

## References

- Abdolahi, H. and Shataee, Sh. 2012. Comparative evaluation of IRS-P6-LISS-III and LISS IV images for canopy cover mapping of Zagros forests (Case study: Javanroud Forests). Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology, 19 (1): 43-60 (In Persian).
- Ahmadi Sani, N., Darvishsefat, A.A., Zobeiri, M. and Farzaneh, A. 2008. Potentiality of ASTER images for forest density mapping in Zagros (Case study: Marivan forests). Iranian Journal of Natural Resources, 61 (3): 603-614 (In Persian).
- Ahmadpour, A., Solaimani, K., Shokri, M. and Ghorbani, J. 2011. Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. Iranian Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science, 2 (2): 69-81.

مفهوم که احتمال تخصیص صحیح یک سلول مربوط به این دو طبقه در روش‌های یادشده بیشتر بوده است. در پژوهش‌های گذشته روی تصاویر هوایی UCD (Rafieyan *et al.*, 2011; Darvishsefat *et al.*, 2010) روش شی‌مبنا برای اهداف خاص (تشخیص گونه و تیپ‌بندی در جنگل‌های متراکم هیرکانی) توصیه شده است که تفاوت در نتایج ممکن است به تفاوت در اهداف و مناطق مورد مطالعه مربوط باشد. همچنین Mondal و همکاران (۲۰۱۲) روش SVM را برای بررسی تغییرات کاربری زمین روی داده‌های TM مناسب‌تر از ML معرفی کردند که شاید تفاوت در اهداف و مناطق مورد مطالعه موجب اختلاف در نتایج مطالعه یادشده و این مطالعه باشد.

همان‌گونه که ملاحظه شد، روش به کار رفته در این پژوهش اطلاعات ارزشمندی را در مورد طبقه‌بندی‌کننده‌های مورد بررسی به تفکیک هر کدام از طبقات ارائه کرد. حال آنکه دو شاخص مرسوم در مطالعات سنجش از دور یک تصویر کلی از نتایج داد. «صحت کلی» و «ضریب کاپا» دو عدد مختلف هستند که توضیح نمی‌دهند یک روش طبقه‌بندی به چه میزان توانسته طبقه موردنظر کاربر را به درستی شناسایی کند. محاسبه دو شاخص صحت تولیدکننده و کاربر نیز نمی‌تواند این اطلاعات را بیان کند. اول اینکه در برخی موارد این اعداد با یکدیگر مساوی شده (مانند صحت تولیدکننده «سایه درختان» و «زمین» در طبقه‌بندی‌کننده SVM و صحت تولیدکننده همین دو طبقه در طبقه‌بندی‌کننده ANN در جدول ۲) و تصویر درستی از قابلیت طبقه‌بندی‌کننده‌ها ارائه نمی‌کنند و همچنین تفسیر آنها با خطا همراه است و دوم اینکه در بعضی موارد صحت طبقه‌بندی انجام شده کمتر از صحت طبقه‌بندی مورد استفاده کاربر است (مانند «سایه درختان» در هر سه طبقه‌بندی‌کننده در جدول ۲) در حالی که مفهوم دو شاخص صحت تولیدکننده و کاربر عکس این موضوع است (Congalton & Green, 1999; Paine & Kiser, 2012).

به‌طور کلی، دستاوردهای این پژوهش نشان داد که تصاویر هوایی UCD، داده‌های سنجش از دور ارزشمندی

- UltraCam-D images capability for tree species identification using object-based method in the even-aged mixed forestation. *Iranian Journal of Forest*, 2 (2): 165-176 (In Persian).
- De Jong, S.M. and Van Der Meer, F.D. 2005. Remote sensing image analysis: including the spatial domain. Springer, 359 p.
  - Dobрева, I.D. and Klein, A.G. 2011. Fractional snow cover mapping through artificial neural network analysis of MODIS surface reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 115 (12): 3355-3366.
  - Erfanfard, Y., Zobeiri, M., Feghhi, J. and Namiranian, M. 2007. Estimation of crown cover on aerial photographs using shadow index (Case study: Zagros forests, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 15 (3): 278-288 (In Persian).
  - Franklin, S.E. 2001. Remote sensing for sustainable forest management. Lewis Publishers, 407 p.
  - Ghanbari, F. and Shataee, Sh. 2011. Investigation on forest extend changes using aerial photos and ASTER imagery (Case study: Border forests in south and southwest of Gorgan city). *Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 17 (4): 1-18 (In Persian).
  - Jazirehi, M.H. and Ebrahimi Rostaghi, M. 2003. *Silviculture in Zagros*. University of Tehran Press, 560 p (In Persian).
  - Jones, S. and Reinke, K. 2009. *Innovations in remote sensing and photogrammetry*. Springer, 453 p.
  - Klobucar, D., Pernar, R., Loncaric S. and Subasic, M. 2008. Artificial neural networks in the assessment of stand parameters from an IKONOS satellite image. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 29: 201-211.
  - Li, Z., Chen, J. and Baltsavias, E. 2008. *Advances in photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*. Taylor & Francis Publishers, 527 p.
  - Mathieu, R., Naidoo, L., Cho, M.A., Leblon, B., Main, R., Wessels, K., Asner, G.P., Buckley, J., VanAardt, J., Erasmus, B.F.N. and Smit, I.P.J. 2013. Toward structural assessment of semi-arid African savannahs and woodlands: The potential of multitemporal polarimetric RADARSAT-2 fine beam images. *Remote Sensing of Environment*, 138: 215-231.
  - Moeinazad Tehrani, S.M., Darvishsefat, A.A. and Amini, M.R., Shataee, Sh., Ghazanfari, H.O. and Moaieri, M.H. 2008. Changes in Zagros's forests extension using aerial photos and satellite imagery (Case study, Armerdeh forests of Baneh). *Iranian Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15 (2): 1-12 (In Persian).
  - Alatorre, L.C., Andrés, R., Cirujano, S., Beguería, S. and Carrillo, S. 2011. Identification of mangrove areas by remote sensing: The ROC curve technique applied to the Northwestern Mexico coastal zone using Landsat imagery. *Remote Sensing*, 3: 1568-1583.
  - Alonso, M.C. and Malpica, J.A. 2010. Satellite imagery classification with LiDAR data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*. Japan, 9-12 Aug. 2011, 38 (8): 730-735.
  - Brookhouse, M., Brack, C. and McElhinny, C. 2010. The distance to structural complement (DiSCo) approach for expressing forest structure described by Aerial Photograph Interpretation data sets. *Forest Ecology and Management*, 260 (7): 1230-1240
  - Camps-Valls, G., Gomez-Chova, L., Calpe-Maravilla, J., Martin-Guerrero, J.D., Soria-Olivas, E., Alonso-Chorda, L. and Moreno, J. 2004. Robust support vector method for hyperspectral data classification and knowledge discovery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 42: 1530-1542.
  - Camps-Valls, G., Tuia, D., Gomez-Chova, L., Jimenez S. and Malo, J. 2012. *Remote Sensing Image Processing*. Morgan & Claypool Publishers, 176 p.
  - Chen, C.H. 2007. *Signal and image processing for remote Sensing*. Taylor & Francis Publishers, 672 p.
  - Colgan, M.S., Baldeck, C.A., Feret J.B. and Asner, G.P. 2012. Mapping savanna tree species at ecosystem scales using support vector machine classification and BRDF correction on airborne hyperspectral and LiDAR data. *Remote Sensing*, 4: 3462-3480.
  - Congalton, G.C. and Green, K. 1999. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Lewis Publishers, 133 p.
  - Darvishsefat, A.A., Rafieyan, O., Babaii Kafaki, S. and Mataji, M. 2010. Evaluation of

- cover density in Zagros forests using ETM+ images (Case study Ghalajeh forests, Kirmanshah province). *Iranian Journal of Forest*, 2 (3): 231-242 (In Persian).
- Pouteau, R., Meyer, Y., Taputuarai, R. and Stoll, B. 2012. Support vector machines to map rare and endangered native plants in Pacific islands forests. *Ecological Informatics*, 9: 37-46.
  - Rafieyan, O., Darvishsefat, A.A., Babaii, S. and Matajii, A. 2011. Evaluation of pixel-based and object-based classification methods for tree identification using aerial images (Case study: a forestation in Camestan-Nur). *Iranian Journal of Forest*, 3 (1): 35-47 (In Persian).
  - Schowengerdt, R.A., 2007. *Remote sensing: models and methods for image processing* (3<sup>rd</sup> ed.). Academic Press, 515 p.
  - Teodoro, A.C., Goncalves, H., Pais-Barbosa, J., Veloso-Gomes F. and Taveira-Pinto, F. 2010. Identification of beach features/patterns through artificial neural networks techniques using IKONOS data. *ISPRS Symposium. Austria*, 5-7 July, 38 (7B): 574-579.
  - Vapnik, V.N. 2000. *The Nature of Statistical Learning Theory* (2<sup>nd</sup> ed.). Springer, 314 p.
  - Vaughn, N.R., Moskal L.M. and Turnblom, E.C., 2012. Tree species detection accuracies using discrete point LiDAR and airborne waveform LiDAR. *Remote Sensing*, 4: 377-403.
  - Zhang, H., Zhang Y. and Lin, H. 2012. A comparison study of impervious surfaces using optical and SAR remote sensing images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 148-156.
  - Namiraniyan, M. 2008. Evaluation of FCD model for estimation of forest density using Landsat 7 imagery (Case study: Chalus forst). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16 (1): 124-138 (In Persian).
  - Mondal, A., Kundu, S., Chandniha, S., Shukla, R. and Mishra, P.K. 2012. Comparison of support vector machine and maximum likelihood classification technique using satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1: 116-123.
  - Negri, R.G., Dutra, L.V. and Sant'Anna, S.J.S. 2014. An innovative support vector machine based method for contextual image classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87: 241-248.
  - Nouredini, S.A.R., Bonyad, A.A. and Pourshakori, F. 2012. Investigation on the some textural indices from aerial photographs for forest canopy density mapping (Case study: Khoramabad, Lorestan). *Iranian Journal of Forest*, 4 (4): 353-363 (In Persian).
  - Pacifici, F., Chini M. and Emery, W.J. 2009. A neural network approach using multi-scale textural metrics from very high-resolution panchromatic imagery for urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 113 (6): 1276-1292.
  - Paine, D.P. and Kiser, J.D. 2012. *Aerial photography and image interpretation* (3<sup>rd</sup> ed.). John Wiley & Sons, Inc., 629 p.
  - Parma, R. and Shataee, Sh. 2010. Capability study on mapping the diversity and canopy

## Application of ROC curve to assess pixel-based classification methods on UltraCam-D aerial imagery to discriminate tree crowns in pure stands of Brant's oak in Zagros forests

S.Y. Erfanifard

Assistant Professor, Department of Natural Resources and Environment, College of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, I.R. Iran. E-mail: erfanifard@shirazu.ac.ir

Received: 02.20.2014

Accepted: 08.12.2014

### Abstract

Sustainable forest management in Zagros Mountains entails accurate information on tree crown density, which could be possibly derived from remote sensing data. Moreover, those remote sensing products need to be objectively evaluated. In this study, the results of three pixel-based classifiers of UltraCam-D aerial imagery were evaluated for classifying Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) crowns in Zagros forests in western Iran. This was carried out by means of receiver operating characteristic (ROC) curve. Therefore, a 30 ha plot was selected in pure Brant's oak stand, in which the location and crown area of all trees were mapped. The UltraCam-D aerial imagery was classified by maximum likelihood (ML), artificial neural networks (ANNs) and support vector machines (SVMs) classifiers. The classification results were then evaluated by ROC curve and were presented by overall accuracy and Kappa coefficient. Results showed that the ML classifier returned the largest area under ROC curve of "tree crowns" (0.894), whereas the lowest rate was found for SVM classifier (0.819). Sensitivity and specificity of "tree crowns" in ML classifier (0.999 and 0.999, respectively) were higher than those in two other classifiers. Although the precision of SVM classifier was the highest in discriminating "tree crowns" (1.000), the achieved accuracy of tree "crown class" was higher for ML classifier (0.999). This study concluded that using ROC curve enables an evaluation accuracy and precision of common pixel-based classifiers of such aerial imagery to discriminate tree crowns.

**Keywords:** Tree crown, Zagros, pixel-based classifiers, ROC curve, UltraCam-D.