



نسخه از دور

GIS ایران



سال نهم، شماره اول، بهار ۱۳۹۶
Vol.9, No. 1, Spring 2017

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۶۲-۴۹

ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربری اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای با استفاده از سنجنده OLI (منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهبهان)

علی اصغر تراهی^{۱*}، مرجان فیروزی نژاد^۲، علی عبدالخانی^۳
۱. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران
۲. کارشناس ارشد جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۲/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۹/۱۷

چکیده

تهیه اطلاعات دقیق و به‌روز از منابع جنگلی یکی از عوامل اساسی در مطالعه و مدیریت پایدار این منابع است و این اطلاعات را می‌توان به‌آسانی و با صرف هزینه و زمان کمتر، از راه طبقه‌بندی داده‌های دورسنجی تهیه کرد. در این مطالعه به‌منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین‌بردار پشتیبان و حداکثر احتمال در تهیه نقشه کاربردی اراضی جنگل‌های رودخانه‌ای، از داده‌های ماهواره لندست ۸ استفاده شد. برای این کار، پنجره‌ای از تصاویر چندطیفی سنجنده OLI جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهبهان، در استان خوزستان، انتخاب شد. پس از عملیات پیش‌پردازش، شامل رفع خطای رادیومتریک و تصحیح اتمسفریک، طبقه‌بندی تصاویر به‌روش نظارت‌شده و با استفاده از الگوریتم‌های حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان و با هفت کلاس کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی، آیش، رودخانه، مسکونی و جاده، و همچنین سه کلاس کاربری جنگل، رودخانه و دیگر مناطق، روی مجموعه باندهای اصلی صورت پذیرفت. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، از سه گروه نمونه‌تعلیمی با تعداد ۲۴۱، ۱۴۱ و ۴۱ نمونه و همچنین از چهار هسته‌خطی، چندجمله‌ای، شعاعی و حلقوی استفاده شد. نتایج حاصل نشان داد که تهیه نقشه طبقه‌بندی جنگل‌های رودخانه‌ای مارون و تفکیک کاربری‌ها با استفاده از تصاویر سنجنده OLI امکان‌پذیر است و بهترین نتیجه مربوط به طبقه‌بندی، با استفاده از الگوریتم PolynomialSVM - در باندهای اصلی سنجنده OLI و با سه کلاس کاربری و صحت کلی ۹۹/۲۴ و ضریب کاپای ۰/۹۷ است. همچنین مشخص شد که با کاهش تعداد کلاس‌ها از هفت به سه، کاربری صحت طبقه‌بندی افزایش می‌یابد ولی با کاهش تعداد نمونه‌ها تا حد میانگین، تغییر محسوسی در کیفیت طبقه‌بندی رخ نمی‌دهد و در صورت کاهش زیاد تعداد نمونه‌ها، از صحت طبقه‌بندی نیز کاسته می‌شود.

کلیدواژه‌ها: SVM، MLC، جنگل‌های رودخانه‌ای، سنجنده OLI، طبقه‌بندی، مارون بهبهان.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، کدپستی: ۱۴۹۱۱-۱۵۷۱۹. تلفن: ۰۹۱۹۷۹۵۱۴۷۶

۱- مقدمه

پوشش‌های گیاهی اصلی‌ترین جزء همه بوم‌سازگان‌های طبیعی‌اند (مصدیقی، ۱۳۸۴) و جنگل‌های رودخانه‌ای از پیچیده‌ترین بوم‌سازگان‌های جهان محسوب می‌شوند (Naiman et al., 2000). این جنگل‌ها به جوامع زیستی زنده در سواحل نهرها، رودخانه‌ها، تالاب‌ها، دریاچه‌ها، و برخی به مانداب‌ها اشاره می‌کنند که به‌طرزی باورنکردنی دارای گونه‌های متنوع و فرایندهای زیست‌محیطی متفاوتی‌اند و به دلیل تولید بایومس فراوان، عملکردهای اکولوژیکی مهم همچون حمایت از حیات‌وحش، حریم‌های هیدرولوژیکی و بهبود کیفیت آب، حفظ شادابی و حیات چشم‌انداز رودخانه‌ها، کنترل رواناب و کاهش فرسایش خاک و تثبیت ساحل رودخانه اهمیت خاصی دارند (Kocher & Harris, 2007; Kozlowski, 2002; Naiman & D'Ecamps, 1997, 2000; Soman et al., 2007). جنگل‌های طبیعی که در حاشیه رودخانه‌های دائمی استان خوزستان عرصه گسترده‌ای را پوشانده‌اند، به‌رغم اهمیت بسیار زیاد، با تخریب فراوان مواجه‌اند. به این دلیل که پایداری پوشش گیاهی در این مناطق نقش مهمی در نگهداری اکوسیستم دارد، احیا و مدیریت آن برای پایداری عملکرد بوم‌سازگان ضروری است (غلامی و همکاران، ۱۳۹۰).

نظر به اهمیت محیط‌زیستی این جنگل‌ها در منطقه خوزستان و با توجه به اینکه تهیه اطلاعات موضوعی دقیق و به‌روز یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در مدیریت موفق منابع جنگلی و به‌ویژه جنگل‌های رودخانه‌ای است، بی‌شک به‌دست‌آوردن این اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، با توجه به مزایایی همچون استفاده از قسمت‌های گوناگون طیف الکترومغناطیسی، امکان به‌کارگیری سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای روزآمد، در صورتی که با روش‌های دقیق و جدید علمی همراه شود، می‌تواند یکی از سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌های تهیه این اطلاعات باشد. دقت و کیفیت اطلاعات استخراج‌شده از تصاویر ماهواره‌ای تحت تأثیر پارامترهای متفاوت، از جمله انتخاب داده و به‌کارگیری

الگوریتم مناسب است. یکی از پرکاربردترین روش استخراج اطلاعات از تصاویر «طبقه‌بندی»^۱ است و تا کنون روش‌های طبقه‌بندی گوناگونی در دنیای سنجش از دور معرفی شده‌اند و هریک براساس منطقی کلی و مجموعه‌ای فرضیات اساسی و پایدار مطرح شده و توسعه یافته‌اند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴).

یکی از مهم‌ترین مشکلات موجود بر سر راه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در بیشتر الگوریتم‌ها وجود تعداد کافی نمونه آموزشی است که تهیه آنها اغلب مشکل و گاه ناممکن است (Chi et al., 2008). این موضوع به‌ویژه در مواردی که طبقه‌بندی تصاویر با هدف بررسی تغییرات، در زمان‌های متفاوت، انجام می‌گیرد حائز اهمیت است زیرا در بیشتر موارد، تهیه تعداد کافی نمونه تعلیمی مربوط به زمان‌های گذشته امکان‌پذیر نیست. در این وضعیت، ماشین بردار پشتیبان که با تعداد کمتری نمونه تعلیمی می‌تواند نتایجی دقیق‌تر از دیگر روش‌ها عرضه کند (Mantero et al., 2005)، در بهبود فرایند طبقه‌بندی مؤثر است.

آرخی و ادیب‌نژاد (۱۳۹۰) قابلیت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با چهار نوع هسته را، برای تهیه نقشه کاربری اراضی، با استفاده از داده‌های ETM+ در حوزه سد ایلام ارزیابی و نتایج آن را با الگوریتم حداکثر احتمال مقایسه کرده‌اند. نتایج نشان داد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، به‌ویژه با سه کرنل خطی و چندجمله‌ای و شعاعی، دقتی بیش از روش حداکثر احتمال دارد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) الگوریتم‌های متفاوت طبقه‌بندی را به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، با استفاده از داده‌های ETM+، با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که دقت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بالاتر از روش‌های دیگر بود.

انگیزه اصلی اجرای این تحقیق این است که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، به‌رغم قابلیت‌های بالا در طبقه‌بندی تصاویر، کمتر از دیگر روش‌ها شناخته شده

درختی درهم‌فشرده و متراکم گز^۳ و پده^۴ و در برخی مناطق گونه‌ی درختچه‌ای سریم^۵ هستند که باعث پدید آمدن منطقه‌ای زیست‌محیطی و بوم‌سازگان طبیعی زیبایی در کنار رودخانه‌ی مارون شده است. همچنین سنگ‌های تشکیل‌دهنده‌ی حوزه‌ی مارون عبارت‌اند از: سنگ‌های آهکی، مارنی، شیلی، گچی و کنگلومرایی (مؤمن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

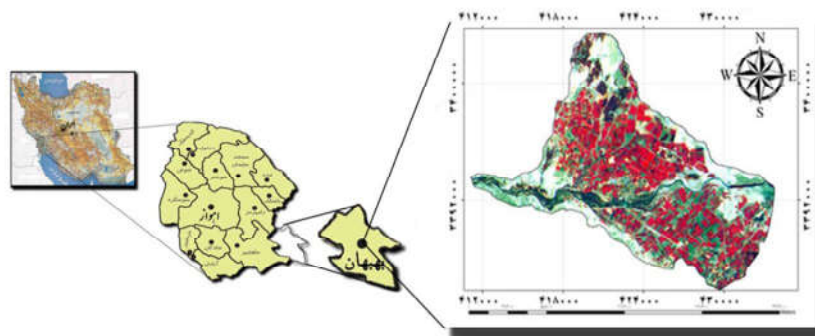
ماهواره‌ی لندست ۸ در ۱۱ فوریه‌ی ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است و دو سنجنده‌ی OLI و TIRS دارد که داده‌ها را هم‌زمان از سطح زمین گردآوری می‌کنند. سنجنده‌ی OLI، در نُه ناحیه‌ی متفاوت، طیف الکترومغناطیسی شامل باندهای مرئی، فروسرخ نزدیک و طول موج کوتاه فروسرخ و پرتوهای بازتابی از سطح زمین را ثبت می‌کند. توان تفکیک این سنجنده برای تمامی باندها، به‌استثنای باند پانکروماتیک که پانزده متر است، سی متر در نظر گرفته شده است. از سوی دیگر، سنجنده‌ی TIR دمای سطح زمین را در دو باند فروسرخ حرارتی اندازه‌گیری می‌گیرد. تصاویر این سنجنده نیز توان تفکیک صد متر را داراست (حسینی تبار و جعفرزاده، ۱۳۹۵). در این تحقیق از داده‌های سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی لندست ۸، با شماره‌ی گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۹، در ۱۲ ژوئن ۲۰۱۳ (۲۲ خرداد ۱۳۹۲) استفاده شد.

است و با وجود این، در سال‌های اخیر، استفاده از این الگوریتم به‌شدت رو به افزایش است. بنابراین، بررسی و مقایسه‌ی قابلیت الگوریتم ماشین بردار پشتیبان با الگوریتم حداکثر احتمال در طبقه‌بندی تصاویر و تهیه‌ی نقشه‌ی جنگل‌های رودخانه‌ای منطقه‌ی مارون به‌بهبان صورت پذیرفت و نیز تأثیر تعداد نمونه‌های تعلیمی در نتایج دو روش بررسی شد. همچنین در طی این تحقیق، قابلیت سنجنده‌ی نوین OLI که به‌تازگی روی ماهواره‌ی لندست ۸ فعالیت خود را آغاز کرده است در تهیه‌ی نقشه‌ی مورد نظر ارزیابی شد.

۲- روش کار

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

جنگل‌های حاشیه‌ی رودخانه‌ای مارون منطقه‌ای با ارزش زیست‌محیطی بالا و گونه‌های گیاهی و جانوری متنوع محسوب می‌شود (مؤمن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در این بررسی بخشی از این جنگل‌ها، واقع شده در میان طول ۴۱ تا ۴۴ درجه و عرض ۳۲ تا ۳۵ درجه، منطقه‌ی مورد مطالعه در نظر گرفته شده‌اند. این منطقه مساحتی در حدود ۱۶۹۹۸ هکتار دارد (شکل ۱) و براساس فرمول اقلیمی دومارتون^۱، دارای اقلیم نیمه‌خشک و براساس فرمول آمبرژه^۲، دارای اقلیم خشک است (ریاضی، ۱۳۹۱). جنگل



شکل ۱. جنگل‌های رودخانه‌ای مارون به‌بهبان در منطقه‌ی مورد مطالعه

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. De Martonne | 2. Emberger |
| 3. Tamarix arceuthoides | 4. Populus euphratica |
| 5. Lycium Shawii | |

۲-۳- نرم‌افزارهای مورد استفاده در تحقیق

در این تحقیق، از نرم‌افزار ENVI4.8 برای پردازش تصاویر و طبقه‌بندی تصاویر، و نرم‌افزار ArcGis v.10 برای ایجاد نقشه‌های نمونه‌تعلیمی و واقعیت زمینی استفاده شد. برای رسم نمودار و محاسبات آماری و آنالیز اطلاعات گردآوری‌شده از عملیات زمینی، نرم‌افزار EXCEL به کار رفت.

۲-۴- پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

در فرایند استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پیش‌پردازش‌هایی مانند تصحیحات اتمسفریک و رادیومتریک ضروری است. عمل کالیبراسیون سنجنده با استفاده از فرمول $L\lambda = MLQ_{cal} + AL$ و همچنین، تصحیح اتمسفریک داده‌ها نیز با استفاده از متد Quick انجام شد. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه از نظر توپوگرافی تقریباً یکنواخت بود، تصحیح خطای ناشی از اختلاف ارتفاع ضروری نبود (Jensen, 1996).

۲-۵- نقشه واقعیت زمینی

تهیه اطلاعات زمینی معمولاً به دو روش صددرصد یا نمونه‌ای انجام می‌گیرد (زبیری و مجد، ۱۳۸۲؛ رشیدی و همکاران، ۱۳۸۸). در این تحقیق، از روش نمونه‌برداری تصادفی برای برداشت نقاط کنترل زمینی، با استفاده از GPS دستی مدل Map76csX، استفاده شد. پس از وارد کردن نقاط کنترل زمینی برداشت‌شده با GPS، در محیط نرم‌افزار GIS، نقشه رستری با تعیین نوع کاربری در هر یک تهیه شد.

۲-۶- طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی طیفی تصاویر شامل مراحل انتخاب نمونه‌های تعلیمی، انتخاب بهترین مجموعه باندهای انجام‌دادن عملیات طبقه‌بندی است. برای تهیه نمونه‌های تعلیمی، پس از بررسی تصویر و شناسایی

کاربری‌ها، از هر کاربری تعدادی مناطق یا سطوح برای نمونه انتخاب شد و با برداشت مختصات آنها و بررسی زمینی، نوع پوشش آنها مشخص شد. در این فرایند، سعی بر این بود که از نمونه‌های کوچک‌تر ولی با پراکندگی بیشتر استفاده شود زیرا این امکان را افزایش می‌داد که داده‌های تعلیمی به‌منزله نماینده تمامی تغییرات در انواع پوشش‌های موجود در تصویر باشند (علوی‌پناه، ۱۳۸۸). پس از انتخاب دقیق نمونه‌های تعلیمی، تفکیک‌پذیری طبقه‌ها با استفاده از معیار واگرایی تبدیل‌شده^۱ و فاصله جفریس-ماتوسیتا^۲ در طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی، آیش، رودخانه، مسکونی و جاده و سه کلاس کاربری جنگل، رودخانه و مناطق دیگر بررسی شد. باید دقت داشت که کمترین میزان تفکیک‌پذیری با استفاده از معیار واگرایی و جفریس-ماتوسیتا صفر و بیشترین مقدار آن ۲ است (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۷؛ Gong et al., 1996; Laliberte et al., 2012; Thomas et al., 2002). برای طبقه‌بندی از الگوریتم حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبان استفاده شد.

۲-۷- الگوریتم حداکثر احتمال

روش حداکثر احتمال یکی از کارآترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است. در بیشتر مطالعات مرتبط با طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، این روش دقیق‌ترین روش طبقه‌بندی معرفی شده است (فتاحی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ناصری و همکاران، ۱۳۸۳؛ Irish et al., 2006; Liberti et al., 2006). در این الگوریتم، کلاسی به پیکسل مورد نظر اختصاص می‌یابد که بیشترین احتمال تعلق پیکسل به آن وجود دارد (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴). در این روش، معمولاً فرض می‌شود توزیع احتمال برای هر کلاس به‌صورت توزیع نرمال

1. transformed divergence
2. Jeffries -Matusita

غیرپارامتریکی است که نخستین بار، در سال ۱۹۶۵، ولادیمیر وپینک^۳ آن را مطرح کرد. این روش در واقع طبقه‌بندی‌کننده‌ای باینری است که در مورد دو کلاس مشخص و با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی در مرحله یادگیری، سعی در ایجاد فراصفحه‌ای دارد که از هر دو کلاس بیشترین فاصله را داشته باشد. از مهم‌ترین جنبه‌های خلاصه‌سازی این الگوریتم این است که برای تعیین مرز تصمیم‌گیری، از همه نقاط تعلیمی استفاده نمی‌شود و فقط تعدادی از نمونه‌های تعلیمی، که کمترین فاصله را از فراصفحه دارند و بردارهای پشتیبان نامیده می‌شوند، برای تعریف این مرز به کار می‌روند (Mountrakis et al., 2011). این الگوریتم بر مبنای تکنیک SRM^۴ مسائل را حل می‌کند. در این تکنیک، هدف این است که با ثابت نگاه‌داشتن میزان ریسک خطا و بدون وجود هیچ فرضی در زمینه توزیع احتمال داده‌ها، فاصله بین کلاس‌ها در فضای ویژگی بیشینه شود (Ibid.). این در حالی است که الگوریتم‌های طبقه‌بندی پارامتریک، همچون حداکثر احتمال، معمولاً توزیع احتمال خاصی را برای داده فرض می‌کنند. برخی از مهم‌ترین توابع هسته‌ای (کرنل) که در این الگوریتم صدق می‌کنند، عبارت‌اند از:

رابطه (۳)

$$K(X_i, X_j) = X_i \cdot X_j \quad \text{کرنل خطی}$$

رابطه (۴)

$$k(X, y) = (X \cdot y + 1)^p \quad \text{کرنل جمله‌ای}$$

رابطه (۵)

$$k(X, y) = e^{-\frac{\|x-y\|^2}{2\sigma^2}} \quad \text{کرنل پایه شعاعی}$$

چندبعدی است که از قانون توزیع گاوسی^۱ تبعیت می‌کند (آرخی و ادیب‌نژاد، ۱۳۹۰).

رابطه (۱)

$x \in W_i$ if $P(w_i|x) > P(w_j|x)$ for all $j \neq i$
 که در آن x بردار مقادیر طیفی پیکسل مورد نظر، w_i کلاس طیفی i و $P(w_i|x)$ احتمال تعلق پیکسل x به کلاس w_i است. برای محاسبه احتمال $P(w_i|x)$ که احتمالی ثانویه است از قانون بیژ^۲ کمک گرفته می‌شود. بدین منظور، ابتدا احتمال عکس $P(x|w_i)$ ، با فرض اینکه توزیع احتمال کلاس‌ها به صورت توزیع نرمال چندبعدی است، بدین ترتیب محاسبه می‌شود

رابطه (۲)

$$P(x|w_i) = (2\pi)^{-f/2} |\Sigma_i|^{-1/2} \exp\left\{-\frac{1}{2}(x - m_i)^t \Sigma_i^{-1} (x - m_i)\right\}$$

که در آن m_i بردار میانگین، Σ_i ماتریس کواریانس داده‌های کلاس W_i و f تعداد باندهاست. سپس احتمال اولیه درصد کلی حضور کلاس طیفی w_i در تصویر $P(w_i)$ ، با توجه به اطلاعات کلی موجود در رابطه با منطقه محاسبه می‌شود اما در عمل، به دلیل محدودیت اطلاعات جانبی، لزوم دقت بالا در تعیین احتمالات اولیه و امکان از بین رفتن کلاس‌های با مساحت اندک در خروجی طبقه‌بندی، از محاسبه احتمالات اولیه صرف نظر می‌شود و آنها را مساوی فرض می‌کنند. در نهایت، با محاسبه اجزای قانون بیژ، احتمال $P(w_i|x)$ برای هر پیکسل در تمامی کلاس‌ها و مشخص کردن بیشترین مقدار احتمال ثانویه بر حسب پیکسل مشخص می‌شود. بنابراین، اجرای این روش شامل برآورد میانگین کلاس و ماتریس کواریانس با استفاده از الگوهای آزمایشی انتخاب شده از نمونه‌های مشخص هر کلاس خاص است (همان).

۲-۸- الگوریتم ماشین بردار پشتیبان

این الگوریتم روش آماری یادگیری نظارت‌شده

1. Gaussian law 2. Bayes' theorem
 3. Vladimir Vapnik 4. structural risk minimization

$$P.A.j = \frac{X_{jj}}{\sum_{j=1}^r X_{ij}} \quad \text{رابطه (۱۰) دقت کاربر}$$

$$C_e = 1 - U.A \quad \text{رابطه (۱۱) خطای گماشته شده}$$

$$O_e = 1 - P.A \quad \text{رابطه (۱۲) خطای حذف شده}$$

۳- نتایج

نتایج حاصل از نقشه طبقه‌بندی شده با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال و ماشین بردار پشتیبانی (SVM) با هفت کلاس کاربری جنگل، مرتع، کشاورزی، آیش، رودخانه، مسکونی و جاده و سه کلاس کاربری جنگل، رودخانه و مناطق دیگر در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. برای طبقه‌بندی کاربری‌ها در روش ماشین بردار پشتیبان از چهار کرنل خطی^۷، چندجمله‌ای^۸، شعاعی^۹ و حلقوی^{۱۰} استفاده شد. برای تعیین صحت طبقه‌بندی، از نمونه‌های کنترل (به جز نمونه‌های تعلیمی به کار گرفته شده) و همچنین نمونه‌های تعلیمی استفاده شد. بالاترین صحت کلی ۹۹/۲۴ مربوط به طبقه‌بندی به روش ماشین بردار پشتیبان، با کرنل چندجمله‌ای، روی باندهای اصلی سنجنده OLI با سه کلاس کاربری به دست آمد. همچنین در شکل ۲ صحت طبقه‌بندی با ۲۴۱، ۱۴۱ و ۴۰ نمونه تعلیمی برای ارزیابی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان، در صورت داشتن نمونه‌های متفاوت، مقایسه شده است. در شکل ۳ و ۴ بهترین نقشه‌های تهیه شده در این بررسی نشان داده شده است.

رابطه (۶)

$$k(X, y) = \tanh(kX \cdot y - \delta)$$

میزان دقت و کارایی الگوریتم ماشین بردار پشتیبان تحت تأثیر نوع کرنل به کاررفته و این نکته که برای طبقه‌بندی یک مجموعه داده خاص، کدام کرنل بهترین نتیجه را می‌دهد به وضوح مشخص نیست. بنابراین، باید با بررسی کرنل‌های متفاوت بهترین آنها تعیین شود (Hsu et al., 2008).

۲-۹- دقت طبقه‌بندی

عرضه نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بدون پارامتر یا عاملی که میزان صحت و سقم داده‌ها را نشان دهد از ارزش آنها می‌کاهد و کاربرد عملی آنها را با ابهام روبه‌رو می‌کند. با اینکه تا کنون روش‌های متفاوتی برای ارزیابی نتایج طبقه‌بندی مطرح شده، متداول‌ترین روش ارزیابی دقت استفاده از پارامترهای آماری استخراجی از ماتریس خطاست. این پارامترها عبارت‌اند از دقت کلی^۱، ضریب کاپا^۲، دقت کاربر^۳، دقت تولیدکننده^۴، خطای گماشته شده^۵ و خطای حذف شده^۶ که معادلات آنها در ادامه آورده شده است (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴؛ آرخی و ادیب‌نژاد، ۱۳۹۰؛ علوی‌پناه، ۱۳۸۸؛ بنیاد و حاجی‌قادری، ۱۳۸۶).

$$O.A. = \frac{\sum_{i=1}^c E_{ij}}{N} \quad \text{رابطه (۷)}$$

C تعداد کلاس‌ها، N تعداد کل پیکسل‌های معلوم و E_{ij} اعضای قطری ماتریس خطاست.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_i + X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_i + X_{+i})} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{+i} مجموع عناصر سطر i و X_{i+} مجموع عناصر ستون i است.

$$P.A.j = \frac{X_{jj}}{\sum_{i=1}^r X_{ij}} \quad \text{رابطه (۹) دقت تولیدکننده}$$

- | | |
|---------------------|------------------------|
| 1. overall accuracy | 2. Kappa coefficient |
| 3. user's accuracy | 4. producer's accuracy |
| 5. commission | 6. omission |
| 7. linear | 8. polynomial |
| 9. radial | 10. sigmoid |

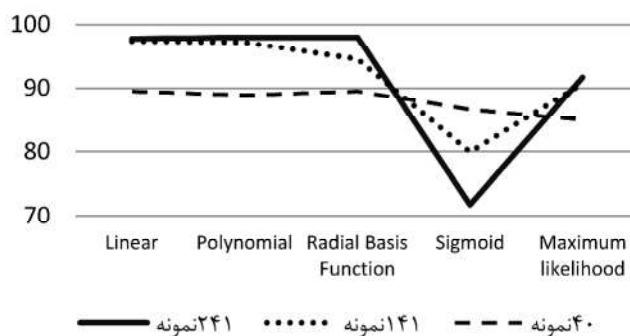
علی اصغر تراهی و همکاران

جدول ۱. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI

کاربری	SVM									
	Maximum likelihood	SVM Sigmoid		SVM Radial Basis Function		SVM Polynomial		SVM Linear		
	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده
جنگل	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۶۱	۸۲/۵۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مرتع	۹۸/۵۲	۸۴/۷۵	۶۵/۴۲	۹۹/۲۵	۹۷/۴۸	۹۸/۳۱	۹۷/۴۸	۹۸/۳۱	۹۷/۴۷	۹۷/۸۸
کشاورزی	۱۰۰	۱۰۰	۹۹/۸۱	۹۶/۲۳	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
آبش	۶۴/۱۵	۱۰۰	۸۷/۶۲	۶۳/۳۱	۹۴/۴۴	۱۰۰	۹۴/۴۴	۱۰۰	۹۳/۱۵	۱۰۰
رودخانه	۱۰۰	۱۰۰	۲۹/۲۳	۱۵/۸۵	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
مسکونی	۱۰۰	۸۵/۷۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
جاده	۱۰۰	۷۵	۱۰۰	۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰	۵۰	۱۰۰	۵۰
صحت کلی	۹۱/۷۰		۷۱/۷۸		۹۷/۹۷		۹۷/۹۷		۹۷/۷۷	
ضریب کاپا	۰/۸۸		۰/۵۰		۰/۹۷		۰/۹۷		۰/۹۶	

جدول ۲. نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI

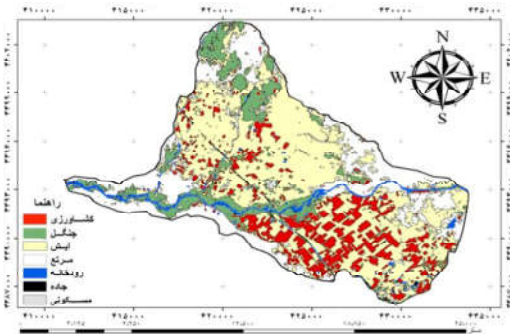
کاربری	SVM									
	Maximum likelihood	SVM Sigmoid		SVM Radial Basis Function		SVM Polynomial		SVM Linear		
	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده	صحت کاربر	صحت تولیدکننده
جنگل	۹۷/۹۶	۹۴/۱۲	۱۰۰	۱۱/۷۶	۹۸	۹۶/۰۸	۹۸	۹۶/۰۸	۱۰۰	۱۰۰
دیگر مناطق	۹۸/۷۵	۱۰۰	۸۶/۱۴	۱۰۰	۹۹/۰۶	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۳۱	۹۸/۷۵	۱۰۰
رودخانه	۱۰۰	۸۶/۶۷	۱۰۰	۸۰	۱۰۰	۹۳/۳۳	۹۶/۶۷	۱۰۰	۱۰۰	۹۳/۳۳
صحت کلی	۹۸/۹۹		۸۷/۱۸		۹۸/۹۹		۹۹/۲۴		۹۸/۷۴	
ضریب کاپا	۰/۹۷		۰/۵۰		۰/۹۷		۰/۹۷		۰/۹۶	



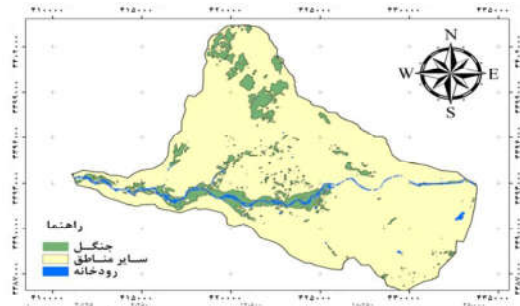
شکل ۲. مقایسه صحت طبقه‌بندی با ۲۴۱، ۱۴۱ و ۴۰ نمونه تعلیمی در الگوریتم‌های SVM و حداکثر احتمال

سنجش از دور و GIS ایران
سال نهم = شماره اول = بهار ۱۳۹۶

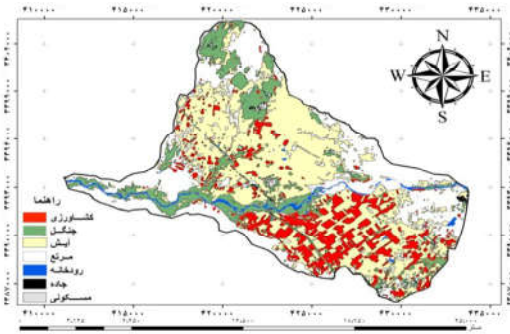
ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان و حداکثر ...



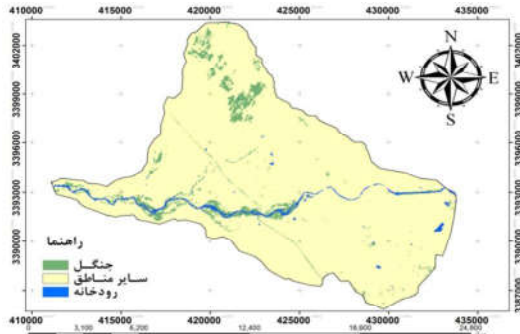
شکل ۴. نقشه طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری به روش حداکثر احتمال، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



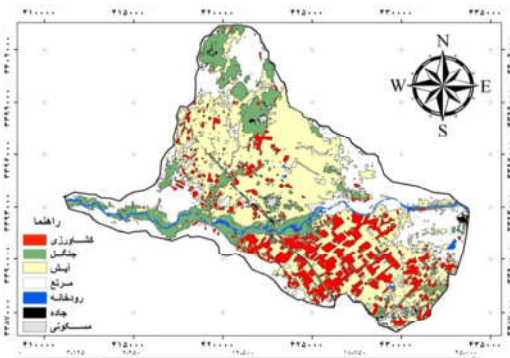
شکل ۳. نقشه طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری به روش حداکثر احتمال، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



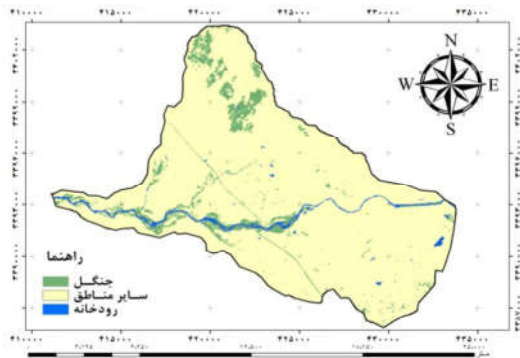
شکل ۶. نقشه طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری به روش SVM-LINEAR، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



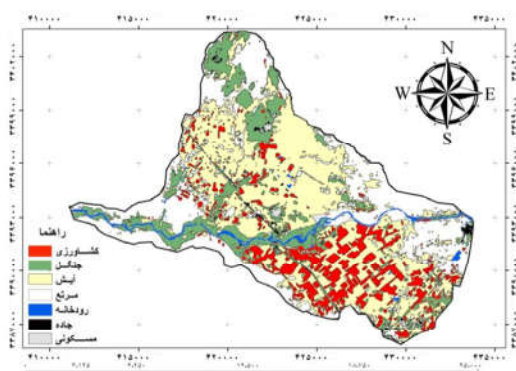
شکل ۵. نقشه طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری به روش SVM-LINEAR، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



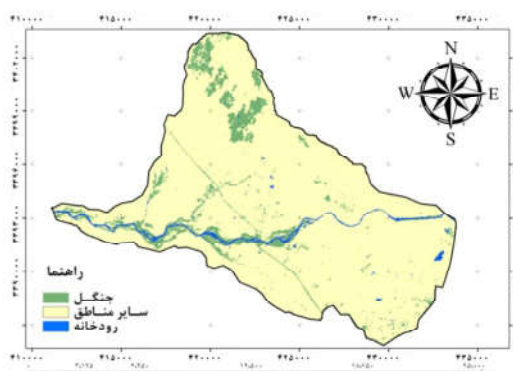
شکل ۸. نقشه طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری به روش SVM-Polynomial، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



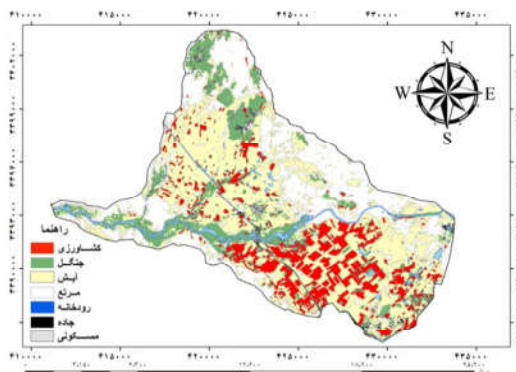
شکل ۷. نقشه طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری به روش SVM-Polynomial، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



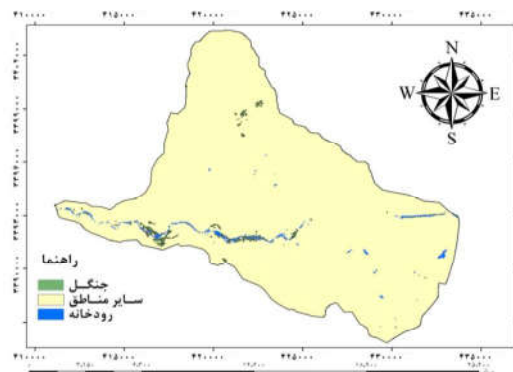
شکل ۱۰. نقشه طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری به روش SVM- RADIAL، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



شکل ۹. نقشه طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری به روش SVM- RADIAL، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



شکل ۱۲. نقشه طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری به روش SVM- SIGMIOD، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI



شکل ۱۱. نقشه طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری به روش SVM- SIGMIOD، با استفاده از باندهای اصلی سنجنده OLI

۴- بحث و نتیجه‌گیری

مواردی باشد که تا حدودی طبقه‌بندی را مشکل می‌نمود و در نتایج تحقیق اثر می‌گذاشت. براساس نتایج به‌دست آمده، طبقه‌بندی با هفت کلاس کاربری با استفاده از هسته‌های خطی، چندجمله‌ای و شعاعی، همانند بررسی‌های آرخی و ادیب‌نژاد (۱۳۹۰)، صحتی بیشتر از طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال را نشان داد اما در طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری، تفاوت محسوسی بین طبقه‌بندی با سه هسته یادشده و حداکثر احتمال مشاهده نشد. فقط در طبقه‌بندی با هسته چندجمله‌ای بیشترین صحت طبقه‌بندی (۹۹/۲۴) حاصل شد که این نیز گویای بهتر بودن طبقه‌بندی با این روش، در

برای مدیریت پایدار جنگل، باید به مشخصات اکولوژیکی منظر توجه داشت که ازجمله این مشخصات الگوی مکانی درون منظر است. یکی از موارد الگوهای مکانی اطلاعات پوشش اراضی است که می‌توان آن را به‌آسانی، از راه طبقه‌بندی داده‌های دورسنجی تهیه کرد (درویش‌صفت و همکاران، ۱۳۹۰). منطقه مورد بررسی از نظر زیست‌محیطی اهمیت فراوانی دارد؛ به‌ویژه اینکه این منطقه در استان خوزستان واقع شده است، جنگل‌های مورد نظر اغلب دارای پوشش درختی گز و پدهاند، عرض منطقه کم و گونه‌های درختی به‌صورت پراکنده‌اند. همچنین همجواری منطقه مورد مطالعه با اراضی کشاورزی می‌تواند از

مصادقی بر این مطلب به‌شمار می‌رود. از دلایل این امر می‌توان به این نکته اشاره داشت که روش پارامتریک حداکثر احتمال واریانس و کواریانس کلاس‌ها را براساس انعکاس طیفی طبقات ارزیابی می‌کند (لیسلند و کیفر، ۱۳۸۷؛ علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۷) و هر پیکسل را در کلاسه‌ای طبقه‌بندی می‌کند که حداکثر احتمال در آن کلاس حضور دارد؛ به‌عبارت دیگر، توزیع احتمال خاصی را برای داده فرض می‌کند. اما در روش غیرپارامتریک ماشین بردار پشتیبان، همان‌طور که گفته شد، بدون هیچ فرضی در مورد توزیع احتمال داده‌ها فاصله بین کلاس‌ها حداکثر می‌شود (Mountrakis et al., 2011). همچنین نتایج این بررسی نشان داد که چون این روش در منطقه مذکور کمتر به‌کار رفته است، در جنگل‌هایی با پوشش درهم‌فشرده و همجوار با رودخانه نیز می‌توان از این روش در تحقیقات استفاده کرد.

درنهایت و با توجه به صحت کلی نقشه و نتایج حاصل، می‌توان بیان کرد تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای تهیه نقشه کلی از منطقه جنگلی مارون به‌بهبان و تفکیک کاربری‌های متفاوت در این منطقه قابلیت مناسبی دارند که این ممکن است به‌دلیل داشتن قدرت تفکیک طیفی مناسب این سنجنده، در مجموعه باندهای اصلی، عنوان شود. بنابراین می‌توان بیان داشت تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ جایگزینی مناسب برای تصاویر سنجنده ETM+ ماهواره لندست ۷ در منطقه یادشده محسوب می‌شوند.

۵- منابع

آرخی، ص.، ادیب‌نژاد، م.، ۱۳۹۰، ارزیابی کارایی الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره ای ETM+ لندست (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)، فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۸، ش. ۳، ص. ۴۴۰.

مقایسه با روش حداکثر است. البته شایان ذکر است، همانند بررسی‌های آرخی و ادیب‌نژاد (۱۳۹۰)، استفاده از هسته حلقوی برای طبقه‌بندی تصاویر صحتی کمتر از دیگر روش‌ها نشان داد که نتایج حاصل از هر دو نوع طبقه‌بندی با هفت و سه کلاس کاربری مؤید این مطلب است.

کاهش تعداد کلاس‌ها از هفت به سه کلاس کاربری باعث افزایش صحت طبقه‌بندی با استفاده از هر دو الگوریتم مورد نظر شد؛ بنابراین، طبقه‌بندی با سه کلاس کاربری همانند مطالعات حسینی و همکاران^۱ (۲۰۰۴)، محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، لطیفی (۱۳۸۴) و دولتی (۱۳۸۶) صحت بیشتری را نشان داد. این امر را می‌توان به‌دلیل ترکیب کاربری‌هایی دانست که موجب تداخل طیفی طبقات در یکدیگر و در نتیجه، تفکیک‌پذیری نامناسب می‌شوند.

در بررسی مقایسه تعداد نمونه‌های تعلیمی روش ماشین بردار پشتیبان، مشخص شد که کاهش نمونه‌ها فقط تا حد متوسط می‌تواند سبب افزایش (همانند بررسی‌های Mantero et al., 2005) و یا بی‌تأثیر بودن صحت کلی طبقه‌بندی، در قیاس با تعداد نمونه‌های مناسب شود و کاهش بیشتر نمونه‌ها به کاهش صحت کلی طبقه‌بندی می‌انجامد. افزایش صحت کلی با ۴۰ نمونه تعلیمی، به‌نسبت ۱۴۱ و ۲۴۱ نمونه، فقط در روش حلقوی مشاهده شد. شاید دلیل این امر به‌کارنگرفتن تمامی نمونه‌ها در روش ماشین بردار پشتیبان باشد زیرا فقط از نمونه‌هایی استفاده می‌شود که کمترین فاصله از فراصفحه را دارند (Mountrakis et al., 2011).

به‌طور کلی و براساس نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی، طبقه‌بندی با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان در منطقه جنگل‌های رودخانه‌ای مارون بهتر از طبقه‌بندی حداکثر احتمال است و مطالعات یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) در ارتباط با این الگوریتم نیز

1. Hosseini et al.

- آرونف، ا.، ۱۳۹۰، **سنجش از دور برای مدیران GIS**، ترجمه علی اصغر درویش صفت و دیگران، انتشارات دانشگاه تهران.
- بنیاد، ا.ا.، حاجی قادری، ط.، ۱۳۸۶، **تهیه نقشه جنگل های طبیعی استان زنجان با استفاده از داده های سنجنده ETM+ لندست ۷**، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ۱۱، ش. ۴۲، صص. ۶۲۷-۶۳۸.
- حسینی تبار، سیدمحمد و جعفر زاده، جعفر، ۱۳۹۵، **گامی نو در پردازش تصاویر ماهواره ای (مبانی و کاربرد) ENVI۵.۳**، انتشارات ناقوس، ۲۰۹ص.
- درویش صفت، ع. ا.، پیرباوقار، م. و رجب پور رحمتی، م.، ۱۳۹۰، **سنجش از دور برای مدیران GIS**، تالیف: استن آرونف، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۷ص.
- دولتی، م.، ۱۳۸۶، **طبقه بندی تراکم جنگل های دست کاشت تاغ با استفاده از داده های ETM+ و IRS (مطالعه موردی: جنگلکاری تاغ حسین آباد میش مست استان قم)**، پایان نامه کارشناسی ارشد گروه جنگلداری دانشگاه مازندران.
- رشیدی، ف.، بابایی کفاکی، س.، اولادی، ج.، ۱۳۸۸، **بررسی قابلیت داده های رقومی سنجنده ETM+ در تفکیک تیپ های جنگلی (مطالعه موردی: منطقه لفور سوادکوه)**، فصلنامه علمی - پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۷، ش. ۱، صص. ۵۱-۶۳.
- ریاضی، آ.، ۱۳۹۱، **مطالعه ساختار و ترکیب جنگل های رودخانه ای حوزه مارون بهبهان**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان.
- زبیری، م.، مجد، ع.، ۱۳۸۲، **آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی**، انتشارات دانشگاه تهران.
- علوی پناه، س.ک.، متین فر، ح.ر.، رفیعی امام، ع.، ۱۳۸۷، **کاربرد فناوری اطلاعات در علوم زمین (خاک شناسی رقومی)**، مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول.
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۸، **اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره ای و عکس های هوایی**، انتشارات دانشگاه تهران.
- غلامی، ش.، حسینی، س.م.، محمدی، ج.، سلمان ماهینی، ع.، ۱۳۹۰، **تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی ماکروفون خاک در جنگل های حاشیه رودخانه کرخه**، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، ش. ۶، ص. ۱۱۷۲.
- فاطمی، س.ب.، رضایی، ی.، ۱۳۸۴، **مبانی سنجش از دور**، انتشارات آزاده.
- فتاحی، م.م.، نوروزی، ع.ا.، آبکار، ع.ا.، خلخالی، س.ع.، ۱۳۸۶، **مقایسه روش های طبقه بندی و تهیه نقشه استفاده از اراضی Land use مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره ای**، پژوهش سازندگی در منابع طبیعی، ش. ۷۶، صص. ۱۳۵-۱۲۹.
- لطیفی، ه.، ۱۳۸۴، **ارزیابی سنجنده ETM+ برای تهیه نقشه جنگل، اکوتون، RANGLAND در منطقه جنگل های نکا ظالم رود**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه منابع طبیعی و کشاورزی گرگان.
- لیسند، ت.م.، کیفر، رو.، ۱۳۸۷، **سنجش از دور و تفسیر تصاویر ماهواره ای**، ترجمه جعفر اولادی قادیکلایی، انتشارات دانشگاه مازندران.
- محمدی، ج.، شتابی، ش.، یغمایی، ف.، سلمان ماهینی، ع.، ۱۳۸۸، **طبقه بندی طبقات سنی توده های جنگلی با استفاده از داده های ماهواره لندست، سنجنده ETM+**، مجله پژوهش های علوم و فناوری چوب و جنگل، جلد ۱۶، ش. ۳، صص. ۴۳-۵۶.

- Hsu, C.W., Chang, C.C. & Lin, C.J., 2008, **A Practical Guide to Support Vector Classification**, Available at: <http://www.esie.ntu.edu.lc/jlin/papers/guide/guide.pdf>
- Irish, R.R., Barker, J.L., Goward, S.N. & Arvidson, T., 2006, **Characterization of the Landsat-7 ETM Automated Cloud-Cover Assessment (ACCA) Algorithm**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 72, No. 10, October, PP. 1179–1188.
- Jensen, J.R., 1996. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 2d ed. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Kocher, S.D. & Harris, R., 2007, **Riparian Vegetation**, Forest Stewardship Series 10, Publication 8240.
- Kozlowski, T.T., 2002, **Physiological-Ecological Impacts of Flooding on Riparian Forest Ecosystems**, Wetlands, 22, PP. 550–561.
- Laliberte, A.S., Browning, D.M. and Rango, A., 2012, **A Comparison of Three Feature Selection Methods for Object-Based Classification of Sub-Decimeter Resolution UltraCam-L Imagery**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 15, 70–78.
- Liberti, M., Simoniello, T., Carone, M.T., Coppola, R., D'Emilio, M., Lanfredi, M. & Macchiato, M., 2006, **Badlands Area Mapping from Landsat-ETM Data**, Center for Remote Sensing of Land Surfaces, Bonn, 28–30.
- Mantero, P., Moser, G. & Serpico, S.B., 2005, **Partial Supervised Classification of Remote Sensing Images Through SVM-Based probability Density Estimation**, IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, No. 3, March, PP. 559–570.
- Mathur, A. & Foody, G.M., 2008a, **Multiclass and Binary SVM Classification: Implication for Training and Classification Users**, IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters 5, 241–245.
- مصداقی، م.، ۱۳۸۴، **بوم‌شناسی گیاهی**، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- مؤمن‌زاده، ا.، نبوی، س.م.، فرخیان، ف.، رجب‌زاده قطرمی، ا.، ۱۳۹۰، **ارزیابی توان اکولوژیکی حوزه دریاچه سد مارون برای کاربری اکوتوریسم و ارائه راهکارهایی به‌منظور توسعه این صنعت**، مجله تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال دوم، ش. ۸، تابستان، صص. ۳-۱۹.
- ناصری، ف.، درویش‌صفت، ع.ا.، سبحانی، ه.، نمیرانیان، م.، ۱۳۸۳، **ارزیابی داده‌های لندست ۷ برای تهیه نقشه تراکم جنگل در نواحی خشک و نیمه خشک**، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، ش. ۱، صص. ۱۰۹-۱۱۹.
- یوسفی، ص.، تازه، م.، میرزایی، س.، مرادی، ح.ر.، توانگر، ش.، ۱۳۹۰، **مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)**، کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، ش. ۲، صص. ۱۵-۲۵.
- Chi, M., Feng, R., Bruzzone, L., 2008, **Classification of Hyperpectral Remote Sensing Data With Primal SVM for Small-Sized Training Dataset Problem**, Advances in Space Resarch, 41, PP. 1793–1799.
- Gong, P., Pu, R. & Chen, J., 1996, **Mapping Ecological Land Systems and Classification Uncertainties from Digital Elevation and Forest-Cover Data Using Neural Networks**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 62, No.11, PP. 1249–1260.
- Hosseini, S.Z., Khajeddin, S.J., Azarnivad, H. & Khalilpour, S.A., 2004, **Application of ETM+ Data for Estimating Rangelands Cover Percentage (Case Study: Chamestan Area, Iran)**, XXth ISPRS Congress Technical Commission VII, Istanbul, Turkey, July 12–23, PP. 198–201.

Mountrakis, G., Im, J. & Ogole, C., 2011, **Support Vector Machines in Remote Sensing: A Review**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66, PP. 247–259.

Naiman, R.J. & D'Ecamps, H., 1997, **The Ecology of Interfaces: Riparian Zones**, Annu. Rev. Ecol. Syst. 28, PP. 621–58, School Of Fisheries, Box 357980, University of Washington

Naiman, R.J., Bilby, R.E. & Bisson, P.A., 2000, **Riparian Ecology and Management in the Pacific Coastal Rain Forest**, Bioscience, Vol. 50, No. 11.

Soman, S., Beyeler, S., Kraft, S.E., Thomas, D. & Winstanley, D., 2007, **Ecosystem Services from Riparian Areas: A Brief Summary of the Literature**, Available at: <http://www.verdevalley.org/RiparianAreas.pdf> (link is external)

Thomas, V., Treitz, P., Jelinski, D., Miller, J., Lafleur, P. & McCaughey, J.H., 2002, **Image Classification of Northern Peatland Complex Using Spectral and Plant Community Data**, Remote Sensing of Environment journal 84, 83–99.