

بررسی مقایسه‌ای روش‌های چندگانه طبقه‌بندی جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین (مطالعه موردی: حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج)

مریم علی‌زاده - کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
روح‌اله میرزایی* - استادیار محیط‌زیست، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
سید حسین کیا - استادیار مدعو محیط‌زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

وصول: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۱

چکیده

مدیریت سرزمین در راستای توسعه پایدار، نیازمند داده‌های قابل اعتماد و به روز کاربری سرزمین و پهنه‌بندی تغییرات آن در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی است. در این راستا، مدیریت منابع آب با هدف حفظ کیفیت آن برای مصارف گوناگون نیز مستلزم بررسی کاربری سرزمین و تغییرات آن در سطح حوضه آبخیز است. بر این اساس، هدف اولیه پژوهش حاضر، ارزیابی کارایی روش‌های مختلف سنجش از دور در طبقه‌بندی داده‌های طیفی سنجنده OLI جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین در حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج است. با استفاده از نه روش طبقه‌بندی شامل حداقل فاصله از میانگین، سطوح موازی، فاصله ماهالانویی، زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی، کدهای باینری، بیشینه احتمال، شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان نقشه کاربری سرزمین حوضه مورد نظر در سطوح یک و دو اندرسون به ترتیب در پنج و نه طبقه کاربری تهیه شد. بر اساس صحت‌سنجی طبقه‌بندی با استفاده از تصاویر گوگل ارث و نقاط دقیق کنترل زمینی، روش بیشینه احتمال به ترتیب با ضریب کاپا ۰/۷۷ و ۰/۷۶ و همچنین صحت کلی ۸۴/۹۴٪ و ۸۰/۷۰٪ به عنوان بهترین روش طبقه‌بندی نظارت‌شده جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین در حوضه آبخیز مورد نظر در سطح محلی و منطقه‌ای مشخص شد؛ همچنین پس از روش مذکور، روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و فاصله ماهالانویی نیز در طبقه‌بندی تصاویر صحت قابل قبولی را ارائه دادند؛ چنین نتیجه‌ای بیانگر این مطلب است که همانند انتخاب روش، دقت در اجرای روش‌های طبقه‌بندی نقشه کاربری سرزمین و ارزیابی صحت می‌تواند بسیار مهم باشد و نتایج را تحت تأثیر قرار دهد.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، طبقه‌بندی، بیشینه احتمال، تصویر ماهواره‌ای، حوضه آبخیز.

مقدمه

کاربری سرزمین، معمولاً بر اساس استفاده انسان از زمین، با تأکید بر نقش کاربردی زمین در فعالیت‌های اقتصادی تعریف می‌شود. کاربری سرزمین به نوع استفاده از زمین در وضعیت موجود گفته می‌شود که شامل تمامی کاربری در بخش‌های مختلف کشاورزی، منابع طبیعی و صنعت می‌گردد. الگوهای کاربری سرزمین بیان‌کننده ویژگی یک جامعه در تعامل با محیط فیزیکی است. شناخت توزیع کاربری سرزمین در فعالیت‌های برنامه‌ریزی و مدیریت منابع طبیعی ضروری است. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به دلیل فراهم‌ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، سهولت‌الوصولی، دقت بالای اطلاعات به دست آمده و سرعت بالای تجزیه و تحلیل، راه مناسبی برای تهیه نقشه کاربری سرزمین به‌ویژه در مناطق جغرافیایی وسیع است (سفیانیان و خداکرمی، ۱۳۹۰). یکی از روش‌های پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی است که به کاربران امکان تولید اطلاعات مختلف را می‌دهد. برای تفکیک پدیده‌های موضوعی و استخراج دقیق‌تر اطلاعات، با توجه به نوع روش طبقه‌بندی، منطقه مورد مطالعه، ویژگی‌های نقاط تعلیمی و نقاط کنترل زمینی نتایج متفاوتی حاصل می‌شود (مختاری و نجفی، ۱۳۹۴). امروزه، از متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های طبقه‌بندی مورد استفاده، می‌توان به روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده اشاره کرد. در روش نظارت‌شده، برای طبقه‌بندی پیکسل‌های تصویر، کاربر باید تعدادی منطقه تعلیمی معرف برای هر یک از طبقه‌های از پیش تعیین‌شده انتخاب نماید (سبزقبایی و همکاران، ۱۳۹۴).

در روش سطوح موازی^۱، بر اساس حداکثر و حداقل ارزش پیکسل نقاط تعلیمی تعریف‌شده در هر طبقه، طبقه‌بندی تصاویر انجام می‌شود (تراهی و همکاران، ۱۳۹۴). در روش فاصله ماهالانوبی^۲، فرض می‌شود که هیستوگرام باندها به صورت نرمال بوده و از ماتریس کواریانس در طبقه‌بندی استفاده می‌شود. در روش حداقل فاصله از میانگین^۳، پس از تعیین مقدار میانگین طیفی در هر باند، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی‌نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه شده و پیکسل مورد نظر به طبقه‌ای اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله با میانگین را دارد (الاحمدی و هامس^۴، ۲۰۰۹). در روش کدهای باینری^۵، داده‌ها و طیف‌ها بر اساس اینکه، یک باند بالاتر یا پایین‌تر از میانگین طیفی باشد به ترتیب بین صفر و یک کددهی می‌شود. روش زاویه طیفی^۶ و واگرایی اطلاعات طیفی^۷ بر اساس طیف باندها عمل می‌کنند با این تفاوت که در روش زاویه طیفی از یک زاویه بدون بعد برای نسبت دادن پیکسل‌های مورد نظر به طیف باندی استفاده می‌شود؛ ولی در روش واگرایی اطلاعات طیفی، طبقه‌بندی بر اساس اندازه واگرایی تطابق پیکسل‌ها به طیف مورد نظر صورت می‌گیرد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳، الف). در روش بیشینه احتمال^۸ طبقه‌بندی بر اساس واریانس و کواریانس انجام می‌شود و در طبقه‌بندی، پیکسل مورد نظر به طبقه‌ای نسبت داده می‌شود که بیشترین احتمال تعلق پیکسل

1- Parallelepiped

2- Mahalanobis Distance

3- Minimum Distance

4- Al-Ahmadi & Hames

5- Binary Encoding

6- Spectral Angel Mapper (SAM)

7- Spectral Information Divergence (SID)

8- Maximum Likelihood

به آن طبقه وجود دارد (سانهوس گارسیا^۱ و همکاران، ۲۰۱۶؛ اتوکی و بلسچک^۲، ۲۰۱۰؛ لیو^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). شبکه عصبی مصنوعی^۴، روش محاسباتی در طبقه‌بندی داده‌ها به شمار می‌آید و برای انواع داده‌ها در مقیاس‌های آماری گوناگون قابل استفاده است (احمدی ندوشن و همکاران، ۱۳۸۸؛ سونار اربک^۵ و همکاران، ۲۰۰۴). در روش ماشین بردار پشتیبان^۶، یک رمز تصمیم‌گیری خطی بهینه برای جداکردن طبقه‌ها ایجاد می‌شود و با استفاده از همه باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای طبقه‌ها را تشکیل می‌دهند طبقه‌بندی انجام می‌شود (شاو و لونتتا^۷، ۲۰۱۲). در سال‌های اخیر استفاده از روش‌های ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای رو به افزایش است (شاو و لونتتا، ۲۰۱۲؛ پرومال و باسکاران^۸، ۲۰۱۰؛ فودی^۹، ۲۰۰۱).

تا کنون مطالعات متعددی تلاش کرده‌اند تا روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده را برای تهیه نقشه کاربری سرزمین مقایسه کنند تا بتوانند بهترین روش را برای این منظور معرفی کنند (محمدی، ۱۳۹۵؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳، الف؛ تراهی و همکاران، ۱۳۹۴؛ یوسفی و همکاران، ۱۳۹۳، ب؛ لی^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۴). بررسی این مطالعات نشان می‌دهد که نتایج آنها ممکن است بسیار متفاوت باشد. به عنوان نمونه محمدی (۱۳۹۵)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۳، ب)، لی و همکاران (۲۰۱۴) و تراهی و همکاران (۱۳۹۴)، با به‌کارگیری روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده به این نتیجه رسیدند که روش بیشینه احتمال جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین کارایی بالاتری نسبت به سایر روش‌ها داشته است. در حالی که یوسفی و همکاران (۱۳۹۳، الف) در مقایسه روش‌های مختلف طبقه‌بندی، روش ماشین بردار پشتیبان را به عنوان بهترین روش جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین معرفی کردند. با بررسی این مطالعات مشخص می‌شود که عوامل مختلفی از جمله منطقه مطالعاتی، ویژگی‌های نقاط تعلیمی و نقاط کنترل زمینی در انتخاب روش اثرگذار هستند و این موضوع باعث اختلاف در نتایج تحقیقات مختلف شده است؛ از این رو، هدف این پژوهش، مقایسه کارایی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در طبقه‌بندی کاربری سرزمین منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصویر سنجنده OLI^{۱۱} ماهواره لندست ۸ در سال ۱۳۹۲ است.

معرفی منطقه مورد بررسی

حوضه آبخیز رودخانه کن، در حد فاصل عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 46'$ تا $35^{\circ} 58'$ شمالی و طول‌های جغرافیایی $51^{\circ} 10'$ تا $51^{\circ} 23'$ شرقی در منطقه‌ای به وسعت تقریبی ۲۱۵ کیلومترمربع واقع شده است که در غرب با حوضه آبخیز حصارک، در شمال با حوضه آبخیز رودخانه جاجرود، در شرق با حوضه آبخیز وردیج و در جنوب با شهر تهران مرزبندی شده است. ارتفاع متوسط این حوضه حدود ۲۵۰۰ متر است که بیشترین

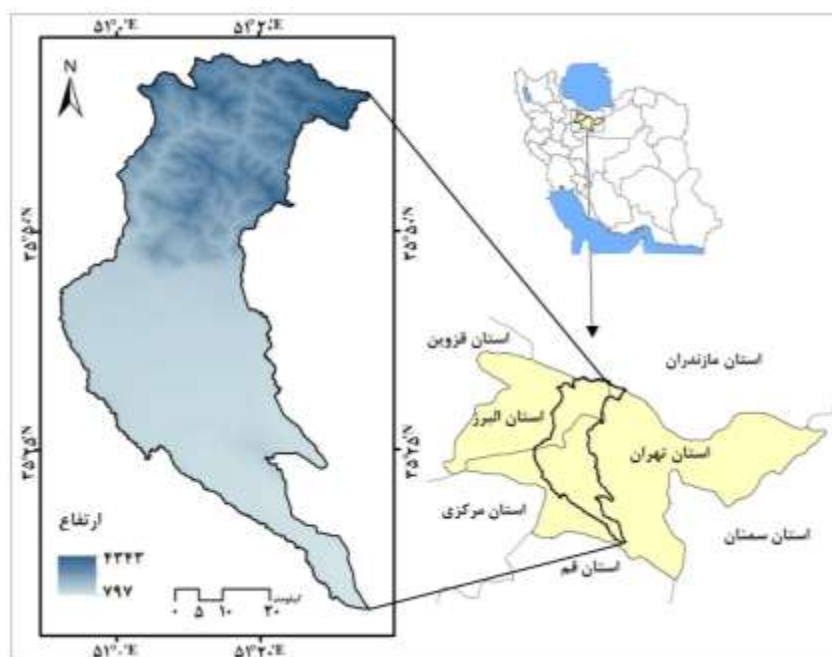
- 1- Sanhouse-García
- 2- Otukei & Blaschke
- 3- Liu
- 4- Neural Net
- 5- Sunar Erbek
- 6- Support Vector Machine (SVM)
- 7- Shao & Lunetta
- 8- Perumal & Bhaskaran
- 9- Foody
- 10- Li
- 11- Operational Land Imager (OLI)

ارتفاع آن ۳۸۲۳ متر در ارتفاعات امامزاده داوود (ع) و کمترین ارتفاع آن نیز در خروجی حوضه حدود ۱۳۲۷ متر است.

حوضه آبخیز رودخانه کرج واقع در مختصات جغرافیایی 51° تا $51^{\circ} 35'$ طول شرقی و $35^{\circ} 51'$ تا 36° عرض شمالی در دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی در حد فاصل بیلقان تا دیزین قرار گرفته است. ارتفاع متوسط این حوضه آبخیز ۱۶۰۰ متر است. کمترین ارتفاع حوضه، ۱۳۲۰ متر در محدوده پایین سد و بیشترین ارتفاع حوضه، بیش از ۴۰۰۰ متر در شمال آن است. موقعیت حوضه آبخیز رودخانه کن در استان تهران و حوضه آبخیز رودخانه کرج در استان البرز در شکل ۱ نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، از تصاویر سنجنده OLI، سال ۲۰۱۳ جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین با کاربرد نه روش طبقه‌بندی نظارت شده تصاویر استفاده گردید. این تصاویر، از سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا^۱ دریافت شد (جدول ۱). همچنین از نقشه وکتوری کاربری سرزمین منطقه مطالعاتی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ که توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید، برای تطبیق بر تصاویر گوگل ارث^۲ و تعیین نقاط تعلیمی و کنترل زمینی استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج در استان تهران و البرز

جدول ۱. تصاویر ماهواره‌ای و بازه زمانی مورد استفاده برای تهیه نقشه کاربری سرزمین منطقه مطالعاتی

سنجنده	تاریخ تصویربرداری
OLI	۱۳۹۲/۳/۲۲
	۱۳۹۲/۴/۱۴
	۱۳۹۲/۴/۲۳

برای تهیه نقشه کاربری سرزمین پس از تهیه تصاویر، ابتدا به منظور تعیین کیفیت داده‌ها و آگاهی از وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری، داده‌ها مورد بررسی اولیه قرار گرفتند. پس از نمایش تک‌باند‌ها و ترکیبات رنگی مختلف، لایه‌ها به لحاظ خطاهای نام‌برده مورد پردازش اولیه قرار گرفتند که هیچ‌کدام از خطاها مشاهده نشد. تصاویر دریافت‌شده از سنجنده OLI دارای سیستم مختصات بوده و نیازی به تصحیح هندسی نیست. در ابتدا، از تصویر رنگی کاذب^۱ با باندهای چهار، سه و دو با نام‌های قرمز، سبز، آبی برای نمایش رنگ طبیعی پدیده‌ها از محدوده مطالعاتی استفاده شد. سپس به منظور تهیه نقشه‌های کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج، ترکیب باندهای دو تا هفت با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر به ترتیب با نام‌های آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی یک و مادون قرمز میانی دو انجام شد. قبل از موزاییک‌کردن سه تصویر، روش تطبیق هیستوگرام^۲ نیز استفاده شد.

برای انتخاب نقاط تعلیمی برای هر کاربری موجود در منطقه با استفاده از مشاهدات تصویر گوگل ارث، نقاط تعلیمی با پراکنش موزون به صورت تصادفی در سال ۱۳۹۲ برداشت گردید. همچنین برای انتخاب بهترین نقاط تعلیمی از محدوده مطالعاتی، تصاویر رنگی کاذب با باندهای سه، دو و یک، باندهای شش، پنج و سه، باندهای چهار، سه و دو به ترتیب برای نمایش بهتر رنگ طبیعی پدیده‌ها، مناطق انسان‌ساز و پوشش گیاهی تهیه گردید. از طرف دیگر با انداختن وکتورهای مربوط به قطعه‌های نمونه نقشه کاربری سرزمین با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ در تصویر گوگل ارث بر روی تصویر تعیین شدند. پس از اعمال هر روش، نقشه کاربری سرزمین برای منطقه مطالعاتی در سطح یک و دو اندرسون تهیه گردید. سپس برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده گردید. همچنین، دقت تولیدکننده و کاربر روش‌های نظارت شده در طبقه‌بندی کاربری‌های منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت. تعداد نقاط تعلیمی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج و همچنین تعداد نقاط کنترل زمینی در ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی در سطح یک و دو اندرسون در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. تعداد نقاط تعلیمی و کنترل زمینی در تهیه نقشه کاربری سرزمین منطقه مطالعاتی در سطح یک و دو اندرسون

سطح یک										
نقاط تعلیمی	کاربری	انسان‌ساز	زراعی	مرتع	آب سطحی	بایروخت				
	تعداد نقطه	۱۰۷	۳۳۵	۶۶	۲۴	۸۷				
سطح دو										
نقاط تعلیمی	کاربری	انسان‌ساز	باغ	کشاورزی	مرتع عالی	مرتع متوسط	مرتع فقیر	آب سطحی	بایر	صخره‌ای
	تعداد نقطه	۱۰۷	۹۸	۲۳۷	۱۵	۲۶	۲۵	۲۴	۶۹	۱۸
سطح یک										
نقاط کنترل زمینی	کاربری	انسان‌ساز	زراعی	مرتع	آب سطحی	بایروخت				
	تعداد نقطه	۸۴	۲۶۶	۵۱	۲۰	۲۰				
سطح دو										
نقاط کنترل زمینی	کاربری	انسان‌ساز	باغ	کشاورزی	مرتع عالی	مرتع متوسط	مرتع فقیر	آب سطحی	بایر	صخره‌ای
	تعداد نقطه	۸۴	۱۲۰	۱۴۶	۹	۲۲	۲۰	۲۰	۱۱	۹

1- RGB

2- Histogram Matching

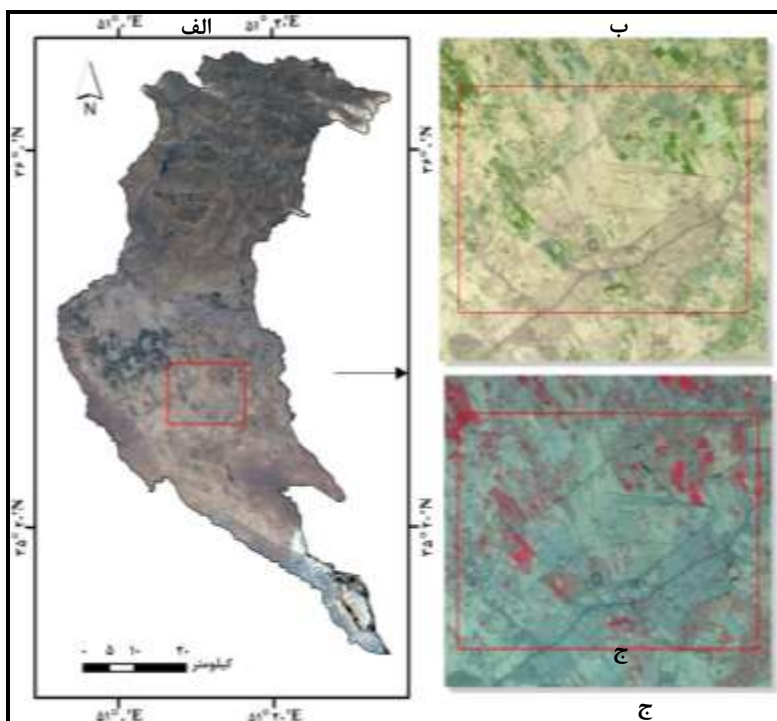
پس از تهیه نقشه کاربری سرزمین در سطح یک و دو اندرسون، درصد مساحت طبقه‌های کاربری سرزمین در سه روش که دارای ضریب کاپای قابل قبولی جهت استخراج نقشه کاربری سرزمین بودند، به دست آمد. در فرایند اجرای این پژوهش، از نرم‌افزارهای انوی^۱، آرک‌جی‌آی‌اس^۲ و گوگل ارث استفاده شد.

نتایج

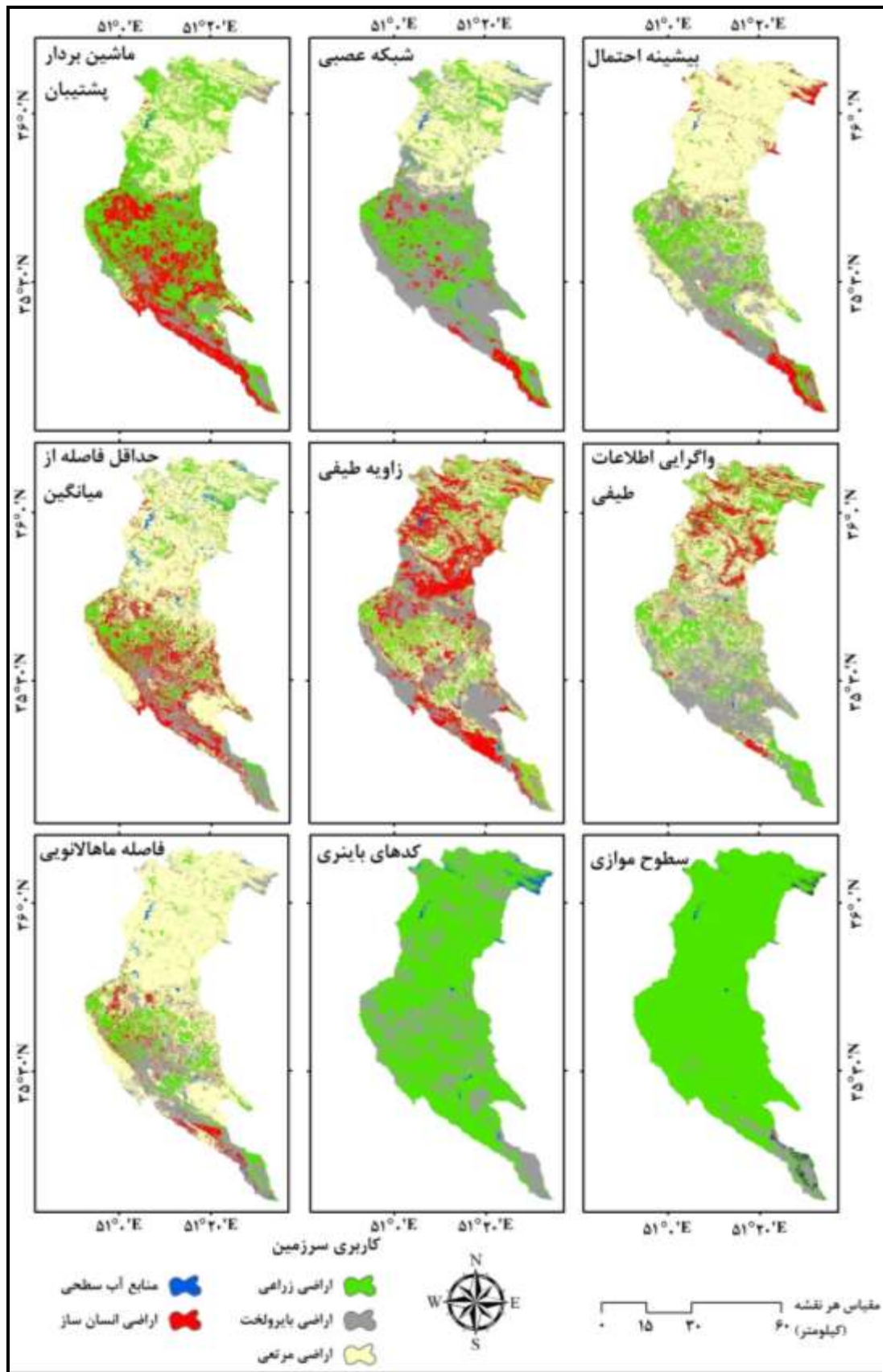
تصاویر رنگی کاذب به ترتیب برای نمایش رنگ طبیعی پدیده‌ها (الف)، مناطق انسان‌ساز (ب) و پوشش گیاهی (ج) از محدوده مطالعاتی تهیه گردید (شکل ۲) و نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف طبقه‌بندی نظارت‌شده نیز در سطح یک و دو اندرسون در شکل ۳ و ۴ نشان داده شده است.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

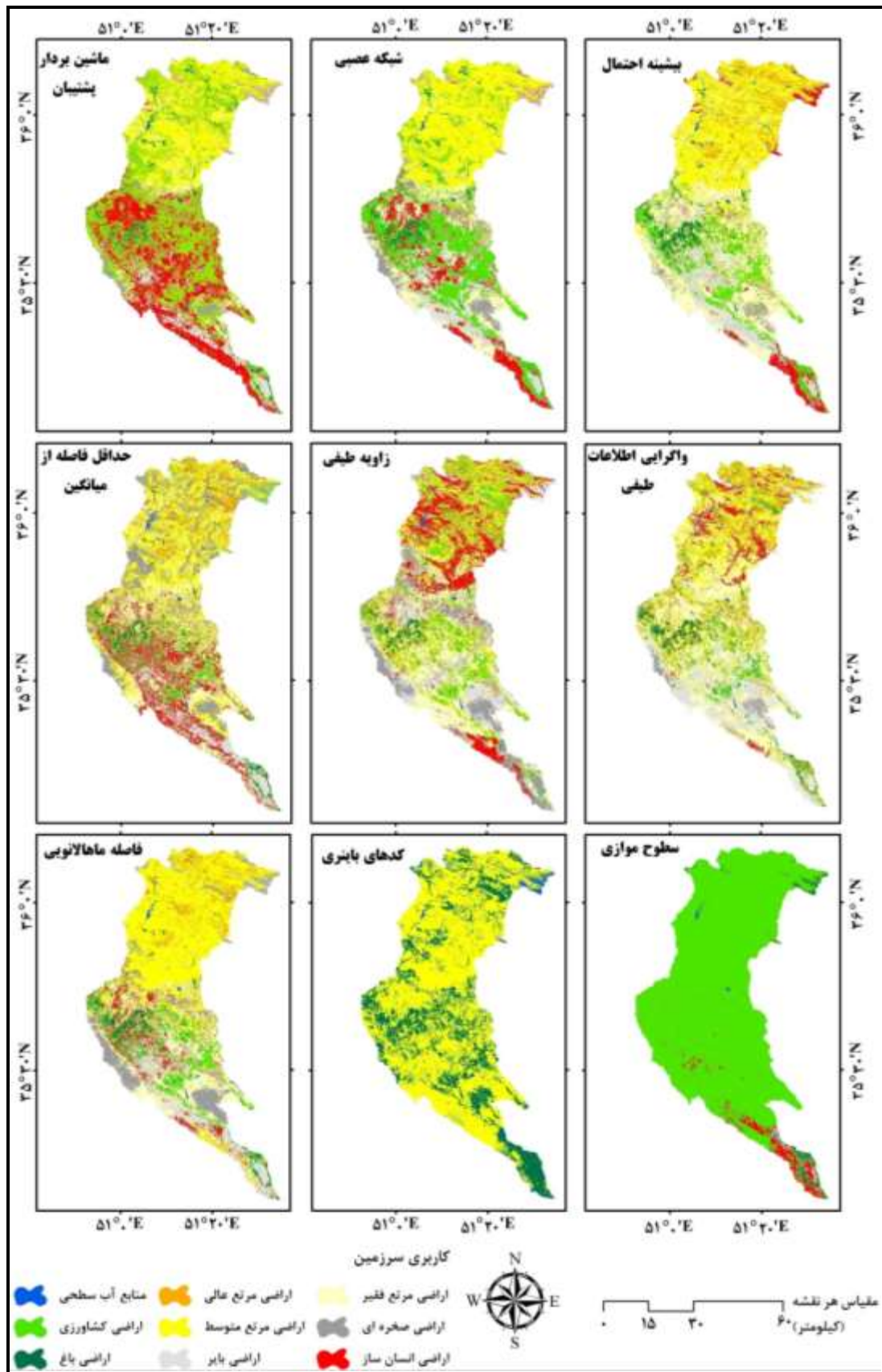
با توجه به نتایج صحت‌سنجی در سطح یک اندرسون، روند نزولی بیشینه احتمال، شبکه عصبی، فاصله ماهالانویی، ماشین بردار پشتیبان، حداقل فاصله از میانگین، کدهای باینری، سطوح موازی، واگرایی اطلاعات طیفی، زاویه طیفی مشاهده شد و در سطح دو اندرسون، این روند به صورت بیشینه احتمال، شبکه عصبی، ماشین بردار پشتیبان، فاصله ماهالانویی، حداقل فاصله از میانگین، زاویه طیفی، واگرایی اطلاعات طیفی، سطوح موازی، کدهای باینری بود (جدول ۳). مطالعه حاضر نشان داد که روش بیشینه احتمال نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده به ترتیب با صحت کلی ۸۴/۹۴٪ و ۸۰/۷۰٪ در مقیاس منطقه‌ای (سطح یک) و محلی (سطح دو) دارای بالاترین صحت بوده است.



شکل ۲. تصویر رنگی کاذب سنجنده OLI حوضه آبخیز رودخانه‌های کرج و کن: الف: محدوده مطالعاتی با ترکیب باندهای ۲، ۳ و ۱؛ ب: ترکیب باندهای ۶، ۵ و ۳ و ج: ترکیب باندهای ۴، ۳ و ۲



شکل ۳. نقشه‌های کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج در سطح یک اندرسون تهیه شده توسط روش‌های مختلف نظارت شده



شکل ۴. نقشه‌های کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج در سطح دو اندرسون تهیه شده توسط روش‌های مختلف نظارت شده

جدول ۳. ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج توسط روش‌های مختلف نظارت‌شده در سطح یک و دو اندرسون

روش طبقه‌بندی	سطح یک		سطح دو	
	صحت کل (%)	ضریب کاپا	صحت کل (%)	ضریب کاپا
بیشینه احتمال	۸۴/۹۴	۰/۷۷	۸۰/۷۰	۰/۷۶
شبکه عصبی مصنوعی	۸۰/۸۲	۰/۷۰	۸۰/۵۴	۰/۷۵
ماشین بردار پشتیبان	۷۵/۴۳	۰/۵۹	۷۴/۰۰	۰/۶۶
فاصله ماهالانویی	۷۶/۰۶	۰/۶۵	۶۴/۹۱	۰/۵۸
حداقل فاصله از میانگین	۷۰/۸۳	۰/۵۸	۵۹/۶۴	۰/۵۲
کدهای باینری	۵۸/۷۹	۰/۳۸	۲۶/۱۵	۰/۱۵
سطوح موازی	۵۷/۶۸	۰/۲۳	۴۲/۱۰	۰/۱۶
واگرایی اطلاعات طیفی	۴۴/۶۹	۰/۳۱	۴۳/۲۲	۰/۳۵
زاویه طیفی	۳۷/۵۵	۰/۲۳	۴۸/۱۶	۰/۳۹

در سطح یک اندرسون، دقت تولیدکننده روش بیشینه احتمال در طبقه‌بندی کاربری آب سطحی، بایروخت و مرتع به ترتیب ۱۰۰٪، ۹۲٪ و ۸۶/۱۵٪، روش سطوح موازی و ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری زراعی ۹۶/۹۷٪ و روش ماشین بردار پشتیبان و بیشینه احتمال ۷۲/۲۶٪ در طبقه‌بندی کاربری انسان ساز بیشتر از روش‌های دیگر به دست آمد. کاربری آب سطحی در تمام روش‌ها با بیش از ۷۰٪ طبقه‌بندی شده است. دقت کاربر روش سطوح موازی در طبقه‌بندی کاربری انسان ساز ۱۰۰٪، روش بیشینه احتمال در طبقه‌بندی کاربری زراعی و بایروخت به ترتیب ۹۷/۶۳٪ و ۶۵/۰۹٪، روش ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری آب سطحی ۹۵/۸۳٪ و روش شبکه عصبی در طبقه‌بندی کاربری مرتع ۶۵٪ بالاتر از روش‌های دیگر به دست آمد (جدول ۴).

جدول ۴. دقت تولیدکننده و کاربر روش‌های نظارت‌شده طبقه‌بندی کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج (سطح یک اندرسون)

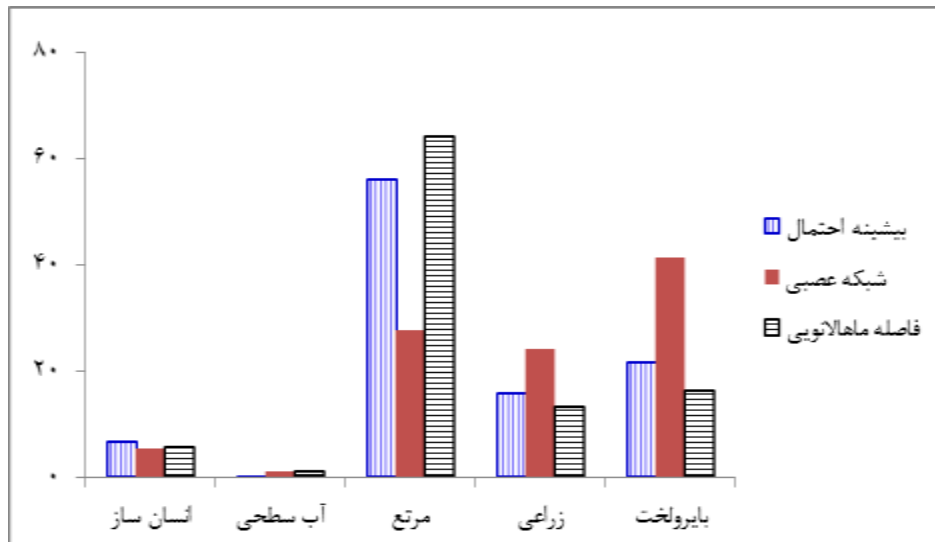
روش‌ها	بیشینه احتمال	شبکه عصبی	ماشین بردار پشتیبان	فاصله ماهالانویی	حداقل فاصله از میانگین	زاویه طیفی	واگرایی اطلاعات طیفی	کدهای باینری	سطوح موازی
دقت تولیدکننده (%)									
انسان ساز	۷۲/۲۶	۵۶/۲۰	۷۲/۲۶	۶۱/۳۱	۶۷/۱۵	۴۳/۰۷	۲۷/۰۱	۰	۰/۷۳
زراعی	۸۷/۲۷	۹۶/۶۷	۹۶/۹۷	۸۴/۵۵	۷۴/۸۵	۳۴/۸۵	۴۳/۹۴	۸۸/۷۹	۹۶/۹۷
مرتع	۸۶/۱۵	۴۰	۰	۸۳/۰۸	۷۶/۹۲	۲۱/۵۴	۴۹/۲۳	۰	۰
آب سطحی	۱۰۰	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳	۹۵/۸۳	۷۰/۸۳	۹۵/۸۳	۷۹/۱۷
بایروخت	۹۲	۸۶/۶۷	۴۵/۳۳	۵۳/۳۳	۴۶/۶۷	۳۴/۶۷	۶۸	۷۳/۳۳	۳۲
دقت کاربر (%)									
انسان ساز	۹۴/۲۹	۸۹/۵۳	۷۰/۲۱	۸۲/۳۵	۶۹/۱۷	۴۷/۵۸	۷۴	۰	۱۰۰
زراعی	۹۷/۶۳	۹۱/۴۰	۷۸/۸۲	۹۶/۵۴	۹۴/۶۴	۸۹/۱۵	۹۰/۶۳	۸۷/۲۰	۶۱/۹۰
مرتع	۵۶/۵۷	۶۵	۰	۳۸/۰۳	۳۹/۳۹	۱۴/۷۴	۲۵/۸۱	۰	۰
آب سطحی	۹۲/۳۱	۸۲/۱۴	۹۵/۸۳	۷۴/۱۹	۷۴/۱۹	۸۵/۱۹	۹۴/۴۴	۸۸/۴۶	۹۵
بایروخت	۶۵/۰۹	۵۰/۷۸	۶۱/۲۱	۵۹/۷۰	۴۴/۳۰	۳۴/۶۷	۳۷/۷۸	۲۰/۴۵	۳۰

در سطح دو اندرسون، دقت تولیدکننده روش کدهای باینری در طبقه‌بندی کاربری‌های باغ و مرتع متوسط به ترتیب ۱۰۰٪ و ۸۴٪، روش بیشینه احتمال در طبقه‌بندی کاربری‌های بایر و مرتع فقیر به ترتیب ۸۰/۶۵٪ و ۹۰/۳۲٪، روش ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری انسان‌ساز ۷۲/۹۹٪، روش شبکه عصبی، فاصله ماهالانویی و حداقل فاصله از میانگین در طبقه‌بندی کاربری صخره‌ای ۱۰۰٪، روش سطوح موازی در طبقه‌بندی کاربری کشاورزی ۹۵/۱۷٪، روش حداقل فاصله از میانگین در طبقه‌بندی کاربری‌های مرتع عالی ۱۰۰٪ و بیشتر روش‌ها در طبقه‌بندی کاربری آب سطحی بالاتر از دیگر روش‌ها به دست آمد. دقت کاربر روش شبکه عصبی در طبقه‌بندی کاربری باغ، بایر و آب سطحی به ترتیب ۹۶/۲۶٪، ۸۰/۳۶٪ و ۱۰۰٪، روش بیشینه احتمال در طبقه‌بندی کاربری انسان‌ساز، مرتع عالی به ترتیب ۹۶٪ و ۵۰٪، روش ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری مرتع فقیر و مرتع متوسط به ترتیب ۵۳/۳۳٪ و ۹۱/۶۷٪، روش واگرایی اطلاعات طیفی و ماشین بردار پشتیبان در طبقه‌بندی کاربری صخره‌ای ۸۵/۷۱٪ و روش فاصله ماهالانویی در طبقه‌بندی کاربری کشاورزی ۹۶/۲۳٪ بالاتر از دیگر روش‌ها به دست آمد (جدول ۵).

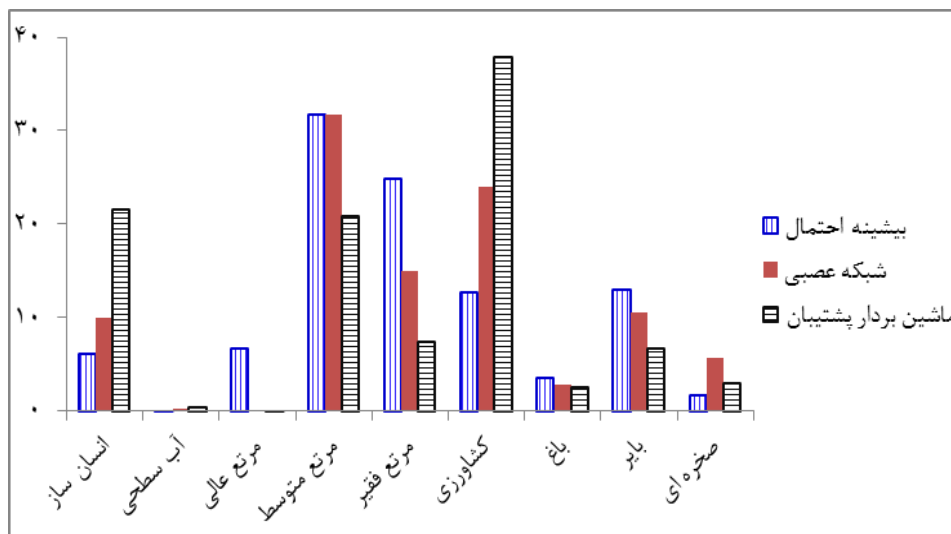
جدول ۵. دقت تولیدکننده و کاربر روش‌های نظارت‌شده طبقه‌بندی کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج (سطح دو اندرسون)

روش‌ها	بیشینه احتمال	شبکه عصبی	ماشین بردار پشتیبان	فاصله ماهالانویی	حداقل فاصله از میانگین	زاویه طیفی	واگرایی اطلاعات طیفی	کدهای باینری	سطوح موازی
دقت تولیدکننده (%)									
انسان‌ساز	۷۰/۰۷	۶۶/۴۲	۷۲/۹۹	۵۶/۹۳	۵۰/۳۶	۲۸/۴۷	۱۸/۲۵	۰	۳۷/۲۳
باغ	۹۲/۶۸	۸۳/۷۴	۷۹/۶۷	۹۲/۶۸	۸۵/۳۷	۸۶/۱۸	۹۱/۰۶	۱۰۰	۰
کشاورزی	۸۱/۱۶	۹۴/۶۹	۸۹/۳۷	۴۹/۲۸	۴۲/۰۳	۴۲/۵۱	۲۶/۵۷	۰	۹۵/۱۷
مرتع عالی	۸۸/۸۹	۰	۰	۸۸/۸۹	۱۰۰	۶۶/۶۷	۷۷/۷۸	۰	۰
مرتع متوسط	۵۶	۷۲	۴۴	۶۸	۶۰	۴۴	۵۲	۸۴	۰
مرتع فقیر	۹۰/۳۲	۶۱/۲۹	۲۵/۸۱	۶۴/۵۲	۷۷/۴۲	۵۱/۶۱	۶۱/۲۹	۰	۰
بایر	۸۰/۶۵	۷۲/۵۸	۴۸/۳۹	۵۹/۶۸	۵۱/۶۱	۶/۴۵	۳۳/۸۷	۰	۶
صخره‌ای	۶۱/۵۴	۱۰۰	۹۲/۳۱	۱۰۰	۱۰۰	۹۲/۳۱	۴۶/۱۵	۰	۰
آب سطحی	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۰	۱۰۰	۱۰۰	۶۵	۱۰۰	۶۰
دقت کاربر (%)									
انسان‌ساز	۹۶	۹۰/۱۰	۶۷/۱۱	۸۳/۸۷	۵۸/۹۷	۶۳/۹۳	۷۱/۴۳	۰	۷۳/۹۱
باغی	۹۵	۹۶/۲۶	۸۸/۲۹	۶۷/۸۶	۷۴/۴۷	۷۶/۸۱	۶۶/۲۷	۳۶/۷۲	۰
کشاورزی	۹۴/۳۸	۸۰/۹۹	۷۲/۲۷	۹۶/۲۳	۹۰/۶۳	۸۶/۲۷	۹۰/۱۶	۰	۳۷/۴۵
مرتع عالی	۵۰	۰	۰	۲۷/۵۹	۱۹/۵۷	۱۵/۳۸	۱۴/۵۸	۰	۰
مرتع متوسط	۳۱/۱۱	۵۴/۵۵	۹۱/۶۷	۳۹/۵۳	۴۶/۸۸	۲۱/۵۷	۲۳/۲۱	۷/۸۱	۰
مرتع فقیر	۴۹/۱۲	۳۸/۷۸	۵۳/۳۳	۲۹/۴۱	۲۹/۶۳	۱۷/۳۹	۱۴/۷۳	۰	۰
بایر	۶۳/۲۹	۸۰/۳۶	۶۱/۲۲	۷۸/۷۲	۴۷/۷۶	۱۲/۵۰	۳۲/۳۱	۰	۶۶/۶۷
صخره‌ای	۸۰	۶۸/۴۲	۸۵/۷۱	۲۴/۵۳	۵۲	۳۲/۴۳	۸۵/۷۱	۰	۰
آب سطحی	۹۰/۹۱	۱۰۰	۹۵/۲۴	۹۰	۹۰/۹۱	۹۵/۲۴	۹۲/۸۶	۸۶/۹۶	۹۲/۳۱

پس از تهیه نقشه کاربری سرزمین، درصد مساحت طبقه‌های کاربری سرزمین در سه روش که دارای ضریب کاپای قابل قبولی جهت استخراج نقشه کاربری سرزمین بودند، به دست آمد. در سطح یک اندرسون، درصد مساحت کاربری‌های انسان‌ساز و آب سطحی در نقشه‌های حاصل از روش‌های شبکه عصبی، بیشینه احتمال و فاصله ماهالانویی تقریباً نزدیک به هم هستند. در حالی که تفاوت درصد مساحت سایر کاربری‌ها در سه روش نامبرده به دلیل تفاوت دقت این سه روش است. بیشترین اختلاف مساحت مربوط به کاربری سرزمین مرتع و کمترین اختلاف نیز مربوط به کاربری آب سطحی است (شکل ۵). در سطح دو اندرسون، درصد مساحت کاربری‌های باغ و آب سطحی در نقشه‌های حاصل از روش‌های شبکه عصبی، بیشینه احتمال و ماشین بردار پشتیبان تقریباً نزدیک به هم هستند. در حالی که تفاوت درصد مساحت سایر کاربری‌ها در سه روش نامبرده به دلیل تفاوت دقت این سه روش است. بیشترین اختلاف مساحت مربوط به کاربری کشاورزی و کمترین اختلاف نیز مربوط به کاربری آب سطحی است (شکل ۶).



شکل ۵. درصد مساحت طبقه‌های مختلف نقشه کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج طبق سه روش برتر در سطح یک اندرسون



شکل ۶. درصد مساحت طبقه‌های مختلف نقشه کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج طبق سه روش برتر در سطح دو اندرسون

بحث

در این مطالعه، جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ در حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج در استان تهران و البرز در دو سطح اندرسون، از نه روش نظارت‌شده طبقه‌بندی استفاده شد. طبق نتایج دقت تولید کننده و کاربر طبقه‌بندی کاربری سرزمین در سطح یک اندرسون، روش‌های بیشینه احتمال، واگرایی اطلاعات طیفی، کدهای باینری در استخراج کاربری آب سطحی، روش‌های فاصله ماهالانویی، ماشین بردار پشتیبان، حداقل فاصله از میانگین، زاویه طیفی در استخراج کاربری آب سطحی و زراعی، روش سطوح موازی در استخراج کاربری انسان‌ساز و زراعی، روش شبکه عصبی در استخراج کاربری زراعی در مقایسه با طبقه‌بندی دیگر کاربری‌ها بالاترین دقت را داشته‌اند. همچنین در سطح دو اندرسون، روش‌های ماشین بردار پشتیبان، زاویه طیفی در استخراج کاربری آب سطحی، روش‌های واگرایی اطلاعات طیفی، کدهای باینری در استخراج کاربری‌های آب سطحی و باغ، روش بیشینه احتمال در استخراج کاربری‌های آب سطحی، انسان‌ساز، روش شبکه عصبی در استخراج کاربری‌های صخره‌ای و آب سطحی، روش فاصله ماهالانویی در استخراج کاربری‌های صخره‌ای و کشاورزی، روش حداقل فاصله از میانگین در استخراج کاربری‌های آب سطحی، مرتع عالی و صخره‌ای، روش سطوح موازی در استخراج کاربری‌های کشاورزی و آب سطحی در مقایسه با طبقه‌بندی دیگر کاربری‌ها بالاترین دقت را داشته‌اند؛ از این رو، فرآیند ارزیابی صحت به تصمیم‌گیری در مورد انتخاب روش طبقه‌بندی کارآمد کمک می‌کند.

با توجه به ترکیب طبقه‌های کاربری سرزمین و ادغام نقاط تعلیمی در سطح یک نسبت به سطح دو اندرسون، افزایش دقت در تعداد و موقعیت نقاط تعلیمی در نتایج تفاوت ایجاد می‌کند؛ از این رو، ضریب کاپا در چهار روش بیشینه احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و فاصله ماهالانویی نسبت به روش‌های دیگر طبقه‌بندی در دو سطح اندرسون با اختلاف کمتری تغییر کرده است؛ بنابراین، در دو سطح اندرسون، روش بیشینه احتمال نتایج برتری در میان سایر روش‌های نظارت‌شده نشان داد که با نتایج مطالعات لی و همکاران (۲۰۱۴)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۳، ب)، تراهی و همکاران (۱۳۹۴) و محمدی (۱۳۹۵) همخوانی دارد. در روش پارامتریک بیشینه احتمال با پایه آماری قوی، واریانس و کواریانس داده‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و فرض می‌شود همه مناطق تعلیمی از پراکنش یکسانی برخوردار هستند. روش شبکه عصبی مصنوعی بر مبنای ویژگی‌ها و ساختار خود نقاط عمل می‌کند و در ترکیب نقاط با طبقه‌های مختلف بهتر عمل می‌کند (فودی^۱، ۲۰۰۱) که مطابق با نتایج فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۴)، اکبری و همکاران (۱۳۹۲)، نیازی و همکاران (۱۳۸۹) است. همچنین روش ماشین بردار پشتیبان در کاربرد نقاط تعلیمی کم و رسیدن به دقت بالاتر در مقایسه با سایر روش‌های طبقه‌بندی بهتر عمل می‌کند که با نتیجه گودرزی‌مهر و همکاران (۱۳۹۱) همخوانی دارد. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه یوسفی و همکاران (۱۳۹۳، الف) که به مقایسه روش‌های نظارت‌شده طبقه‌بندی تصاویر جهت تهیه نقشه کاربری اراضی شهرستان نور پرداختند، همخوانی ندارد. آنها به این نتیجه رسیدند که روش ماشین بردار پشتیبان با میانگین ضریب کاپا ۰/۳۹۵ نسبت به روش‌های دیگر دارای صحت بالاتری است. افزون بر این، مخالف نظر دیکسون و کن داد^۲ (۲۰۰۸)،

1- Foody

2- Dixon & Candade

گودرزی‌مهر و همکاران (۱۳۹۱)، علیپور و همکاران (۱۳۹۳)، اکبری و همکاران (۱۳۹۲)، آرخی (۱۳۹۳)، فتحی‌زاد و همکاران (۱۳۹۴) است که نتیجه گرفتند که روش ماشین بردار پشتیبان یا شبکه عصبی مصنوعی دارای صحت بالاتری نسبت به بیشینه احتمال در امر طبقه‌بندی است. گرچه این پژوهش کارایی و قابلیت روش بیشینه احتمال را در طبقه‌بندی تصاویر سنجنده OLI در سطح محلی و منطقه‌ای اثبات می‌نماید؛ اما روش شبکه عصبی مصنوعی، فاصله ماهالانویی در سطح یک و شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان در سطح دو اندرسون نیز بر اساس ضریب کاپا به دست آمده برای طبقه‌بندی کاربری سرزمین صحت قابل قبولی را ارائه دادند.

نتیجه‌گیری

برای اولین بار، در این مطالعه با استفاده از تصاویر سنجنده OLI نقشه کاربری سرزمین حوضه آبخیز رودخانه‌های کن و کرج در دو سطح اندرسون با مقایسه نه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده تهیه شد. بر این اساس، در پژوهش حاضر، به ترتیب الگوریتم‌های بیشینه احتمال و شبکه عصبی در طبقه‌بندی مناسب‌تر بودند و عملکرد نسبتاً با ثبات‌تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها داشتند. واضح است که با افزایش تعداد الگوریتم‌های جدید طبقه‌بندی، نیاز است تا عملکرد و حساسیت این الگوریتم‌ها در محیط‌های مختلف ارزیابی شود تا بتوان درباره کارایی روش‌ها به جمع‌بندی و اجماع رسید؛ افزون بر این، برای دستیابی به این مهم یعنی ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های جدید به تصاویر ماهواره‌ای به روز، تعداد کافی نقاط تعلیمی و کنترل زمینی که نمایانگر واقعیت زمینی باشند، نیاز است. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در کنار انتخاب مناسب روش طبقه‌بندی نظارت‌شده جهت تهیه نقشه کاربری سرزمین، دقت در اجرای روش و ارزیابی صحت نیز بسیار مهم هستند؛ بنابراین، شناسایی روش بهینه طبقه‌بندی یا بهترین روش‌های طبقه‌بندی به معنی چشم‌پوشی از رعایت اصول اولیه اجرای هر الگوریتم طبقه‌بندی نیست و پس از رعایت تمام این اصول، می‌توان به شناسایی روش مورد قبول جوامع علمی دست یافت؛ بنابراین، جدا از بحث روش، تنها با افزایش دقت در تعداد و موقعیت نقاط تعلیمی در سطح یک و دو اندرسون می‌توان نقشه کاربری قابل قبولی استخراج کرد.

به هر حال، برای رسیدن به نتیجه بهتر پیشنهاد می‌گردد که الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی با در نظر گرفتن شرایط مختلفی مانند تعداد متغیر نقاط تعلیمی و کنترل زمینی، تصاویر ماهواره‌ای مختلف، بازه‌های زمانی مختلف، مناطق جغرافیایی مختلف و سطوح مختلف اندرسون ارزیابی گردند تا کارایی و نقاط قوت روش‌ها در شرایط مختلف مشخص شود.

منابع

- آرخی، صالح (۱۳۹۳) تهیه نقشه کاربری اراضی دشت عباس ایلام با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، ماشین بردار پشتیبان و بیشینه احتمال، **مرتعداری**، ۱ (۲)، صص. ۴۳-۳۰.
- احمدی ندوشن، مژگان؛ سفیانیان، علیرضا؛ خواجه‌الدین، سید جمال‌الدین (۱۳۸۸) تهیه نقشه پوشش اراضی شهر اراک با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی و حداکثر احتمال، **پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی**، ۴۱ (۶۹)، صص. ۸۳-۹۸.
- اکبری، الهه؛ ابراهیمی، مجید؛ امیراحمدی، ابوالقاسم (۱۳۹۲) تهیه نقشه کاربری اراضی شهر سبزوار با استفاده از روش‌های حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه، **آمایش محیط**، ۶ (۲۳)، صص. ۱۴۸-

۱۲۷.

تراهی، علی اصغر؛ عدلی عتیق، رسول؛ حسنی مقدم، حسن (۱۳۹۴) ارزیابی قابلیت الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت شده در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان اردبیل)، **اولین کنفرانس ملی فناوری اطلاعات مکانی**، صص. ۹-۱.

سبزقبایی، غلامرضا؛ دشتی، سیده سولماز؛ بزم‌آرا بلشتی، مژگان؛ جعفرزاده، کاوه (۱۳۹۴) آشکارسازی روند تغییرپذیری منطقه حفاظت‌شده حرای خورخوران، **زیست‌شناسی دریا**، ۷ (۲۶)، صص. ۱۲-۱.

سفیانیان، علیرضا؛ خداکرمی، لقمان (۱۳۹۰) تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی (مطالعه موردی سه زیرحوزه آبخیز کبودر آهنگ، رزن - قهاوند و خونجین - تلخاب در استان همدان)، **آمایش سرزمین**، ۳ (۴)، صص. ۹۵-۱۱۴.

علیپور، فریده؛ آق‌خانی، محمدحسین؛ عباسپورفرد، محمدحسین؛ سپهر، عادل (۱۳۹۳) تفکیک محدوده و تخمین سطح زیر کشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM+ (مطالعه موردی: مزرعه نمونه آستان قدس رضوی)، **ماشین‌های کشاورزی**، ۴ (۲)، صص. ۲۴۴-۲۵۴.

فتحی‌زاد، حسن؛ فلاح شمسی، رشید؛ مهدوی، علی؛ آرخی، صالح (۱۳۹۴) مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی آرتمپ فازی در استخراج نقشه پوشش مرتعی (مطالعه موردی: مرتع حوزه دویرج دهلران)، **تحقیقات مرتع و بیابان ایران**، ۲۲ (۱)، صص. ۷۲-۵۹.

گودرزی‌مهر، سعید؛ علی‌عباسپور، رحیم؛ احدنژاد، وحید؛ خاکباز، باهره (۱۳۹۱) مقایسه روش ماشین بردار پشتیبان با روش‌های حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی، **زمین‌شناسی ایران**، ۶ (۲۲)، صص. ۹۲-۷۵.

محمدی، صدیقه (۱۳۹۵) تعیین بهترین الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهرستان بافت)، **علوم مراتع**، ۶ (۴)، صص. ۳۰۸-۲۹۷.

مختاری، محمد حسین؛ نجفی، احمد (۱۳۹۴) مقایسه روش‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج کاربری‌های اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست TM، **علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (علوم آب و خاک)**، ۱۹ (۷۲)، صص. ۴۴-۳۵.

نیازی، یعقوب؛ اختصاصی، محمدرضا؛ ملکی‌نژاد، حسین؛ حسینی، سید زین‌العابدین؛ مرشدی، جعفر (۱۳۸۹) مقایسه دو روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی در استخراج نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: حوزه سد ایلام)، **جغرافیا و توسعه**، ۸ (۲۰)، صص. ۱۳۲-۱۱۹.

یوسفی، صالح؛ تازه، مهدی؛ میرزایی، سمیه؛ مرادی، حمیدرضا؛ توانگر، شهلا (۱۳۹۳)، الف) مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی: شهرستان نور)، **سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی**، ۵ (۳)، صص. ۷۶-۶۷.

Al-Ahmadi, F. S., Hames, A. S. (2009) Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia, **JKAU, Earth Sci**, 20 (1), pp. 167-191.

Dixon, B., Candade, N. (2008) Multispectral Land Use Classification Using Neural Networks and Support Vector Machines: One or the Other, or Both?, **International Journal of Remote Sensing**, 29 (4), pp. 1185-1206.

Foody, G. M. (2001) Thematic Mapping from Remotely Sensed Data with Neural Networks: MLP, RBF and PNN Based Approaches, **Geographical Systems**, 3 (3), pp. 217-232.

Li, C., Wang, J., Wang, L., Hu, L., Gong, P. (2014) Comparison of Classification Algorithms and Training Sample Sizes in Urban Land Classification with Landsat Thematic Mapper

- Imagery, **Remote Sens**, 6 (2), pp. 964-983.
- Liu, X. H., Skidmore, A. K., Oosten, H. V. (2002) Integration of Classification Methods for Improvement of Land-Cover Map Accuracy, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 56 (4), pp. 257-268.
- Otukey, J. R., Blaschke, T. (2010) Land Cover Change Assessment Using Decision Trees, Support Vector Machines and Maximum Likelihood Classification Algorithms, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, 12 (1), pp. S27-S31.
- Perumal, K., Bhaskaran, R. (2010) Supervised Classification Performance of Multispectral Images, **Computing**, 2 (2), pp. 124-129.
- Sanhouse-García, A. J., Rangel-Peraza, J. G., Bustos-Terrones, Y., García-Ferrer, A., Mesas-Carrascosa, F. J. (2016) Land Use Mapping from CBERS-2 Images with Open Source Tools by Applying Different Classification Algorithms, **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, 91, pp. 27-37.
- Shao, Y., Lunetta, R. S. (2012) Comparison of Support Vector Machine, Neural Network, and CART Algorithms for the Land-Cover Classification Using Limited Training Data Points, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 70, pp. 78-87.
- Sunar Erbek, F., Özkan C., Taberner, M. (2004) Comparison of Maximum Likelihood Classification Method with Supervised Artificial Neural Network Algorithms for Land Use Activities, **International Journal of Remote Sensing**, 25 (9), pp. 1733-1748.
- Yousefi, S.; Mirzaee, S., Tazeh, T., Pourghasemi, H.; Karimi, H. (2015) Comparison of Different Algorithms for Land Use Mapping in Dry Climate Using Satellite Images: A Case Study of the Central Regions of Iran, **Desert**, 20 (1), pp. 1-10.

