

## بررسی الگوریتم طبقه‌بندی درختی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ و تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث در تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی

سمانه سادات محزونی کچی<sup>۱</sup>، عطاالله ابراهیمی<sup>۲</sup>، پژمان طهماسبی<sup>۳\*</sup> و محمدحسن جوری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکترای گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

۳- دانشیار، گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران، پست الکترونیک: peyman.tahmasebi@nres.sku.ac.ir

۴- دانشیار، گروه منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۲

### چکیده

از مهمترین روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای، تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر است. این مطالعه با هدف تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی توسط الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث در یکی از مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری انجام شده است. پس از اعمال الگوریتم طبقه‌بندی در نرم‌افزار Idrisi TerrSet، ماتریس خطا توسط نرم‌افزار تولید و بر اساس مقادیر داخل این ماتریس ارزیابی آماره‌های استخراج شده انجام شد. نتایج حاصل از تفسیر بصری نشان داد که در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی که از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت بودند شناسایی و به‌صورت آمار توصیفی بیان شدند که شامل *Scariola orientalis*, *Bromus tomentellus*, *Astragalus verus*, *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana*, *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* و *Astragalus verus-Bromus tomentellus* هستند. نتایج همچنین نشان داد که دقت کلی طبقه‌بندی و ضریب کاپا برای تصاویر لندست ۸ به ترتیب برابر ۰/۹۲ درصد و ۰/۸۹ درصد و برای تصاویر سنتینل ۲ برابر ۰/۹۴ درصد و ۰/۹۲ درصد است. بر اساس نتایج به‌دست آمده مشخص شد که تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر هوایی دارای قابلیت تفکیک مناسبی برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی هستند. از آنجایی که تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث، روشی زمان‌بر بوده و هزینه بالایی دربر دارد، بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه سنتینل ۲ به دلیل رزولوشن بالا و ارائه تصاویری با قدرت تفکیک زیاد، می‌توانند به‌عنوان ابزاری کاربردی و قابل استفاده، اطلاعات و جزئیات دقیقی را از پدیده‌های سطح زمین فراهم نمایند و به‌عنوان منبع مناسبی برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی مورد استفاده قرار بگیرند.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی درختی، تفسیر بصری، لندست ۸، سنتینل ۲، واحدهای اکولوژیک.

### مقدمه

تغییر شده و شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین نیاز به آشکارسازی، پیش‌بینی و نظارت بر چنین تغییراتی در یک اکوسیستم از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. اهمیت پوشش گیاهی به‌عنوان یک عامل

پوشش گیاهی به‌عنوان یکی از شاخص‌های اکولوژیکی و مدیریتی نقش مهمی را در بررسی‌های مراتع ایفا می‌کند که به‌مرور زمان و در اثر عوامل مختلف طبیعی یا انسانی دچار

کاربردهای مختلفی از جمله نشان دادن ماهیت یک واحد گیاهی و ترکیب گونه‌های سازنده آن می‌شود (Culman *et al.*, 2008). در گذشته بر مبنای تفسیر بصری کاربر بود. این روش بیشتر از اینکه به خواندن پیکسل‌های تصویر مربوط شود، به دیدن تصویر و درک کلی آن وابسته است که هم نیازمند تشخیص عناصر الگویی تصویر است و هم به تحلیل و الحاق دانش متنی نیاز دارد (Pourbagherkordi, 2018). در نتیجه دسترسی آسان به داده‌ها با توان تفکیک بالای گوگل ارث، زمینه را برای استفاده از این تصاویر برای تهیه نقشه‌های پوشش فراهم کرده است (Ludwig *et al.*, 2016). هرچند تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث، روشی برای تهیه نقشه پوشش گیاهی می‌باشد (Jiang *et al.*, 2004) اما این روش زمان‌بر بوده و هزینه بالایی دربر دارد. تکنولوژی سنجنش از دور فناوری نوین و بسیار کارآمدی است (Kashi Zenouzi *et al.*, 2016) که با دربرداشتن مجموعه‌ای از حس‌گرهای عامل و فراهم کردن داده‌های به‌روز و به‌هنگام به‌عنوان سریع‌ترین راه دسترسی به داده‌های علوم زمین شناخته می‌شود. با توجه به قابلیت بالای تصاویر ماهواره‌ای، استفاده از داده‌های آن با توجه به ویژگی‌هایی مانند توان تفکیک طیفی و مکانی بالا (Niazi *et al.*, 2011) موجب شده است که در سال‌های اخیر با استقبال خاصی روبه‌رو گردد. این فناوری توانایی ارزیابی و پایش مراتع را داشته و مطالعه اکوسیستم‌ها را با هزینه‌ای کمتر از روش‌های میدانی ممکن می‌کند، در نتیجه به‌عنوان جدیدترین لایه‌های اطلاعاتی برای مطالعه پوشش گیاهی و تخمین پارامترهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی گیاهان شناخته شده است (Huete, 2004). از مهمترین روش‌های استخراج اطلاعات از داده‌های سنجنش از دور، تکنیک‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر است (Afrasinei *et al.*, 2017). همراه با تنوع تصاویر ماهواره‌ای، الگوریتم‌های مختلفی از طبقه‌بندی، متناسب با توان تفکیک تصاویر، شرایط منطقه مورد مطالعه و اهداف پژوهش‌ها توسعه یافته‌اند. از آنجا که هدف اصلی از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، تهیه نقشه‌های موضوعی و کارآمد است، انتخاب الگوریتم مناسب طبقه‌بندی نقش

پویا و مؤثر بر شرایط زیستی ایجاب می‌کند که همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیقی از آن تهیه و تغییرات مربوط به آن در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت بررسی گردد (Koomen & Stillwell, 2007). تأثیر این موضوع در مطالعات پوشش گیاهی به حدی است که بدون طبقه‌بندی پوشش گیاهی، شناخت مناسبی از ویژگی‌های آن حاصل نمی‌شود. از این‌رو همواره بر طبقه‌بندی پوشش گیاهی و مطالعه جوامع گیاهی به‌مثابه ابزار ارتباطی مناسب در پژوهش‌های محیط‌زیستی و استفاده از اطلاعات بوم‌شناختی در برنامه‌ریزی، نظارت، حفاظت و مدیریت رویشگاه‌های طبیعی تأکید می‌گردد (Kusbach *et al.*, 2012). یکی از موارد شناخت پوشش‌های گیاهی، تعیین محدوده پراکنش تیپ‌های مختلف و تهیه نقشه پوشش گیاهی است (Mueller- Mueller- Dombois & Ellenberg, 1974). تهیه نقشه و بررسی پویایی پوشش‌های گیاهی در عرصه‌های وسیع به همراه کلیه جوامع و اجزاء موجود در آنها به‌سختی امکان‌پذیر است؛ زیرا زیستگاه‌های گیاهی، دائماً در حال تغییر بوده و باعث می‌شود پروژه‌های پایش به‌ندرت انجام شود. امروزه تهیه نقشه پوشش گیاهی دقیق و به‌هنگام به‌عنوان ابزار مدیریتی مراتع اهمیت خاصی دارد و به‌عنوان اولین مبنای تصمیم‌گیری در مدیریت مراتع محسوب می‌گردد. از آنجایی‌که ارزیابی مراتع، یکی از اساسی‌ترین امور برای مدیریت و برنامه‌ریزی مراتع در جهت توسعه پایدار منابع طبیعی است و تهیه نقشه پوشش گیاهی مناطق مختلف، از اهداف مهم متخصصان گیاهی می‌باشد، بهره‌گیری روزافزون از تصاویر ماهواره‌ای موجب شده است تا این تصاویر به‌عنوان یک منبع مهم اطلاعاتی برای تهیه نقشه پوشش گیاهی محسوب شوند (Sepehri, 2002). از جمله این تصاویر ماهواره‌ای می‌توان به تصاویر موجود در سامانه گوگل ارث اشاره کرد که به‌صورت رایگان و با قدرت تفکیک مکانی بالا در دسترس هستند و شامل تصاویر ماهواره‌ای و هوایی در مقیاس‌های مختلف است، در نتیجه در تعیین ساختار اکوسیستم‌ها یا تغییرات آنها در طول زمان کاربرد دارند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای که شامل

کاربرد دارند. Lima و همکاران (۲۰۱۹) نیز عملکرد نسبتاً مشابهی از تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ در تعیین مناطق جنگلی استخراج کردند. در مطالعه‌ای که در سال (۲۰۱۷) برای تهیه نقشه‌های واحدهای اکولوژیکی گیاهی انجام شد، نشان داده شد که الگوریتم ماشین بردار پشتیبان قادر است کلاس‌بندی واحدهای اکولوژیکی گیاهی را با دقت ۰/۶۲ بر روی تصاویر چند زمانه لندست TM انجام دهد (Maynard & Karl, 2017). Thenkabail و Lyon (۲۰۱۶)، بیان کردند که طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بر اساس واحدهای اکولوژیکی گیاهی می‌تواند فرایند طبقه‌بندی را بهبود داده و میزان دقت طبقه‌بندی را با شناسای مناطقی با بازتاب‌های خاکی و رفتارهای طیفی مشابه افزایش دهد. Ge و همکاران (۲۰۲۰)، در مورد طبقه‌بندی پوشش اراضی در مراتع خشک بیان کردند که مراتع از گیاهان و بوته‌های با شباهت طیفی بالا تشکیل شده است که نتیجه طبقه‌بندی را پیچیده می‌کند. همچنین در مطالعاتی، ترکیب داده‌های کمکی را در کنار باندهای طیفی تصاویر ماهواره‌ای، برای کمک به تشخیص ویژگی‌های پوشش زمین توصیه کردند (Feng et al., 2019; Hurskainen et al., 2018). طبق گزارشی، Xie و همکاران (۲۰۱۹) نشان دادند هنگامی که باندهای طیفی برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرند، الگوریتم‌های یادگیری ماشین از عملکرد بهتری برخوردارند.

شناخت عناصر گیاهی موجود در یک منطقه به‌عنوان مطالعه‌ای زیربنایی برای سایر تحقیقات محسوب می‌شود و می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی‌های مدیریتی قرار گیرد. نقشه‌های پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در این موضوع ایفا می‌نمایند. مروری بر تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که هرچند روش‌های غیرپارامتریک در طبقه‌بندی پوشش گیاهی به‌ویژه در سال‌های اخیر استفاده شده است، اما کمتر برای تفکیک واحدهای همگن پوشش گیاهی یا همان ساختارهای گیاهی که به دلیل ماهیت آنها تا حدودی رفتارهای طیفی مشابهی را از خود به نمایش می‌گذارند، انجام شده است. این موضوع به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که پوشش گیاهی نسبتاً گسسته دارند

زیادی در این موضوع ایفا می‌نماید. در سال‌های اخیر الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای بهره‌مندی از روش‌های دانش‌پایه در جوامع سنجش از دور و مشاهده زمین که با آن علم داده و جوامع سنجش از دور شروع به همسو شدن کرده‌اند، محبوب شده‌اند. این الگوریتم‌ها که خصوصیات غیرخطی و غیرپارامتریکی دارند، کارآمد و مؤثر هستند و نسبت به طبقه‌بندی کننده‌های مرسوم، به‌ویژه برای مجموعه داده‌های بزرگ یا متفاوت قادر به ارائه نتایج بهتری در زمینه کمک به مدیریت منابع طبیعی هستند (Mountrakis et al., 2011). الگوریتم طبقه‌بندی درختی یکی از مهمترین این روش‌ها می‌باشد که برخلاف سایر رویکردهای طبقه‌بندی که از یک سری باندها به‌طور همزمان برای اجرای طبقه‌بندی در تک‌مرحله استفاده می‌نمایند، بر اساس یک طرح تصمیم‌گیری چندمرحله‌ای می‌باشد (Xu et al., 2005). در نتیجه به کمک این روش، در صورت توانایی داده‌های ماهواره‌ای می‌توان نقشه جوامع گیاهی را به راحتی و با دقت بالایی تهیه کرد (Dogan et al., 2009). از جمله مطالعات انجام شده می‌توان به بررسی Jafari و همکاران (۲۰۱۲)، اشاره نمود که بیان کردند نقشه تولید شده از عکس‌های هوایی از صحت بالایی برخوردار بوده و می‌توان به‌عنوان یک واقعیت زمینی استفاده کرد. MohammadHassanpour (۲۰۱۳)، نیز ضمن تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر گوگل ارث بیان کرد که این تصاویر، قابلیت تولید نقشه با صحت بالایی را دارند. Topaloglu و همکاران (۲۰۱۶)، قابلیت تصاویر سنتینل ۲ و لندست ۸ را برای طبقه‌بندی پوشش زمین و کاربری اراضی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که تصاویر سنتینل ۲ دارای عملکرد بالاتری می‌باشد. Marangoz و همکاران (۲۰۱۷) نقشه پوشش زمین را با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ تهیه کردند. نتایج حکایت از آن داشت که تصاویر سنتینل ۲ از قابلیت بیشتری نسبت به تصاویر لندست ۸ برخوردار است. بررسی انجام شده توسط Ouzemou و همکاران (۲۰۱۸) نشان داد که تصاویر لندست ۸ به دلیل وضوح زمانی و مکانی بالا برای نقشه‌برداری از پوشش گیاهی

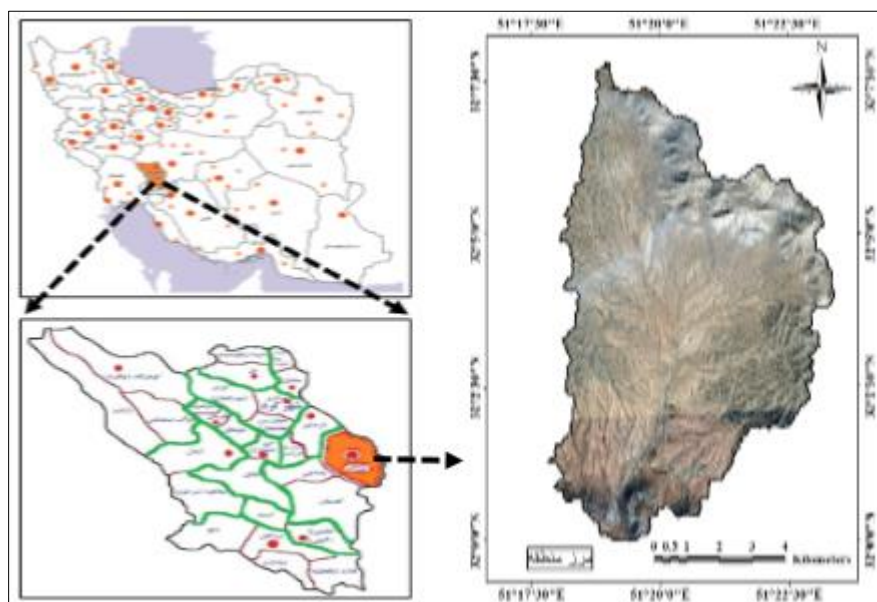
شده است. این مراتع با مساحتی در حدود ۷۷۱۲ هکتار، در فاصله ۴/۶۵ کیلومتری شهرستان بروجن در شرق استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. محدوده منطقه مورد مطالعه بین مدارهای  $51^{\circ}17'$  تا  $51^{\circ}23'$  طول شرقی و  $32^{\circ}00'$  تا  $32^{\circ}06'$  عرض شمالی است. این منطقه از نظر توپوگرافی عمدتاً دشتی بوده، پست‌ترین و بلندترین ارتفاع آن به ترتیب ۲۲۴۸ و ۲۳۷۳ متر از سطح دریاست. متوسط بارش سالانه منطقه ۲۵۳ میلی‌متر (بیشتر در زمستان و اوایل بهار) و متوسط دمای سالانه نیز  $10/8$  درجه سانتی‌گراد است. طبق تقسیم‌بندی کوبین، این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. با وجود پایین بودن میانگین بارندگی سالانه، به دلیل عملیات مدیریتی مناسب، بیشتر منطقه از شرایط پوشش گیاهی مناسبی برخوردار است که گونه‌های غالب آن، گراس‌های چندساله و بوته‌ای‌ها مانند *Stipa hohenikeriana*، *Astragalus verus* و *Bromus tomentellus* هستند.

حائز اهمیت است. از این رو لزوم مطالعات جامع بر مبنای حمایت و حراست از این ذخایر ارزشمند با تکیه بر آگاهی از وضعیت پوشش و تهیه نقشه‌هایی که بیانگر تفکیک پوشش‌های مرتعی از یکدیگر باشد برای مدیریت بهینه آنها ضروریست. هدف از این مطالعه: ۱- ارزیابی قابلیت الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و سنتینل ۲ با قدرت تفکیک متفاوت و همچنین تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث برای شناسایی و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی و ۲- استفاده از داده‌های کمی برای بهبود دقت طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در یکی از مراتع نیمه‌استپی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

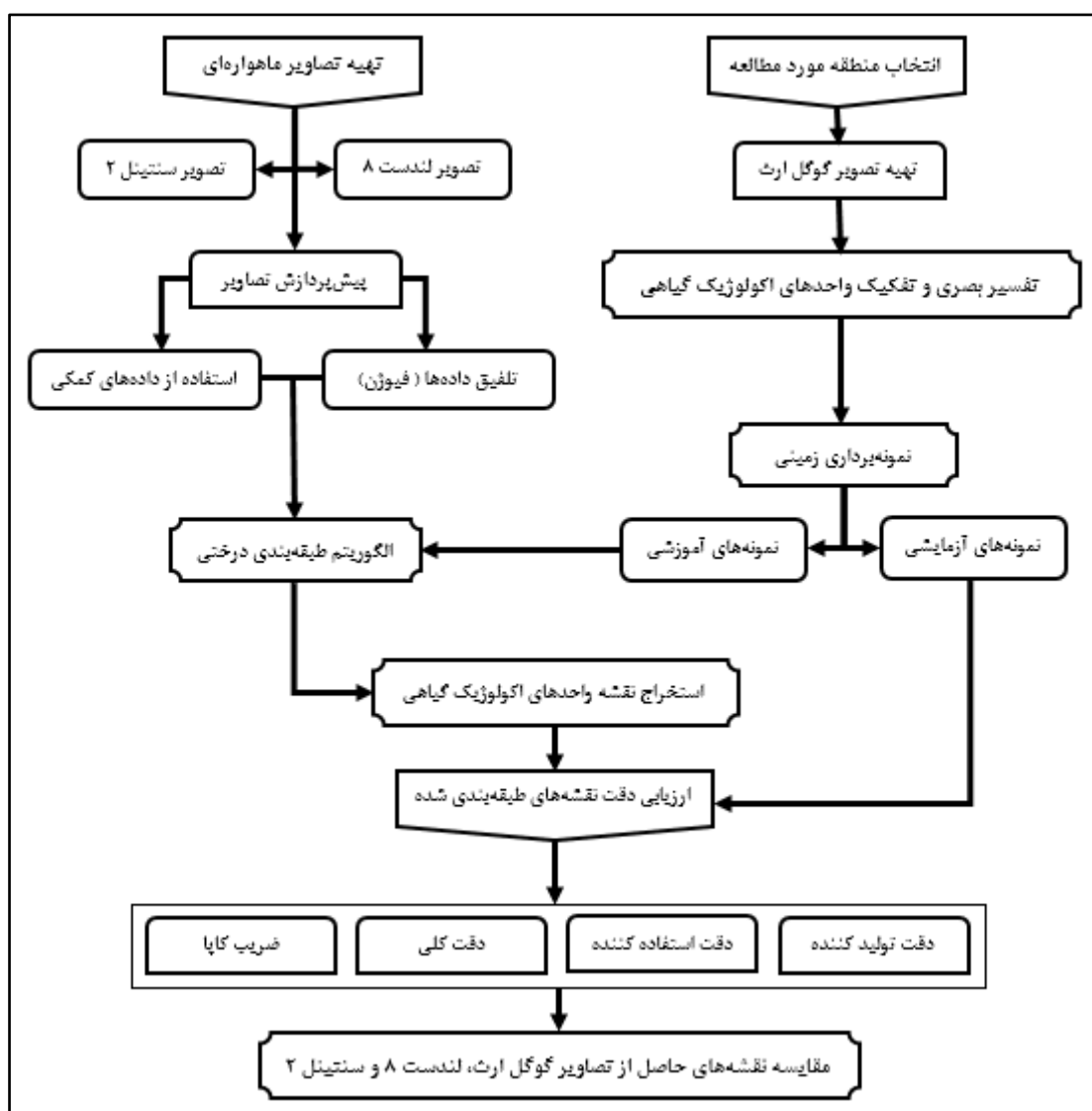
### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در یک چشم‌انداز طبیعی از مراتع نیمه‌استپی در کوه زاگرس مرکزی در جنوب‌غربی ایران واقع



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران، استان چهارمحال و بختیاری و مرز منطقه

Figure 1- The location of the studied area in Iran, Chaharmahal and Bakhtiari province and the border of the area



شکل ۲- الگوی کلی مراحل انجام کار

Figure 2- The general pattern of work steps

### روش تحقیق

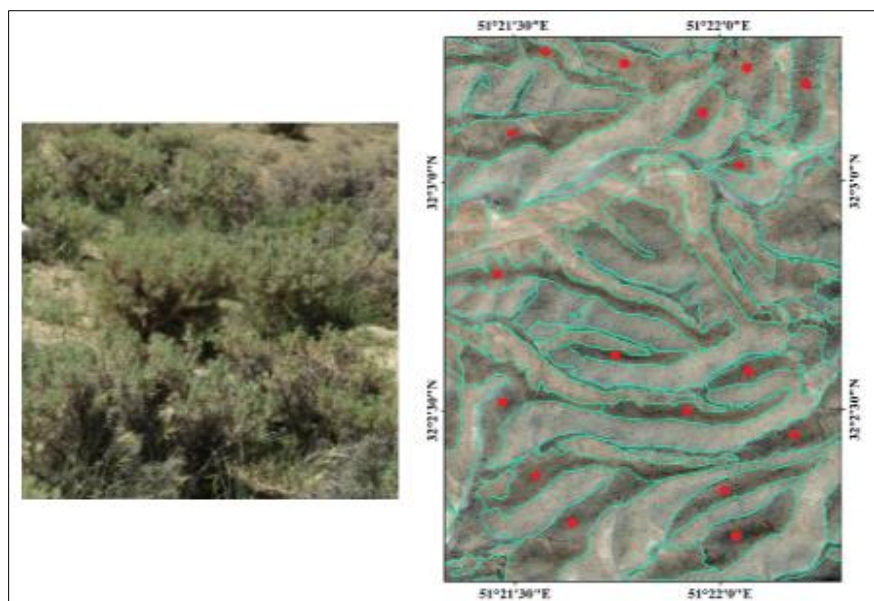
استفاده از تصاویر گوگل ارث برای تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی

بدین منظور، ابتدا تصویر منطقه مورد مطالعه (تصویر ماهواره WorldView2 با توان تفکیک مکانی ۴۶ سانتی‌متر برای باند پانکروماتیک و ۱/۸۵ متر برای باند چندطیفی) با بزرگ‌نمایی ۲۰ از سامانه Google Earth تهیه شد (Eugenio et al., 2013). سپس تصویر به محیط نرم‌افزار ArcGis انتقال یافت. از آنجایی‌که تصاویر گوگل ارث دارای

مزایایی مانند طبیعی بودن رنگ عوارض و پدیده‌ها، داشتن دید سه‌بعدی و تفکیک‌پذیری آبراهه‌ها و جاده‌ها می‌باشد، بنابراین برای تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی از روش تفسیر بصری استفاده شد. فرایند تفسیر بصری شامل ترسیم پلی‌گون‌ها بر روی تصویر و بعد تعریف مناطق همگن با خصوصیات مشابه مانند رنگ، شکل، سایه، بافت، الگو و اندازه است تا نوع تیپ غالب و پوشش سطحی زمین تشخیص داده شود (Duffy et al., 2018). در این نقشه ابتدا لکه‌هایی که از نظر نوع گونه گیاهی همگن بودند و ماهیت

محیط نرم‌افزار ArcGis بر روی تصویر ثبت شد و صحت نقشه تهیه شده بررسی گردید. در نهایت واحدهای اکولوژیک گیاهی تشخیص داده شده حاصل بر اساس گونه غالب و به‌روش فیزیونومیک و فلورستیک نام‌گذاری و به‌صورت آمار توصیفی بیان شد.

طبیعی داشتند مشخص شد. سپس ویژگی هر پلی‌گون بر اساس گونه‌های غالب و نوع آشفتگی‌ها تفسیر و یک طبقه‌بندی کلی انجام گردید. برای آگاهی از میزان صحت نقشه با طبیعت، بیش از ۲۰۰ نقطه به صورت منفرد از هر نوع واحد اکولوژیک گیاهی (۷ نوع واحد اکولوژیک) برداشت شد و این نقاط به‌عنوان نقاط واقعیت زمینی در



شکل ۳- نمونه‌ای از واحد اکولوژیک گیاهی (*Astragalus verus*) بر روی تصویر گوگل ارث و تصویر میدانی مربوطه

Figure 3- An example of a plant ecological unit (*Astragalus verus*) on the Google Earth image and the corresponding field image

(al., 2017). سپس میانگین درصد پوشش گونه‌های گیاهی برآورد شده در محدوده هر واحد اکولوژیک گیاهی محاسبه شد. در نهایت گونه غالب گیاهی هر واحد مشخص و بعد گونه‌های همراه آن مشروط به داشتن ۵۰ درصد یا بیشتر پوشش گونه غالب ماقبل آن تعیین شد. بدین ترتیب نام‌گذاری هر واحد اکولوژیک گیاهی بر مبنای روش فلورستیک انجام گردید.

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی در این مطالعه علاوه بر تفسیر بصری، از الگوریتم طبقه‌بندی درختی نیز برای تولید نقشه واحدهای اکولوژیک

نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در هر واحد اکولوژیک برای شناسایی ترکیب گیاهی

بعد از جداسازی مرز تقریبی واحدهای اکولوژیک گیاهی، نمونه‌برداری از پوشش گونه‌های گیاهی مطابق با زمان اوج رشد گونه‌ها انجام شد. بدین منظور، از هر واحد اکولوژیک ۴ تا ۵ واحد که پراکنش مناسبی در سطح منطقه داشتند توسط بررسی میدانی برای آماربرداری انتخاب شدند. سپس در هر واحد اکولوژیک (با توجه به اندازه هر واحد) ابتدا ۵ تا ۱۰ ماکروپلات ۳۰\*۳۰ مترمربعی به‌طور تصادفی - سیستماتیک مستقر شد. نمونه‌برداری از پوشش تاجی به تفکیک فرم رویشی با استفاده از ۳ پلات ۲\*۲ مترمربعی در هر ماکروپلات انجام گردید ( Tahmasebi et

ارزیابی دقت، برای بررسی نقشه‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. بعد از دریافت تصاویر ماهواره‌ای، ابتدا تصاویر از لحاظ خطاهای رادیومتری، هندسی و ... ارزیابی شد. آنگاه با ثبت داده‌های TIRS با داده‌های OLI تصحیحات هندسی، رادیومتری و زمینی بر روی تصاویر لندست اعمال شد. سپس باندهای مورد نظر ماهواره سنتینل ۲ در نرم‌افزار SNAP فراخوانی و زمین مرجع شد. در مرحله بعد از طریق الگوریتم Sen2Cor عرضه شده از سوی آژانس فضایی اروپا، عملیات پردازش تصاویر بر روی باندها انجام گردید ( Navarro *et al.*, 2017). با استفاده از اطلاعات تصویر و مدل رقومی ارتفاع، میزان بخار آب و عمق نوری اتمسفر محاسبه شد. سپس با استفاده از جدول‌های تبدیل موجود در نرم‌افزار مدل اتمسفری متناسب با شرایط تصویربرداری، فراخوانی شده و روی تصاویر اعمال گردید. در نهایت تصویر اصلاح شده برای استخراج نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی در نرم‌افزار Idrisi TerrSet استفاده شد.

تلفیق داده‌ها با قابلیت‌های متفاوت طیفی و مکانی برای بهبود تفکیک و طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی (فیوژن)

یکی از تکنیک‌هایی که برای واضح‌سازی، بهبود و بارسازی تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد ادغام تصاویر (Image fusion) توسط فرایند Pansharpening است. با استفاده از این روش می‌توان تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف را در هم ادغام کرد و تصویر جدیدی تولید نمود که همزمان دارای خصوصیات هر دو تصویر باشد، بنابراین تصویر جدید قابلیت بیشتری نسبت به تک تک تصاویر اصلی خواهد داشت. از این رو باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ ماهواره سنتینل ۲ دارای توان تفکیک مکانی ۱۰ متر است که می‌توان از آن به‌عنوان بهترین مکمل برای افزایش توان تفکیک مکانی استفاده کرد (Weng, 2018). بر همین اساس برای هماهنگ‌سازی ابعاد پیکسل‌های تمامی

گیاهی استفاده شد. بدین منظور تصاویر چندطیفی سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ و همچنین سنجنده MSI ماهواره سنتینل ۲ به‌عنوان منبع اصلی پردازش، مورد استفاده قرار گرفتند. هدف از این کار، ارزیابی هر یک از جنبه‌های قدرت تفکیک مکانی، طیفی و رادیومتری مربوط به هر یک از سنجنده‌ها در تفکیک، طبقه‌بندی و تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهیست. برای این کار تصاویر مذکور در ۵ ژوئن ۲۰۱۹ که همزمان با فصل اوج رشد گیاهان مرتعی در واحدهای اکولوژیک موجود در منطقه مورد مطالعه است از سایت سازمان فضایی اروپا و سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه شد.

ماهواره لندست ۸ دارای ۹ باند طیفی و ۲ باند حرارتی است (Lima *et al.*, 2019). سنجنده این ماهواره با ارائه تصویری با توان تفکیک مکانی ۳۰ متر برای باندهای چندطیفی و ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک (Adam *et al.*, 2018) از سطح زمین و مناطق قطبی، در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز موج کوتاه و طیف مادون قرمز حرارتی استفاده می‌شود. برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی از ترکیب باندهای طیفی ۲ تا ۷ استفاده شد. سنتینل ۲، ماهواره‌ای خورشیدآهنگ است که تصاویر گرفته شده توسط سنجنده‌های آن شامل ۱۳ باند طیفی در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز موج کوتاه بوده و فاقد باند حرارتی است که دارای توان تفکیک مکانی متغیر ۱۰ تا ۶۰ متر می‌باشد (Lima *et al.*, 2019). با توجه به اینکه مهمترین باند در مطالعات پوشش گیاهی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک است، ماهواره سنتینل ۲ از چندین باند مادون قرمز نزدیک برخوردار می‌باشد و پیکسل‌های ۱۰ متری در باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ آن امکان استخراج اطلاعات بیشتر از پوشش گیاهی را فراهم می‌کند (Weng, 2018).

#### انجام تصحیحات بر روی تصاویر

پس از بررسی میدانی و تدقیق زمینی، نقشه حاصل از تفسیر بصری به دلیل دقت بالای آن به‌عنوان مبنای

از داده‌های ماهواره‌ای و عمل‌گرهای موجود در نرم‌افزار انجام گردید و در اثر این فرایند مقدار پیکسل لایه‌های کمکی و باندهای ماهواره‌ها دارای بازه یکسان شدند.

### الگوریتم طبقه‌بندی درختی ( Classification Tree Analysis)

الگوریتم طبقه‌بندی درختی یک روش غیرپارامتریک است (Breiman *et al.*, 1984) که با تفکیک متوالی داده‌ها در هر میانگرم به میانگرم‌های جدید بر مبنای پیکسل‌های تعلیمی پیش می‌رود. یک میانگرم جدیداً ایجاد شده و ممکن است در حالتی که پیکسل‌های تعلیمی حاوی تنها یک کلاس است یا غالبیت پیکسل‌ها با یک کلاس است، ایجاد یک برگ نماید. زمانی که دیگر میانگرم‌های برای انشعاب وجود ندارد، قواعد نهایی طبقه‌بندی درختی شکل می‌گیرد. این روش به‌طور موفقیت‌آمیزی داده‌های آموزشی را جدا می‌کند تا زیرمجموعه‌های همگن را تشکیل دهد که منجر به یک درخت سلسله مراتبی می‌گردد. یکنواختی نمونه‌ها در تمامی گره‌ها با استفاده از معیار عدم خلوص اندازه‌گیری می‌شود. با توجه به اینکه نرم‌افزار Idrisi TerrSet سه روش انشعاب شامل آنتروپی، نسبت بهره و شاخص جینی را به‌عنوان معیار عدم خلوص به‌کار می‌برد، در این مطالعه از روش طبقه‌بندی درختی با انشعاب جینی که مهمترین اندازه عدم خلوص است (Yoneyama *et al.*, 2002) و سعی دارد همگن‌ترین دسته را در میان مجموعه داده‌ها پیدا کند و آن را از بقیه داده‌ها جدا نماید، برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی استفاده شد.

#### فرایند طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای

پس از شناسایی واحدهای اکولوژیک گیاهی غالب در منطقه، برای طبقه‌بندی براساس الگوریتم درختی، ابتدا با تعریف پیکسل‌های مشخصی از تصویر برای هر یک از کلاس‌ها، پیکسل‌هایی با ویژگی‌های مشابه در یک گروه قرار گرفتند. سپس نمونه‌های کنترل زمینی به‌عنوان الگوی مشخصات طیفی طبقات، از هر گروه از واحدهای اکولوژیک گیاهی به‌صورت تصادفی در طی عملیات میدانی برداشت شدند. در مرحله بعد

تصویر، باندها با تفکیک‌پذیری طیفی ۲۰ متر از تصاویر سنتینل ۲، به ۱۰ متر ارتقا یافتند که سبب بهبود کیفیت تصویر جدید و افزایش مقدار جزئیات برای بالا بردن دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی خواهند شد.

استفاده از داده‌های کمکی برای تفکیک و طبقه‌بندی دقیق‌تر واحدهای اکولوژیک گیاهی

با توجه به اینکه پوشش گیاهی منطقه از نوع مرتعی بوده و شامل بوته‌ای‌ها و گندمیان چندساله است، انتظار می‌رود بیشتر واحدهای اکولوژیک گیاهی رفتار طیفی نسبتاً مشابهی داشته باشند. در نتیجه به‌دلیل تفکیک‌پذیری پایین واحدهای آن در مقایسه با دیگر کاربری‌ها، میزان دقت نقشه‌های حاصل کاهش می‌یابد. از این رو به‌کارگیری داده‌های طیفی به‌تنهایی برای تفکیک واحدهای آمیخته کافی نیست. در چنین مواردی استفاده از منابع غیرطیفی مانند داده‌های کمکی می‌تواند در افزایش دقت طبقه‌بندی مؤثر باشند. به همین دلیل در این تحقیق از لایه‌های کمکی مانند تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مدل رقومی ارتفاع و شاخص‌های گیاهی مانند NDVI به‌عنوان ورودی‌های کمکی به همراه تصاویر ماهواره‌ای در فرایند طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند که علاوه بر کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت عمل، سبب بالا رفتن دقت طبقه‌بندی و تفکیک واحدها می‌شوند.

#### تلفیق داده‌های کمکی با داده‌های ماهواره‌ای

در این مرحله لایه‌های کمکی (مانند مدل رقومی ارتفاع و شاخص گیاهی NDVI) با استفاده از باندهای تصویر ماهواره‌ای ادغام شدند. بدین منظور با استفاده از دستورهای موجود در نرم‌افزار ابتدا عمل کشیدگی طیفی (Stretch) بر روی مدل رقومی ارتفاع انجام شد تا یک تصویر ۸ بیتی مطابق دیگر باندهای ماهواره تغییر یابد. همچنین مقادیر پیکسل‌ها در لایه اطلاعاتی NDVI نیز که در بازه ۱- تا ۱+ قرار دارند به تصویری ۸ بیتی با مقادیری بین ۲۵۵- تا ۰+ تبدیل شدند. بنابراین فرایند ادغام داده‌های کمکی با استفاده



طبقه‌بندی‌کننده و ستون‌ها بیانگر تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای داده‌های جمع‌آوری شده در عملیات میدانی می‌باشد. از آنجا که هر یک از شاخص‌های مستخرج از ماتریس خطا، اطلاعات متفاوتی را ارائه می‌دهند و با توجه به هدف استفاده‌کننده، می‌توان شاخص‌های متعددی را مد نظر قرار داد. بنابراین در این مطالعه، پارامترهای دقت تولیدکننده، دقت استفاده‌کننده، دقت کلی و ضریب کاپا محاسبه شد (Jia *et al.*, 2014).

دقت تولیدکننده، از تقسیم عنصر قطری هر کلاس در ماتریس خطا به مجموع مقادیر ستون همان کلاس به دست می‌آید. دقت استفاده‌کننده، بیانگر احتمال طبقه‌بندی یک کلاس خاص مطابق با همان کلاس در نقشه واقعیت زمینی است که از طریق تقسیم عنصر قطری به مجموع عناصر سطر همان کلاس حاصل می‌شود (Thenkabail & Prasad, 2015). دقت کلی، میانگینی از دقت طبقه‌بندی است که از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا تقسیم بر تعداد کل پیکسل‌ها به دست می‌آید (Lillesand *et al.*, 2004). ضریب کاپا، بر اساس اندازه‌گیری تفاوت بین تعداد پیکسل‌هایی که به درستی شناسایی شده‌اند و تعداد پیکسل‌هایی که به صورت نادرست طبقه‌بندی شده‌اند انجام می‌شود. این شاخص برخلاف دقت کلی، پیکسل‌هایی را که به درستی پیش‌بینی نشده‌اند نیز در محاسبات اعمال می‌کند.

تفکیک نمونه‌ها به مجموعه داده‌های آموزشی و آزمایشی انجام شد که از پراکنش مناسبی در سطح تصاویر برخوردار بودند (Lillesand & Kiefer, 1994). بدین صورت که قسمتی برای انجام طبقه‌بندی (یک سوم نمونه‌ها) و بخشی دیگر برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی ذکر شده (دو سوم نمونه‌ها) تقسیم شدند. پس از مشخص کردن ویژگی‌های تصاویر و تعیین باندهای مناسب برای انجام طبقه‌بندی، داده‌های آموزشی هر یک از کلاس‌ها به الگوریتم طبقه‌بندی معرفی شدند. در نهایت الگوریتم مذکور به صورت نظارت شده و با تعیین ۷ کلاس اعمال گردید. بدین ترتیب نقشه‌های واحدهای اکولوژیک مربوط به منطقه مورد مطالعه ایجاد شد و دقت آنها با استفاده از داده‌های آزمایشی ارزیابی گردید.

ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده از تصاویر ماهواره‌ای

برای ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی، از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. نتایج این ارزیابی به صورت ماتریس خطا که حاصل مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم در واقعیت زمینی با پیکسل‌های متناظر در نقشه حاصل از طبقه‌بندی است، ارائه شد. اعداد موجود در سطرهای ماتریس نشان‌دهنده تعداد پیکسل‌های هر کلاس برای نقشه به دست آمده از الگوریتم

جدول ۱- نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از تفسیر بصری بر روی تصویر گوگل ارث

**Table 1- The results of the error matrix of the plant ecological units map resulting from the visual interpretation on the Google Earth image**

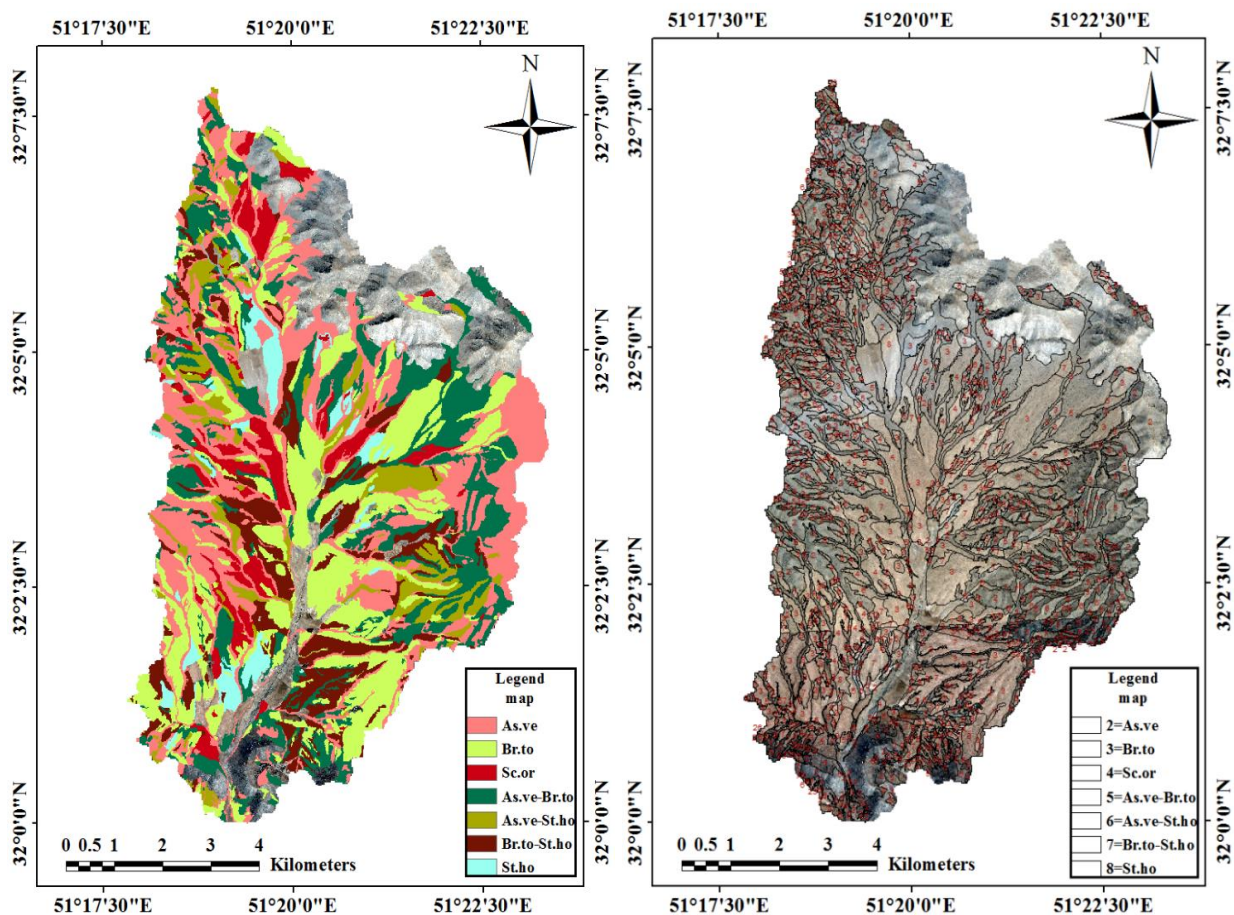
صحت استفاده‌کننده (درصد)	صحت تولیدکننده (درصد)	طبقات مختلف واحدهای اکولوژیک گیاهی
Commission	Omission	Different classes of plant ecological units
۰/۹۸	۰/۹۶	<i>Astragalus verus</i>
۰/۹۴	۱۰۰	<i>Bromus tomentellus</i>
۱۰۰	۰/۹۸	<i>Scariola orientalis</i>
۱۰۰	۱۰۰	<i>Astragalus verus-Bromus tomentellus</i>
۱۰۰	۰/۹۸	<i>Astragalus verus-Stipa hohenikeriana</i>
۰/۹۹	۱۰۰	<i>Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana</i>
۱۰۰	۰/۹۸	<i>Stipa hohenikeriana</i>
	۰/۹۹	صحت کلی طبقه‌بندی (درصد)

## نتایج

تفسیر بصری واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصویر گوگل ارث

نتایج حاصل از تفسیر بصری نشان می‌دهد که در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی نسبتاً متجانس و همگن که به لحاظ داشتن خصوصیات محیطی خاص از سایر بخش‌ها متمایز شده و از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت هستند شناسایی و تفکیک شدند که شامل *Astragalus verus*, *Scariola orientalis*, *Bromus tomentellus*

*Astragalus verus*-*Bromus tomentellus* و *Stipa hohenikeriana* می‌باشند (شکل ۴). با توجه به جدول (۱)، بررسی پارامترهای آماری واحدهای مختلف اکولوژیک مانند دقت تولید کننده و دقت استفاده‌کننده گویای آن است که تمامی واحدها دارای صحت بالایی هستند. از سویی دقت کلی طبقه‌بندی برابر ۰/۹۹ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۹۸ می‌باشد که نشان از دقت بالای این روش است.



شکل ۴- شناسایی و استخراج واحدهای اکولوژیک گیاهی با ویژگی‌های ساختاری متفاوت و طبقه‌بندی واحدهای گیاهی همگن با خصوصیات مشابه بر روی تصویر گوگل ارث

Figure 4- Identifying and extracting plant ecological units with different structural characteristics and then classifying homogeneous plant units with similar characteristics on the Google Earth image

(As.ve=Astragalus verus .Br.to=Bromus tomentellus .Sc.or=Scariola orientalis ,As.ve-Br.to=Astragalus verus-Bromus tomentellus ,  
As.ve-St.ho=Astragalus verus-Stipa hohenikeriana .Br.to-St.ho=Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana .St.ho=Stipa  
hohenikeriana)

حکایت از آن دارد که دقت کلی طبقه‌بندی برابر ۰/۹۲ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۸۹ می‌باشد که در محدوده مورد تأیید است. با توجه به اینکه Smith و همکاران (۲۰۱۰) ضرایب کاپای بزرگ‌تر از ۰/۷ را خیلی خوب بیان کردند، نتایج حاصل از این طبقه‌بندی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ چه از نظر تک تک واحدهای اکولوژیک و چه از نظر مجموع صحت و ضریب کاپا از دقت بالایی برخوردارند. نتایج حاصل از این تحقیق همچنین نشان داد که با افزودن لایه‌های کمکی، دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از طبقه‌بندی به ترتیب افزایشی حدود ۱۳ و ۱۴ درصدی بر روی تصاویر لندست ۸ را در مقایسه با زمانی‌که تنها باندهای ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفتند نشان دادند. به‌علاوه اینکه دقت تولیدکننده و دقت استفاده کننده نیز افزایش قابل توجهی را در واحدهای اکولوژیک گیاهی داشتند که باعث بهبود تفکیک‌پذیری واحدها از یکدیگر شدند.

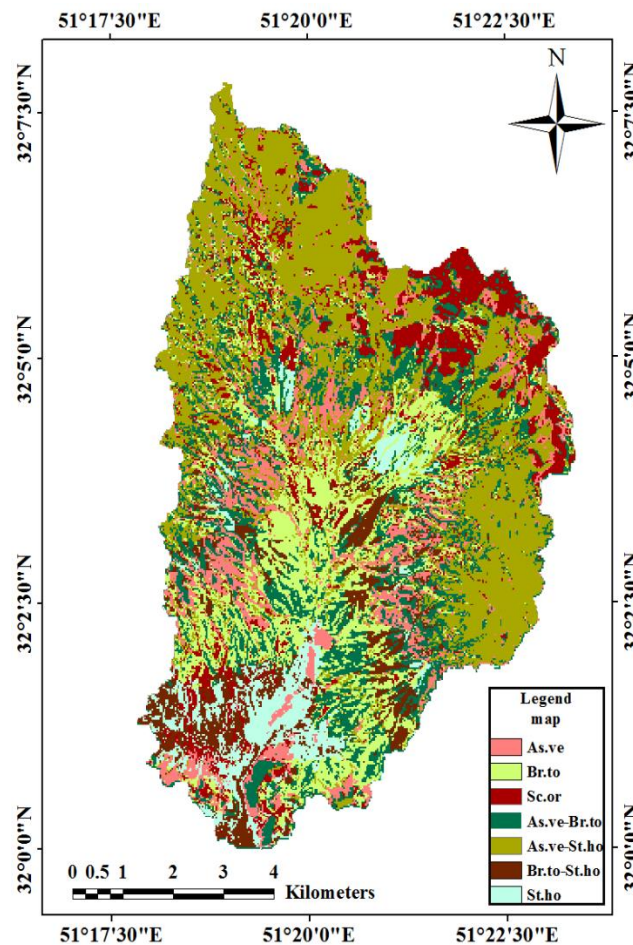
الگوریتم طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ پس از اعمال الگوریتم طبقه‌بندی، ماتریس خطا توسط نرم‌افزار تولید و بر اساس مقادیر داخل این ماتریس ارزیابی آماره‌های استخراج شده انجام گردید. نتایج حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی مذکور نشان می‌دهد که واحدهای اکولوژیک گیاهی در ۷ گروه شناسایی و تفکیک شدند. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد واحد اکولوژیک *Astragalus* اکولوژیک *verus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۸ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus* با ۰/۸۴ درصد به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین دقت تولیدکننده را دارند. در حالی‌که بالاترین دقت استفاده‌کننده مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus* با ۰/۹۶ درصد و پایین‌ترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۸۶ درصد است. سایر واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز دارای دقتی بین دو گروه مذکور بوده‌اند (جدول ۲ و شکل ۵). بررسی نتایج به‌دست آمده همچنین

جدول ۲- نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره‌ای

لندست ۸

**Table 2- The results of the error matrix of the plant ecological units map resulting from the Classification Tree Analysis algorithm on Landsat 8 satellite images**

صحت استفاده‌کننده (درصد)	صحت تولیدکننده (درصد)	طبقات مختلف واحدهای اکولوژیک گیاهی
Commission	Omission	Different classes of plant ecological units
۰/۹۶	۰/۹۴	<i>Astragalus verus</i>
۰/۹۵	۰/۸۴	<i>Bromus tomentellus</i>
۰/۹۱	۰/۸۹	<i>Scariola orientalis</i>
۰/۸۹	۰/۹۵	<i>Astragalus verus-Bromus tomentellus</i>
۰/۸۶	۰/۹۸	<i>Astragalus verus-Stipa hohenikeriana</i>
۰/۹۲	۰/۹۰	<i>Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana</i>
۰/۹۱	۰/۸۹	<i>Stipa hohenikeriana</i>
۰/۹۲		صحت کلی طبقه‌بندی (درصد)



شکل ۵- نقشه حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸

**Figure 5 - Map resulting from Classification Tree Analysis algorithm of plant ecological units on Landsat 8 satellite images**

(As.ve=Astragalus verus ,Br.to=Bromus tomentellus ,Sc.or=Scariola orientalis ,As.ve-Br.to=Astragalus verus-Bromus tomentellus , As.ve-St.ho=Astragalus verus-Stipa hohenikeriana ,Br.to-St.ho=Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana ,St.ho=Stipa hohenikeriana)

برخوردار هستند، به طوری که واحد اکولوژیک *Astragalus verus-Stipa hohenikeriana* با ۰/۹۹ درصد و واحد اکولوژیک *Bromus tomentellus* با ۰/۹۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین دقت تولیدکننده را دارند. در حالی که بیشترین دقت استفاده‌کننده مربوط به واحد اکولوژیک *Astragalus verus* با ۰/۹۹ درصد و

الگوریتم طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ همان‌گونه که از پارامترهای ماتریس خطا که بر اساس مقایسه نمونه‌های تصادفی از منطقه و پیکسل‌های طبقه‌بندی شده ارزیابی می‌شود برمی‌آید، تمام واحدهای اکولوژیک گیاهی از دقت تولیدکننده بالای ۰/۹۰ درصد

۴ و ۵ درصد بر روی تصاویر سنتینل ۲ در مقایسه با زمانی که تنها باندهای خام مورد استفاده قرار گرفتند، شده است. به‌علاوه دقت تولیدکننده و دقت استفاده‌کننده نیز افزایش قابل توجهی را در واحدهای اکولوژیک گیاهی داشتند که باعث بهبود جداسازی واحدها از یکدیگر شدند. بر اساس مقادیر محاسبه شده می‌توان دریافت که خروجی‌های حاصل از الگوریتم مورد استفاده بر روی تصاویر سنتینل ۲ بسیار مطلوب هستند (جدول ۳ و شکل ۶).

کمترین مقدار آن متعلق به واحد اکولوژیک *Stipa hohenikeriana* با ۰/۸۵ درصد است. سایر واحدهای اکولوژیک گیاهی نیز دارای دقتی بین دو گروه مذکور بوده‌اند.

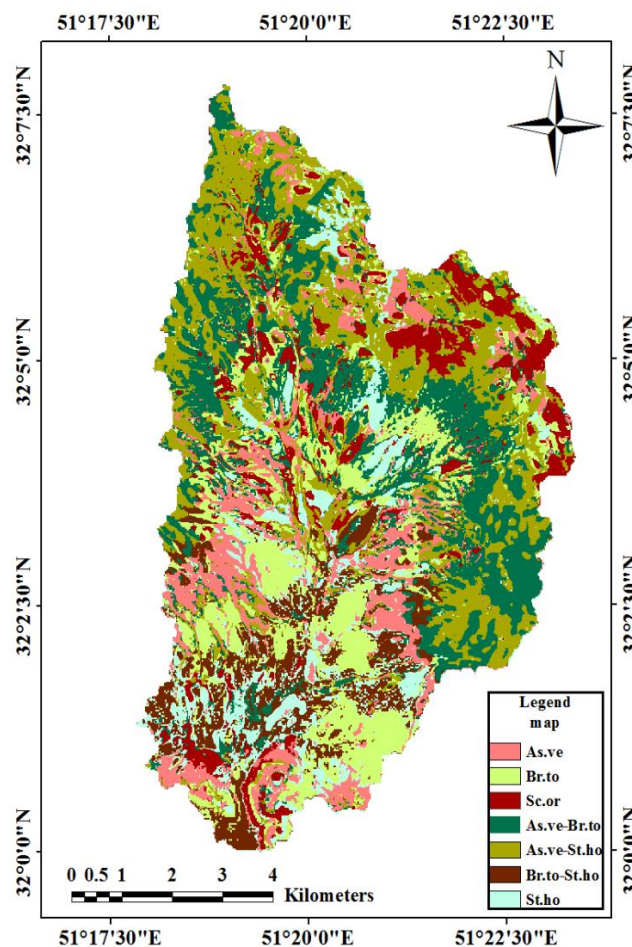
نتایج این مطالعه همچنین نشان داد که دقت کلی طبقه‌بندی برابر ۰/۹۴ درصد و ضریب کاپای کل نیز ۰/۹۲ می‌باشد که در محدوده مورد تأیید قرار دارند. نکته مورد توجه دیگر در رابطه با نتایج طبقه‌بندی این است که افزودن لایه‌های کمکی، منجر به افزایش دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از طبقه‌بندی به ترتیب حدود

جدول ۳- نتایج ماتریس خطای نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲

Table 3- The results of the error matrix of the plant ecological units map resulting from the Classification Tree

Analysis algorithm on the Sentinel 2 satellite images

صحت استفاده‌کننده (درصد)	صحت تولیدکننده (درصد)	طبقات مختلف واحدهای اکولوژیک گیاهی
Commission	Omission	Different classes of plant ecological units
۰/۹۹	۰/۹۵	<i>Astragalus verus</i>
۰/۹۸	۰/۹۰	<i>Bromus tomentellus</i>
۰/۹۶	۰/۹۲	<i>Scariola orientalis</i>
۰/۸۹	۰/۹۵	<i>Astragalus verus-Bromus tomentellus</i>
۰/۹۲	۰/۹۹	<i>Astragalus verus-Stipa hohenikeriana</i>
۰/۹۷	۰/۹۲	<i>Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana</i>
۰/۸۵	۰/۹۴	<i>Stipa hohenikeriana</i>
	۰/۹۴	صحت کلی طبقه‌بندی (درصد)
	۰/۹۲	ضریب کاپای کل



شکل ۶- نقشه حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی درختی واحدهای اکولوژیک گیاهی بر روی تصاویر ماهواره‌ای سنیتل ۲

**Figure 6- Map resulting from Classification Tree Analysis algorithm of plant ecological units on Sentinel 2 satellite images**

(As.ve=Astragalus verus .Br.to=Bromus tomentellus .Sc.or=Scariola orientalis ,As.ve-Br.to=Astragalus verus-Bromus tomentellus , As.ve-St.ho=Astragalus verus-Stipa hohenikeriana .Br.to-St.ho=Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana .St.ho=Stipa hohenikeriana)

## بحث

یکی از مهمترین ابزارهای کسب اطلاعات مکانی برای مطالعه پوشش گیاهی محسوب می‌شود ( Unger *et al.*, 2013).

نتایج به دست آمده از تفسیر بصری نشان داد که در نهایت ۷ نوع واحد اکولوژیک گیاهی که از نظر ویژگی‌های ساختاری متفاوت بودند شناسایی شدند. همچنین نتایج حاصل از پارامترهای ماتریس خطا نشان داد که تمامی واحدها دارای صحت بالایی هستند. به طوری که دقت کلی و ضریب کاپای آن به ترتیب برابر ۰/۹۹ درصد و ۰/۹۸ است.

ارزیابی مراتع، یکی از اساسی‌ترین امور برای مدیریت و برنامه‌ریزی در جهت توسعه پایدار منابع طبیعی می‌باشد و تهیه نقشه‌هایی که بیانگر تفکیک پوشش‌های مرتعی از یکدیگر باشند برای مدیریت بهینه آنها دارای اهمیت به‌سزایی است. تصاویر ماهواره‌ای و تکنولوژی سنجش از دور از فناوری‌های کارآمد و نوین برای دسترسی به داده‌های علوم زمین شناخته می‌شوند که مطالعه و پایش اکوسیستم‌ها را با هزینه‌ای کمتر از روش‌های میدانی ممکن می‌کند و به‌منزله



موجود در این واحدها گون و سایر گراس‌های یکساله هستند که پوشش گیاهی بیشتری را ایجاد می‌کنند. از این رو دقت بالای جداسازی این واحدهای اکولوژیک در مقایسه با سایر واحدها موضوعی مورد انتظار است، به‌ویژه هنگامی که پهنه تحت اشغال این واحدها در قالب پهنه‌های نسبتاً همگن شناسایی شوند. این موضوع مؤید این مطلب است که برداشت نمونه‌های کافی از طبقات مختلف پوشش گیاهی، احتمال تعلق صحیح هر یک از پیکسل‌های تصویر دریافتی از ماهواره، به طبقات صحیح را افزایش می‌دهد. بنابراین حصول نتایج مناسب از طبقه‌بندی تصاویر در گروه نمونه‌های کافی و مناسب است. در واقع از آنجایی که نمونه‌های آموزشی از مناطق نسبتاً همگن پوشش گیاهی جمع‌آوری شده‌اند، بنابراین روشن است که تفکیک‌پذیری و دقت بالایی را در هنگام طبقه‌بندی نشان خواهند داد. با توجه به صحت بالای نقشه تولید شده می‌توان بیان کرد که داده‌های ماهواره لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، دارای قابلیت به‌نسبت خوبی برای طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک گیاهی است. به‌طوری‌که دقت نقشه تهیه شده نیز متناسب با همین کیفیت است که بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده می‌باشد. نتایج حاصل از این تحقیق با گزارش‌های Maynard و Karl (۲۰۱۷)، Ouzemou و همکاران (۲۰۱۸) و Lima و همکاران (۲۰۱۹) که اظهار داشتند عملکرد تصاویر لندست ۸ از صحت بالایی برخوردار است و دارای اختلاف اندکی با تصاویر سنتینل ۲ می‌باشد، مطابقت دارد. نتایج به‌دست آمده از پارامترهای ماتریس خطا توسط طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲، بیانگر دقت تولیدکننده، دقت کلی و ضریب کاپای بالای ۰/۹۰ درصد در تمامی واحدهای اکولوژیک گیاهیست. از سویی، مقادیر مشاهده شده در قطر ماتریس خطا بسیار بیشتر از مقادیر خارج از قطرهاست. بر همین اساس می‌توان دریافت که خروجی‌های حاصل از الگوریتم مورد استفاده بر روی تصاویر سنتینل ۲ از نتایج بهتری در مقایسه با تصاویر لندست ۸ برخوردار است. دلیل کیفیت نقشه تهیه شده را می‌توان به‌طور کلی در قدرت تفکیک

یکی از معیارهای مهمی که به‌طور مستقیم در پوشش گیاهی به‌کار می‌رود رنگ است که با استفاده از خاصیت روشنی و تیرگی تصاویر می‌توان گونه‌های مختلف گیاهی را تشخیص داد. همان‌طوری‌که نتایج نشان داد بیشتر واحدهای اکولوژیک درست نام‌گذاری شده‌اند و تنها چند مورد اندک از انتخاب‌ها به دلیل تغییرات رنگ خاک و خصوصیات طیفی مشابه، نادرست هستند. تفسیر بصری تصاویر با استفاده از دانش شخص تفسیر کننده در مورد انواع پارامترهای بصری از قبیل رنگ، خصوصیات طیفی، شکل، اندازه، سایه، الگو، بافت و خصوصیات مکانی بر روی یک پیکسل منفرد انجام نمی‌شود، بلکه به‌جای آن یک ناحیه کامل مورد تحلیل قرار می‌گیرد. این عمل به میزان زیادی به تجربه اولیه در مورد تصاویر، عوارض مورد نظر و رفتار طیفی هر عارضه بستگی دارد که بیشترین تأثیر را بر صحت نتایج حاصل از تفسیر خواهد داشت. بنابراین می‌توان بیان کرد که موارد انتخابی به‌ویژه رنگ و بافت، مؤلفه‌های قابل اعتمادی هستند و طبقه‌بندی به روش بصری بر روی تصاویر گوگل ارث شیوه مناسبی برای تهیه نقشه‌های موضوعی، تعیین ساختار مراتع، تشخیص واحدهای مجزای گیاهی و فاصله بین آنها می‌تواند باشد. این نتایج با یافته‌های Jafari و همکاران (۲۰۱۲) و MohammadHassanpour (۲۰۱۳) که بیان می‌کنند نقشه تولید شده از تصاویر گوگل ارث از صحت بالایی برخوردار بوده و می‌توان به‌عنوان یک واقعیت زمینی استفاده کرد، مطابقت دارد. در تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی منطقه مورد مطالعه توسط الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر ماهواره لندست ۸، نتایج حاصل از پارامترهای ماتریس خطا حکایت از آن دارد که واحدهای اکولوژیک گیاهی دارای دقت و ضریب کاپای بالای ۰/۸۰ درصد هستند. صحت بالای طبقه‌بندی یک طبقه می‌تواند ناشی از ویژگی‌های طیفی متمایز یا قابلیت تفکیک‌پذیری طیفی آن در مقایسه با دیگر واحدهای اکولوژیک گیاهی باشد. این خود نشان‌دهنده تنوع در خصوصیات طیفی گیاهان به دلیل اختلافات ساختاری و زیستی و همچنین خاک زمینه است. بیشتر گونه‌های گیاهی

آنجایی که این مطالعه در یک منطقه نیمه خشک انجام شد، مقادیر بازتاب پوشش واحدهای اکولوژیک گیاهی بیشتر با بازتاب خاک پس‌زمینه ترکیب می‌شوند. از سویی، رفتار طیفی مشابه گونه‌ها در مناظر ناهمگن به‌ویژه در زیر کلاس پوشش مرتعی باعث تداخل طیفی بین واحدهای اکولوژیک گیاهی و عدم تفکیک دقیق آنها از یکدیگر می‌شود، به‌ویژه زمانی که از تصاویری با وضوح متوسط مانند لندست استفاده گردد. بنابراین به‌کارگیری داده‌های کمکی در پراکنش مکانی واحدهای اکولوژیک به همراه داده‌های طیفی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو به نظر می‌رسد که داده‌های کمکی، نوین ایجاد شده به‌وسیله بازتاب خاک لخت بر روی سیگنال‌های دریافتی توسط سنسورهای باندهای ماهواره را کاهش می‌دهند و با شناسایی رفتارهای طیفی متمایز و جداسازی پدیده‌های مختلف پیکسل‌های خالص بیشتری را در ارتباط با واحدهای اکولوژیک ارائه می‌دهند و منجر به تولید نقشه‌های طبقه‌بندی دقیق‌تر می‌شوند. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه با تحقیق Feng و همکاران (۲۰۱۸) و Hurskainen و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. بر اساس خروجی‌های به‌دست آمده از این پژوهش، مشخص شد که تصاویر ماهواره‌ای و تصاویر هوایی دارای قابلیت تفکیک مناسبی برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی هستند. اما تصاویر ماهواره‌ای به‌ویژه سنتینل ۲ به دلیل قدرت تفکیک مکانی و طیفی بیشتر در باندهای مرئی و محدوده مادون قرمز، از عملکرد بالاتری برخوردار است. از سویی، ادغام داده‌های کمکی به‌دست آمده از تصاویر اصلی به همراه باندهای خام، اطلاعات باارزشی را برای شناسایی و تفکیک واحدهای اکولوژیک گیاهی ارائه کرد. از آنجایی که تفسیر بصری تصاویر گوگل ارث، روشی زمان‌بر بوده و هزینه بالایی دربر دارد، بنابراین با توجه به نتایج بسیار مطلوب این مطالعه مبنی بر تفکیک واحدها توسط الگوریتم طبقه‌بندی درختی با استفاده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تصاویر این ماهواره‌ها به‌ویژه سنتینل ۲ به دلیل رزولوشن بالا و ارائه تصاویری با قدرت تفکیک زیاد، می‌توانند به‌عنوان ابزاری کاربردی و قابل

مکانی بالاتر ماهواره سنتینل ۲ و تعداد باندهای طیفی بیشتر آن در مقایسه با ماهواره لندست ۸ دانست که به معنای توافق مناسب بین پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و موقعیت آنها در انواع طبقات واحدهای اکولوژیک گیاهیست. با توجه به ویژگی‌های طیفی متفاوت گونه‌های گیاهی می‌توان انتظار داشت که با افزایش توان تفکیک طیفی، امکان تفکیک واحدهای مختلف اکولوژیک با صحت بیشتر، افزایش یابد. نکته مورد توجه دیگر این است که قابلیت تفکیک‌پذیری واحدهای اکولوژیک با استفاده از مجموعه باندهای ادغام شده اندکی بیشتر است. نتایج قابل قبول ادغام تصاویر سنتینل ۲ بیانگر این نکته است که اگر روش ادغام مناسبی برای این داده‌ها استفاده شود، می‌توان نقشه‌هایی با دقت بالاتر تولید کرد. بدین ترتیب برای هماهنگ‌سازی ابعاد پیکسل‌های تمامی تصاویر، باندها با تفکیک‌پذیری طیفی ۲۰ متر از تصاویر سنتینل ۲، توسط فرایند Pansharpening به ۱۰ متر ارتقا یافتند که هم توان تفکیک طیفی و هم تفکیک مکانی بالاتری برای افزایش دقت نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی دارند. به‌طوری که قابلیت بالاتر تصاویر ماهواره سنتینل ۲ برای طبقه‌بندی نقشه پوشش اراضی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است که گزارش‌های Topaloglu و همکاران (۲۰۱۶)، Thenkabail و Lyon (۲۰۱۶) و Marangoz و همکاران (۲۰۱۷) در این مورد نمونه‌وار است. مورد دیگر استفاده از داده‌های کمکی همراه با باندهای خام برای بهبود دقت طبقه‌بندی واحدهای اکولوژیک بوده است. از میان داده‌های غیرطیفی استفاده شده در این مطالعه، مدل رقومی ارتفاع تأثیر بیشتری در جداسازی واحدهای اکولوژیک گیاهی از یکدیگر داشته و باعث افزایش دقت کلی و ضریب کاپای طبقه‌بندی شد. مقایسه عملکرد داده‌های کمکی و باندهای خام نشان داد که دقت کلی و ضریب کاپای نقشه حاصل از الگوریتم طبقه‌بندی درختی بر روی تصاویر لندست ۸، به ترتیب حدود ۱۳ و ۱۴ درصد و بر روی تصاویر سنتینل ۲ به ترتیب حدود ۴ و ۵ درصد در مقایسه با زمانی که تنها باندهای خام مورد استفاده قرار گرفتند بهبود یافتند. از



- Conservation, 22: e00971.
- Huete, A., 2004. Remote Sensing for Natural Resources Management and Environmental Monitoring: Manual of remote sensing, University of California, Davis, 3 edition, 4.
  - Hurskainen, P., Adhikari, H., Siljander, M., Pellikka, P.K.E. and Hemp, A., 2019. Auxiliary datasets improve accuracy of object-based land use/land cover classification in heterogeneous savanna landscapes. *Remote Sensing of Environment*, 233: 111354.
  - Jafari, S.H., Rahimi, K.H. and Arazzadeh, Y., 2012. Land use mapping using Google Earth data (Case study: Karaj). Sixth National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran, <https://civilica.com/doc/170175> (In Persian).
  - Jia, K., Wei, X., Gu, X., Yao, Y., Xie, X. and Li, B., 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China. *Geocarto International*, 29 (8): 941-951.
  - Jiang, X.B., Zhou, Q.G. and Li, A.N., 2004. Landscape pattern of Diqing, Yunnan. *Journal of Mountain Research*, 22: 164-168.
  - Kashi Zenouzi, L., Saadat, H. and Namdar, M., 2016. Comparison between the accuracy of geomorphological map using traditional and analytical photogrammetry methods (Case study: Harzand chai waters). *Journal of Geographical Data*, 97 (25): 57-66 (In Persian).
  - Koomen, E., Stillwell, J., Bakema, A. and Scholten, H.J., 2007. *Modelling land-use change. Progress and Applications*, Springer Dordrecht, 90: 1-22.
  - Kusbach, A., Long, J.N., Van Miegroet, H. and Shultz, L.M., 2012. Fidelity and diagnostic species concepts in vegetation classification in the Rocky Mountains, Northern Utah, USA. *Journal of Botany*, 90 (8): 678-693.
  - Lillesand, T.M. and Kiefer, R.W., 1994. *Remote sensing and image interpretation*. 3rd edition, John Wiley and Sons, New York, 750 p.
  - Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. and Chipman, J.W., 2004. *Remote sensing and image interpretation*. 5th edition, John Wiley and Sons, New York.
  - Lima, T.A., Beuchle, R., Langner, A., Grecchi, R.C., Griess, V.C. and Achard, F., 2019. Comparing Sentinel 2 MSI and Landsat 8 OLI imagery for monitoring selective logging in the Brazilian Amazon. *Journal of Remote sensing*, 961 (11): 1-21.
  - Ludwig, A., Meyer, H. and Nauss, T., 2016. Automatic classification of Google Earth images for a larger scale monitoring of bush encroachment in

استفاده، اطلاعات و جزئیات دقیقی را از پدیده‌های سطح زمین فراهم کنند و با توجه به دسترسی نسبتاً آسان آنها، به‌عنوان منبع مناسبی برای تهیه نقشه واحدهای اکولوژیک گیاهی مورد استفاده قرار بگیرند.

### منابع مورد استفاده

- Adam, E., Abd Elbasit, M.A.M., Adelabu, S.A. and Bande, P., 2018. Comparing landsat 8 and sentinel 2 in mapping water quality at VAAL DAM. Conference: International Geoscience and Remote Sensing Symposium At: Valencia, Spain, 9781-5386-7150-4.
- Afrasinei, G., Melis, M., Buttau, C., Bradd, J. and Arras, C., 2017. Assessment of remote sensing-based classification methods for change detection of salt-affected areas (Biskra area, Algeria). *Journal of Applied Remote Sensing*, 11 (1): 016025.
- Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A. and Stone, C.J., 1984. *Classification and regression trees*, Wadsworth and Brooks/Cole, 358 p.
- Culman, S.W., Gauch, H.G., Blackwood, C.B. and Thies, J.E., 2008. Analysis of T-RFLP data using analysis of variance and ordination methods: a comparative study. *Journal of Microbiological Methods*, 75 (1): 55-63.
- Dogan, O.K., Akyurek, Z. and Beklioglu, M., 2009. Identification and mapping of submerged plants in a shallow lake using quickbird satellite data. *Journal of environmental management*, 90 (7): 2138-2143.
- Duffy, J.P., Pratt, L., Anderson, K., Land, P.E. and Shutler, J.D., 2018. Spatial assessment of intertidal seagrass meadows using optical imaging systems and a lightweight drone. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 200: 169-180.
- Eugenio, F., Martin, J., Marcello, J. and Fraile-Nuez, E., 2013. Environmental monitoring of El Hierro Island submarine volcano, by combining low and high resolution satellite imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 29: 53-66.
- Feng, D., Yu, L., Zhao, Y., Cheng, Y., Xu, Y., Li, C. and Gong, P., 2018. A multiple dataset approach for 30-m resolution land cover mapping: A case study of continental Africa. *International Journal of Remote Sensing*, 39 (12): 3926-3938.
- Ge, G., Shi, Z., Zhu, Y., Yang, X. and Hao, Y., 2020. Land use/cover classification in an arid desert-oasis mosaic landscape of China using remote sensed imagery: Performance assessment of four machine learning algorithms. *Global Ecology and*

- topography in satellite images. *Journal of Natural Resources of Iran*, 55: 107-122 (In Persian).
- Smith, P.C., Dellepiane, S.G. and Schowengerdt, R.A., 2010. Quality assessment of image classification algorithms for land cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. *International Journal of Remote Sensing*, 20 (8): 1461-1486.
  - Tahmasebi, P., Moradi, M. and Omidipour, R., 2017. Plant Functional Identity as the Predictor of Carbon Storage in Semi-Arid Ecosystems. *Plant Ecology & Diversity*, 2-3 (10): 139-151.
  - Thenkabail, P.S. and Prasad, S., 2015. Remotely Sensed Data Characterization, Classification and Accuracies. *Object-Based Image Analysis: Evolution, History, State of the Art, and Future Vision*, 276-293.
  - Thenkabail, P.S. and Lyon, J.G., 2016. *Hyperspectral remote sensing of vegetation*, Second Edition, Four Volume Set: CRC Press. 1632 p.
  - Topaloglu, R.H., Sertel, E. and Musaoglu, N., 2016. Assessment of classification accuracies of Sentinel 2 and Landsat-8 data for land cover/use mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, XXIII ISPRS Congress, 1055-1059.
  - Unger, D.R., Kulhavy, D.L. and Hung, I.K., 2013. Validating the geometric accuracy of high spatial resolution multispectral satellite data. *GIS cience and Remote Sensing*, 50 (3): 271-280.
  - Weng, Q., 2018. *Remote Sensing Time Series Image Processing*. Taylor & Francis Series in Imaging Science International Standard Book, 13, 264 p.
  - Xie, Z., Chen, Y., Lu, D., Li, G. and Chen, E., 2019. Classification of land cover, forest, and tree species classes with ZiYuan-3 multispectral and stereo data. *Journal of Remote. Sensing*, 11 (2): 1-27.
  - Xu, M., Watanachaturaporn, P., Varshney, P.K. and Arora, M.K., 2005. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 97 (3): 322-336.
  - Yoneyama, Y., Suzuki, S., Sawa, R., Yoneyama, K., Power, G.G. and Araki, T., 2002. Increased plasma adenosine concentrations and the severity of preeclampsia. *Obstetrics & Gynecology*, 100 (6): 1266-1270.
  - South Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 50: 89-94.
  - Marangoz, A.M., Sekertekin, A. and Akcin, H., 2017. Analysis of land use land cover classification results derived from Sentinel-2 image. *17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, Photogrammetry and Remote Sensing*, 3-8.
  - Maynard, J.J. and Karl, J.W., 2017. A hyper-temporal remote sensing protocol for high-resolution mapping of ecological sites. *PloS ONE* 12 (4): e0175201.
  - MohammadHassanpour, M., 2013. Preparation of land use map of Ghoshchi Pass area of Urmia using Google Earth images and GIS. *Third Conference on Environmental Planning and Management*, Tehran, <https://civilica.com/doc/240157> (In Persian).
  - Mountrakis, G., Im, J. and Ogole, C., 2011. Support vector machines in remote sensing: A review. *Photogrammetry and Remote Sensing*, 66: 247-259.
  - Mueller-Dombois, D. and Ellenberg, H., 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. John Wiley and Sons, New York, 2 (2): 158-159.
  - Navarro, G., Caballero, I., Silva, G., Parra, P.C., Vázquez, Á. and Caldeira, R., 2017. Evaluation of forest fire on Madeira Island using Sentinel-2A MSI imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 58 (2): 97-106.
  - Niazi, Y., Ekhtesasi, M., Malekinezhad, H. and Hosseini, S.Z., 2011. Comparison between two classification methods of maximum likelihood and artificial neural network for providing land use maps case study: Ilam Dam Area. *Journal of Geography and Development*, 20: 119-132.
  - Ouzemou, J.E., El Harti, A., Lhissou, R., El Moujahid, A., Bouch, N., El Ouazzani, R., Bachaoui, E.M. and El Ghmari, A., 2018. Crop type mapping from pansharpened Landsat 8 NDVI data: A case of a highly fragmented and intensive agricultural system. *Remote Sensing Application: Society Environment*, 11: 1-28.
  - Pourbagherkordi, M., 2018. Comparison of visual and automated methods based on object in identifying landforms in Yazd-Ardakan basin. *Remote Sensing and GIS Iran*, 1: 73-90 (In Persian).
  - Sepehri, A., 2002. Investigating the capability of mineart method in removing the effect of

## Investigation of classification tree analysis algorithm using landsat 8 and sentinel 2 satellite images and visual interpretation of Google earth images in separation and classification of plant ecological units

S. Sadat Mahzooni-Kachapi<sup>1</sup>, A. Ebrahimi<sup>2</sup>, P. Tahmasebi<sup>3\*</sup> and M. H. Jouri<sup>4</sup>

1- Ph.D. Student, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Iran

2- Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Iran

3\*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Rangeland Management, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Iran, E-mail: pejman.tahmasebi@nres.sku.ac.ir,

4- Associate Professor, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Noor Branch, Iran

Received: 04/22/2022

Accepted: 09/24/2022

### Abstract

One of the most important methods of extracting information from satellite data is various image classification techniques. The current research was conducted to separate and classify plant ecological units by classification tree analysis algorithm on satellite images and also the visual interpretation of Google Earth images in one of the semi-steppe rangelands of Chaharmahal and Bakhtiari province. After applying the classification algorithm in Idrisi TerrSet software, the software generated the error matrix, and then based on the values inside this matrix, the extracted statistics were evaluated. The results of visual interpretation showed that finally, seven types of plant ecological units that were different in terms of structural features were identified and expressed as descriptive statistics, including *Astragalus verus*, *Bromus tomentellus*, *Scariola orientalis*, *Astragalus verus-Bromus tomentellus*, *Astragalus verus -Stipa hohenikeriana*, *Bromus tomentellus-Stipa hohenikeriana*, and *Stipa hohenikeriana*. The results also showed that the overall accuracy and kappa coefficients of 0.92% and 0.89 for Landsat 8 images and 0.94% and 0.92 for sentinel 2 images were achieved. Based on the obtained results, it was found that satellite images and aerial images have a suitable separation capability to prepare a map of plant ecological units. Since the visual interpretation of Google Earth images is a time-consuming and expensive method, it can be concluded that satellite images, especially Sentinel 2, can be used as a tool due to their high resolution and high-resolution images, practical and usable, provide accurate information and details of the earth's surface phenomena and be used as a suitable source for preparing a map of plant ecological units.

**Keywords:** Classification Tree Analysis, visual interpretation, Landsat 8, Sentinel 2, ecological units.