مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره هشتم، شماره‌ی سی و دوم، تابستان ۱۳۹۷

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۷/۰۵/۰۸

صص ۹۲-۸۱

ارزیابی کارایی روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده در پایش ریگزارها (مطالعه‌ی موردی: ریگ جازموریان)

مهران مقصودی*، دانشیار ژئومورفولوژی-دانشگاه تهران

حمید گنجائیان، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-دانشگاه تهران

سید جواد حسینی، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی-دانشگاه تهران

چکیده

ریگزارها به علت قابلیت جابه‌جایی، پیشروی و تأثیر مستقیم آن بر نواحی سکونتگاهی و فعالیت‌های مختلف عمرانی از مناطق مهم نواحی بیابانی هستند؛ بنابراین پایش آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. با توجه به اینکه استفاده از روش‌های نظارت‌شده و نظارت‌نشده به‌عنوان یکی از روش‌های مرسوم در تعیین و پایش انواع کاربری-های اراضی محسوب می‌شوند، در این تحقیق به ارزیابی میزان دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی در پایش ریگزارهای چاله‌ی جازموریان پرداخته شد. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی در تعیین نوع کاربری منطقه‌ی موردمطالعه به‌خصوص ریگزارهای منطقه از تصویر ماهواره‌ی لندست ۸، سنجنده‌ی OLI سال ۲۰۱۷ استفاده شده است. ابتدا محدوده‌ی ریگزارهای منطقه به روش دستی با استفاده از گوگل ارث و نقشه‌ی توپوگرافی منطقه تهیه شد. سپس در نرم‌افزار ENVI نوع کاربری اراضی محدوده‌ی مطالعاتی به روش‌های مختلف نظارت‌شده (حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، متوازی‌السطوح) و نظارت‌نشده (k-mean) تعیین گردید و سپس محدوده‌ی ترسیم‌شده با محدوده‌ای که به روش‌های مختلف طبقه‌بندی تعیین شده است، با استفاده از دو روش نقطه‌ای و سطحی مقایسه و میزان دقت هر کدام از روش‌ها سنجیده شد. با توجه به نزدیک بودن نوع بازتابش تصاویر لندست در مناطق بیابانی، نتایج حاصل از دقت کمی برخوردار است؛ به‌طوری‌که نتایج ارزیابی بیانگر این است که در روش نقطه‌ای و سطحی طبقه‌بندی حداکثر احتمال به ترتیب با دقت کلی ۶۴/۹ و ۵۳ درصد دارای بالاترین دقت است و روش k-mean نیز به ترتیب با دقت کلی ۱۵/۵ و ۱۷ درصد دارای کم‌ترین دقت ممکن است؛ بنابراین به‌منظور پایش نوع کاربری ازجمله ریگزارهای مناطق بیابانی باید از نوع دیگری از تصاویر ماهواره‌ای یا الگوریتم‌های دیگر طبقه‌بندی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: ریگزار، جازموریان، طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت‌نشده.

نویسنده‌ی مسئول: * Email: maghsoud@ut.ac.ir

۱- مقدمه

مناطق بیابانی ازجمله مناطقی هستند که در طی سال‌های اخیر به سبب تغییرات زیاد به‌عنوان یکی از چالش‌های پیش روی کشورها معرفی شده است(زهتابیان و رقیعی امامی، ۱۳۸۲: ۱۲۱). عمده‌ی تغییرات در نواحی بیابانی در نتیجه‌ی عوامل طبیعی و عملکرد نادرست انسان ایجاد می‌گردد(Reynolds, 2008: 22). میزان تغییرات در واحدهای مختلف نواحی بیابانی متفاوت خواهد بود؛ بنابراین شناسایی چشم‌اندازها و نوع کاربری این مناطق بسیار حائز اهمیت خواهد بود(ملامهر علیزاده و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۱۳). در نواحی بیابانی ایران یکی از مناطقی که موردتوجه هستند، ریگزارها می‌باشند. ریگزارها به علت قابلیت جابه‌جایی، پیشروی و تأثیر مستقیم آن بر نواحی سکونتگاهی و فعالیت‌های مختلف عمرانی از مناطق مهم نواحی بیابانی هستند؛ بنابراین پایش و استخراج موقعیت آن‌ها بسیار ضروری خواهد بود. امروزه رویکرد سنتی تفسیر بصری در شناسایی چشم‌اندازها و تهیه‌ی نقشه‌ی آن، فاقد سرعت و دقت لازم است. از طرفی وجود مفسر متخصص نیز ضروری است؛ به همین دلیل استفاده از روش‌های سنجش‌ازدوری در تعیین نوع کاربری و چشم‌اندازها ضروری است(شایان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۱). یکی از مراحلی که به‌منظور تعیین نوع کاربری نواحی مختلف صورت می‌گیرد، استفاده از روش طبقه‌بندی است که در آن داده‌ها در کلاس‌های مشخص قرار می‌گیرند(سعیدزاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۲). طبقه‌بندی یک تصویر، فرآیندی اجرایی برای شناسایی کلاس‌های طیفی مختلف و ارتباط بین انواع پوشش زمینی خاص است(Lillesand et al., 2004: 3) که با روش‌های مختلفی صورت می‌گیرد. میزان دقت در روش‌های مختلف و مناطق مختلف متفاوت خواهد بود. طبقه‌بندی در مناطق بیابانی به سبب تشابه عوارض با هم عمدتاً نسبت به سایر مناطق از دقت کم‌تری برخوردار است. با توجه به اینکه استفاده از روش‌های نظارت‌شده و نظارت‌نشده به‌عنوان یکی از روش‌های مرسوم در تعیین و پایش نوع کاربری‌ها محسوب می‌شوند، در این تحقیق به ارزیابی میزان دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی در پایش ریگزارهای چاله‌ی جازموریان پرداخته شد.

در مورد موضوع موردمطالعه، تحقیقات مختلفی در سطح ایران و جهان صورت گرفته است؛ به‌عنوان‌مثال، نتایج تحقیق فتاحی و همکاران (۱۳۸۶) بیانگر این است که در طبقه‌بندی نظارت‌شده کاربری اراضی در مناطق بیابانی، بالاترین دقت مربوط به روش حداکثر احتمال با دقت کلی ۷۱/۹۵ و ضریب کاپای ۰/۶۷ است. آرخی و فتحی‌زاده (۱۳۹۲) با مقایسه‌ی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی به این نتیجه رسیدند که روش تفاضل باند مادون‌قرمز با دقت کل ۹۰/۴۹ و ضریب کاپای ۰/۹۱ از بین تکنیک‌های پایش تغییر مورداستفاده بیش‌ترین دقت را دارد. نتایج تحقیق جمشیدمقدم و همکاران (۱۳۹۳) بیانگر این است که در بین سه روش طبقه‌بندی پارامتریک حداکثر درست نمایی، حداقل فاصله و فاصله ماهالانوبیس به‌منظور طبقه‌بندی پدیده‌های زمینی با استفاده از تصاویر استر، روش حداکثر درست نمایی دارای بالاترین دقت بوده است. خوارزمی و همکاران (۱۳۹۵) در پایش تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی به این نتیجه رسیدند که شاخص تعدیل‌کننده‌ی خاک (SAVI) به‌عنوان شاخصی با بالاترین ضریب همبستگی با ویژگی‌های مناطق بیابانی شرق ایران است. رعیتی شوازی و همکاران (۱۳۹۶) به این نتیجه رسیدند که در مطالعه تغییرات لندفرم‌های بیابانی الگوریتم حداکثر شباهت دارای بالاترین دقت است. مهدوی و همکاران (۱۳۹۶) به این نتیجه رسیدند که در شناسایی مناطق برداشت رسوبات بادی با استفاده از سه الگوریتم حداکثر شباهت، حداقل فاصله و متوازی‌السطوح، الگوریتم حداکثر شباهت با دقت کلی ۹۵/۵۴ و درصد و ضریب کاپای ۹/. دارای بالاترین دقت است. وارنر و همکاران[1] (۲۰۰۱) به این نتیجه رسیدند که در تفکیک پوشش گیاهی سبز، خشک و خاک، داده‌های لندست ۷ با استفاده از روش جداسازی طیفی، از قابلیت خوبی برخوردار می‌باشند. عبدالرزاق و النجار[2] (۲۰۱۳) کاربری اراضی منطقه جوهور[3] جنوبی را با استفاده از روش حداکثر احتمال و با دقت بالای ۹۰ درصد به دست آوردند. نتایج

۱- Warner

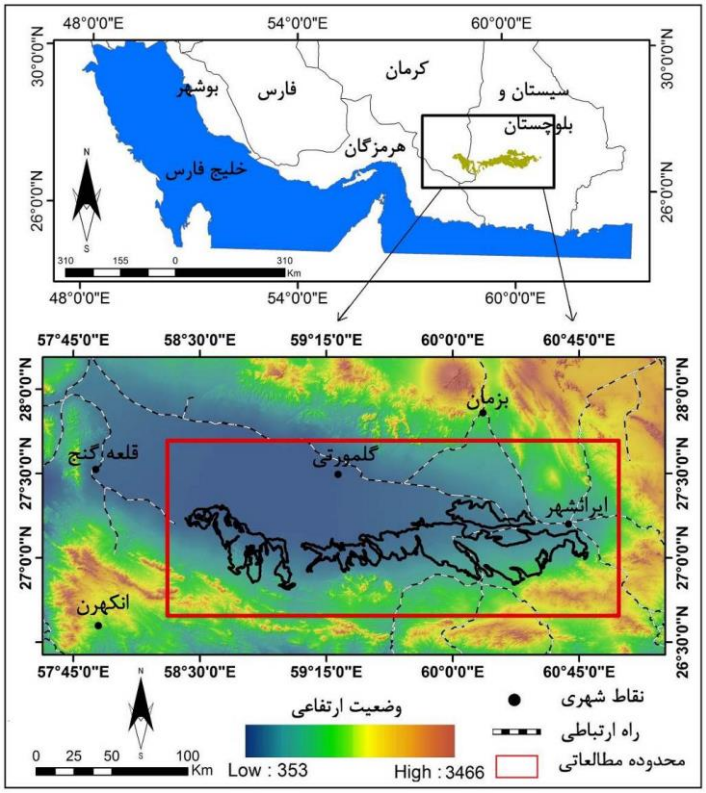
2- Abd Al-Razzaq & Alnajjar

3- Johor

تحقیق اسلام[4] و همکاران (۲۰۱۸) در بنگلادش بیانگر این است که الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای ارزیابی میزان تخریب پوشش گیاهی با دقتی بیش از ۹۰ درصد برای تصاویر سال ۲۰۱۵، روش مناسبی برای ارزیابی تغییرات است. همچنین الکاراداخی[5] و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از روش حداکثر احتمال و با دقت بالای ۹۰ درصد، به ارزیابی کاربری اراضی در کشور عراق پرداختند. مطابق موارد مذکور در این تحقیق نیز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست به ارزیابی میزان دقت روش‌های طبقه‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، متوازی‌السطوح و k-mean در پایش ریگزارهای جازموریان در جنوب استان کرمان و غرب سیستان و بلوچستان پرداخته شد. هدف از انجام تحقیق حاضر، اعتبارسنجی روش‌های مختلف و درنهایت انتخاب یک روش مناسب جهت پایش ریگزارهاست.

۲-محدوده‌ی موردمطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعاتی شامل ریگزارهای چاله‌ی جازموریان است که در جنوب شرقی استان کرمان و غرب استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (شکل ۱). ازجمله نواحی سکونتگاهی مهم در این محدوده، ایرانشهر است که در شرق محدوده واقع شده است. محدوده‌ی مطالعاتی ازنظر ارتفاعی بین ارتفاع ۱۹۲۲ و ۳۵۳ متر از سطح دریا قرار دارد که کم‌ترین ارتفاع منطبق با چاله داخلی جازموریان و بالاترین ارتفاع نیز منطبق بر کوه‌های جنوبی محدوده است. ازنظر ژئومورفولوژی مناطق حاشیه‌ای را واحد کوهستان و مناطق میانی را ریگزارها و نمکزارها دربر گرفته است. ازنظر آب و هوایی نیز این منطقه با میانگین بارش ۱۱۲ میلی‌متر و میانگین دمایی ۲۶ درجه‌ی سانتی‌گراد در سال جزء مناطق خشک کشور محسوب می‌شود(سلیمانی ساردو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۱).



شکل ۱: نقشه‌ی محدوده‌ی موردمطالعه

4- Islam
5- Alkaradaghi

۳- مواد و روش‌ها

با توجه به اهداف موردنظر، در این تحقیق به‌منظور ارزیابی دقت روش‌های مختلف طبقه‌بندی در تعیین نوع کاربری منطقه‌ی موردمطالعه به‌خصوص ریگزارهای منطقه از تصویر ماهواره‌ی لندست ۸، سنجنده‌ی OLI سال ۲۰۱۷ استفاده شد. مراحل کلی کار به این صورت است که ابتدا محدوده‌ی ریگزارهای منطقه به روش دستی و با استفاده از گوگل ارث و نقشه‌ی توپوگرافی منطقه تهیه شد. سپس در نرم‌افزار ENVI نوع کاربری اراضی محدوده‌ی مطالعاتی به روش‌های مختلف تعیین شد و محدوده‌ی ترسیم‌شده با محدوده‌ای که به روش‌های مختلف طبقه‌بندی تعیین شده است با استفاده از دو روش نقطه‌ای و سطحی مقایسه و میزان دقت هر کدام از روش‌ها سنجیده شد. در ادامه به تشریح مراحل مختلف تحقیق پرداخته شده است.

-**ترسیم محدوده‌ی ریگزارهای منطقه:** ترسیم محدوده‌ی ریگزارهای منطقه یکی از ساده‌ترین و درعین‌حال وقت‌گیرترین روش‌های تعیین نوع کاربری اراضی استفاده از روش ترسیم و یا رقومی کردن به‌صورت دستی است. در این تحقیق برای ترسیم محدوده‌ی ریگزارها ابتدا با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه، وضعیت منطقه به‌صورت کلی پایش شد. سپس با استفاده از تصاویر گوگل ارث و با بالاترین دقت ممکن، محدوده‌ی ریگزارها بر روی گوگل ارث ترسیم و سپس به‌منظور انجام ارزیابی با تصاویر طبقه‌بندی‌شده به محیط IDRISI انتقال داده شد.

- **طبقه‌بندی نوع کاربری محدوده‌ی مطالعاتی:** پس از تهیه‌ی تصویر ماهواره‌ای محدوده‌ی مطالعاتی، قبل از هرگونه تجزیه‌وتحلیل و پردازش، داده‌ها ازنظر وجود خطای هندسی و رادیومتری بررسی شد. به‌منظور اطمینان از عدم خطا، با نمایش تک‌تک باندها و نیز ترکیب‌های رنگی مختلف بر روی صفحه‌نمایش و با بزرگ‌نمایی قسمت‌های مختلف این تصاویر، داده‌های هر دو زمان ازلحاظ خطاهای رادیومتری مانند راه‌راه شدگی بررسی شد. برای بررسی وضعیت هندسی تصاویر و اطمینان از مناسب بودن هندسه تصاویر، لایه‌برداری جاده‌های منطقه‌ی موردمطالعه استخراج و روی تصاویر ماهواره‌ای قرار داده شد. پس از پیش‌پردازش تصاویر، نقشه کاربری اراضی منطقه موردمطالعه تهیه شد. ازآنجاکه تفکیک و شناسایی پدیده‌ها به لحاظ رنگ نتایج بهتری ارائه می‌دهد ولی نمایش داده‌های حاصل از اسکنرها در تک باندها با استفاده از گام‌های خاکستری است(Khoi & Murayama, 2010: 1253)، تصویر رنگی کاذب تهیه شد. برای تهیه‌ی تصاویر رنگی کاذب از ترکیب(R:4- G:3-B:2) استفاده شد. با توجه به هدف تحقیق به‌منظور تعیین نوع کاربری منطقه از ۳ روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، حداکثر احتمال[۶] ، حداقل فاصله از میانگین[۷] و متوازی‌السطوح[۸] و روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده K-MEAN استفاده شد. اولین گام در انجام دادن یک طبقه‌بندی نظارت‌شده تعریف مناطقی است که به‌مثابه نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس استفاده می‌شوند(Eastman, 2006: 2). مطابق با هدف تحقیق نمونه‌های تعلیمی در ۵ کلاس نمکزار، ریگزار، پوشش گیاهی، مخروطه‌افکنه و کوهستان تعریف شد و پس از تعیین نمونه‌های تعلیمی در نرم‌افزار ENVI طبقات کاربری با استفاده از روش‌های موردمطالعه تهیه شد.

- **ارزیابی روش‌ها:** بر اساس اهداف موردنظر در تحقیق حاضر به‌منظور ارزیابی میزان دقت محدوده ریگزارها با محدوده‌ی به‌دست‌آمده از طریق روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده، از نرم‌افزار IDRISI استفاده شد. ارزیابی میزان دقت به دو صورت انجام شد. در روش اول از نقاط نمونه استفاده شد؛ به این صورت که برای تعیین میزان صحت هر کاربری از ۱۰۰ نقطه نمونه استفاده شد. درواقع از هر کاربری در واقعیت ۱۰۰ نمونه انتخاب شد. سپس نقاط نمونه بر روی کاربری به‌دست‌آمده با استفاده روش‌های طبقه‌بندی قرارگرفته شد و درنهایت میزان دقت هر کدام از روش‌ها بر مبنای قرارگیری نقاط در کاربری خود تعیین شد. در روش دوم نیز با توجه به اینکه هدف اصلی تحقیق تعیین محدوده‌ی

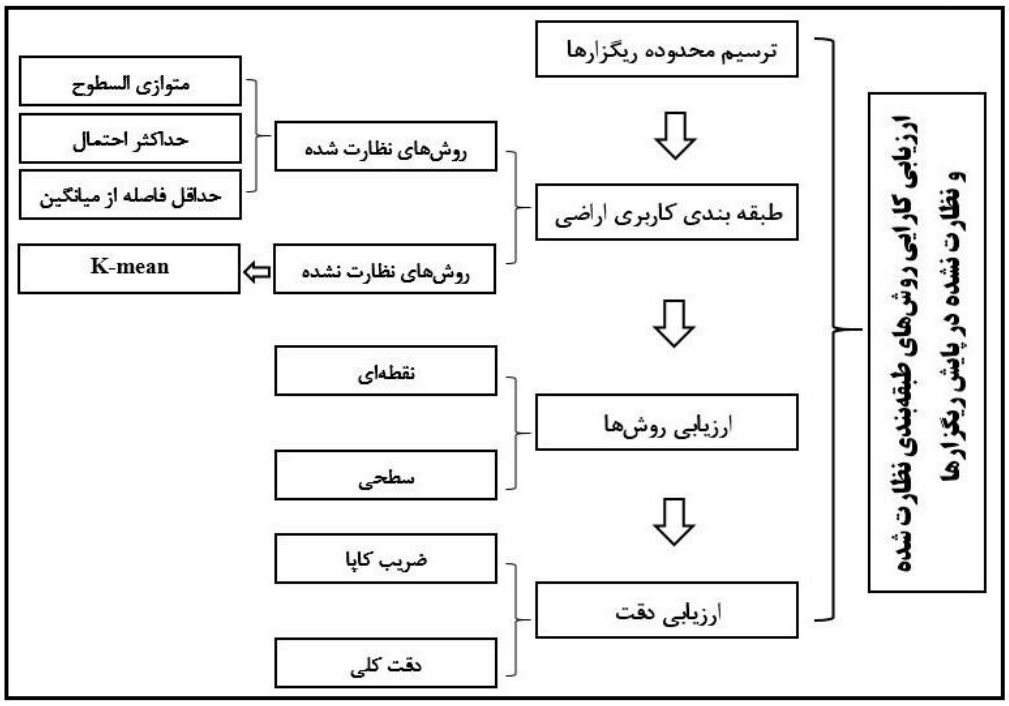
6- Maximum Likelihood

7- Minimum Distance to Mean

8- Parallelepiped

ریگزارهاست، به ارزیابی میزان دقت هر کدام از روش‌های طبقه‌بندی در تعیین محدوده ریگزارها پرداخته شد که در این روش از انطباق پلی‌گونی استفاده شد. درواقع، در این روش محدوده‌ی ریگزارهای تهیه‌شده به‌صورت رقومی و دستی بر محدوده‌ی ریگزارهای به‌دست‌آمده از طریق روش‌های مختلف انطباق داده شد و میزان دقت هر کدام از آن‌ها بر اساس میزان انطباقی که با هم دارند، به دست آمد.

– **ارزیابی دقت روش‌ها:** در این تحقیق به‌منظور ارزیابی دقت استخراج کاربری‌ها از ضریب کاپا[9] و دقت کلی[10] استفاده شد. ضریب کاپا به‌عنوان معیاری برای بیان صحت نقشه‌های استخراجی به کار می‌رود. در این ضریب برای هر ماتریس به کمک عناصر قطری و حاشیه‌ای محاسبه‌شده و نشان‌دهنده‌ی آن است که طبقه‌بندی چقدر با داده‌های واقعی توافق دارد. میزان کلی توافق برای هر ماتریس، بر پایه‌ی تفاوت بین توافق عملی طبقه‌بندی (توافق بین طبقه‌بندی رایانه‌ای و داده‌های واقعیت زمینی که توسط عناصر قطری جدول نمایش داده می‌شوند) و توافق شانسی (که از مقادیر فرعی پیکسل به دست می‌آید) محاسبه می‌گردد(مظاهر و همکاران، ۱۳۸۶: ۳). دقت کلی نیز بیانگر میزان انطباق نقشه‌ها و محدوده‌ی کاربری‌ها با نمونه‌های واقعی است. در شکل ۲ چارت مراحل تحقیق نشان داده شده است.

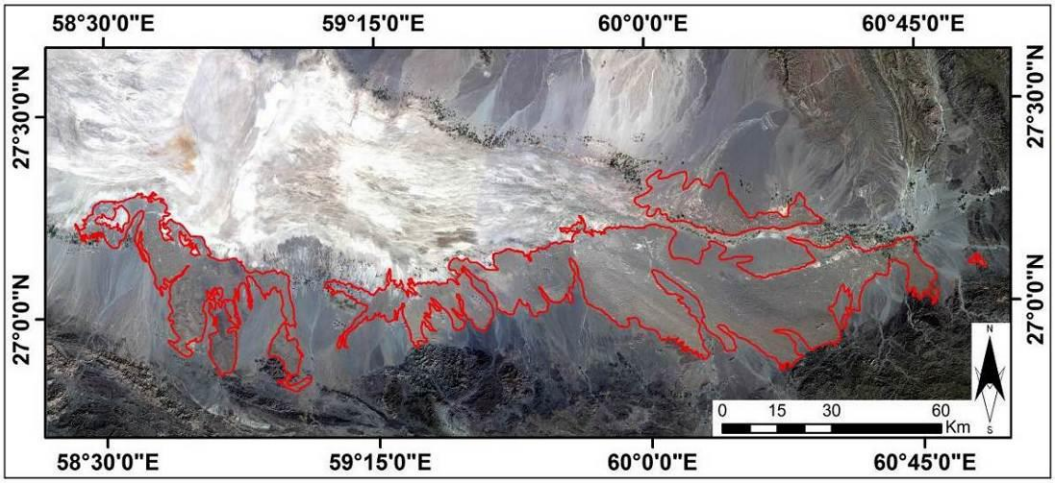


شکل ۲: مراحل انجام تحقیق

۴-بحث و نتایج

– **محدوده‌ی ریگزارهای منطقه**: پایش‌های انجام‌شده در چاله‌ی جازموریان بیانگر این است که ریگزارهای این چاله حدود ۴۰۶۰ کیلومترمربع از منطقه را در برگرفته است. به‌علاوه در محدوده‌ی مطالعاتی مناطق شمالی ریگزارها را نمکزارها و نیز به‌صورت پراکنده، نواحی دارای پوشش گیاهی دربرگرفته است. در مناطق جنوبی ریگزارها نیز عمدتاً مخروطه‌افکنه و سپس واحد کوهستان قرار دارد.

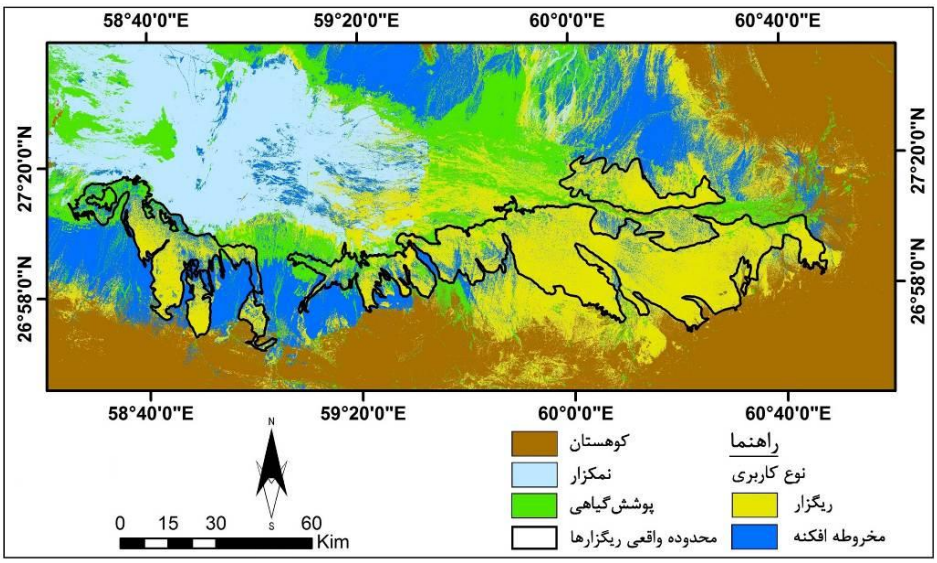
9- Kappa Coeffcient
10- Overall Accuracy



شکل ۲: تصویر ماهواره‌ای موقعیت ریگزارهای جازموریان

۴-۱- سنجش کارایی طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده

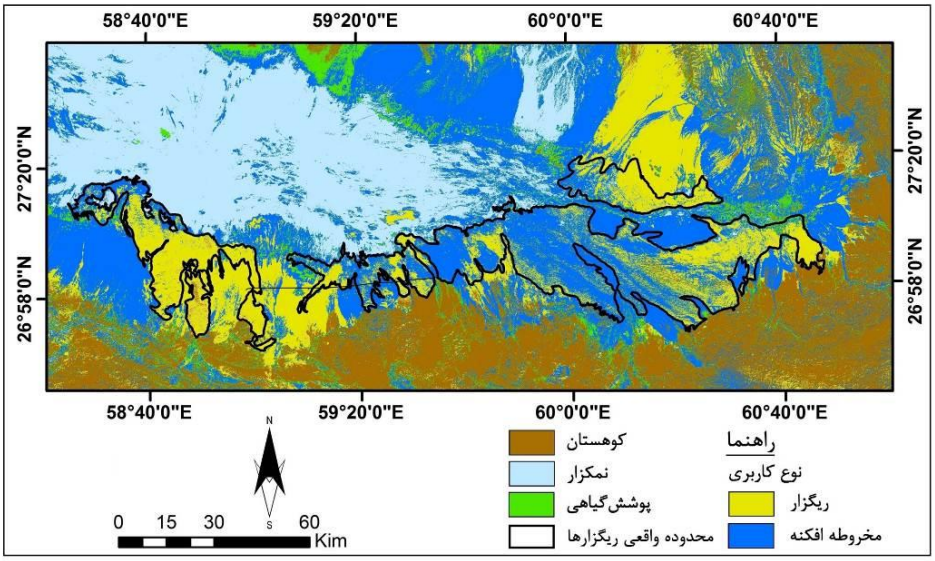
روش حداکثر احتمال (Maximum Likelihood): از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال تاکنون به‌عنوان دقیق‌ترین و پراستفاده‌ترین روش‌ها شناخته شده است. در روش مذکور فرض بر این است که همه‌ی مناطق آموزشی دارای پراکنش نرمال هستند. در حقیقت نمونه‌های کلاس‌های آموزشی باید معرف آن کلاس باشند و تا حد امکان باید از تعداد نمونه‌های بیش‌تری استفاده شود تا تغییرات بسیاری از ویژگی‌های طیفی در این گستره پیوسته قرار گیرد؛ بنابراین شرط توزیع نرمال و تصادفی بودن نمونه‌های تعلیمی در روش بیش‌ترین احتمال اهمیت خاصی دارد(فاطمی و رضایی، ۱۳۸۴: ۲۱۵). در شکل ۳ طبقه‌بندی واحدهای کاربری محدوده مطالعاتی به روش حداکثر احتمال نشان داده شده است.



شکل ۳: طبقه‌بندی نوع کاربری منطقه با استفاده از روش حداکثر احتمال

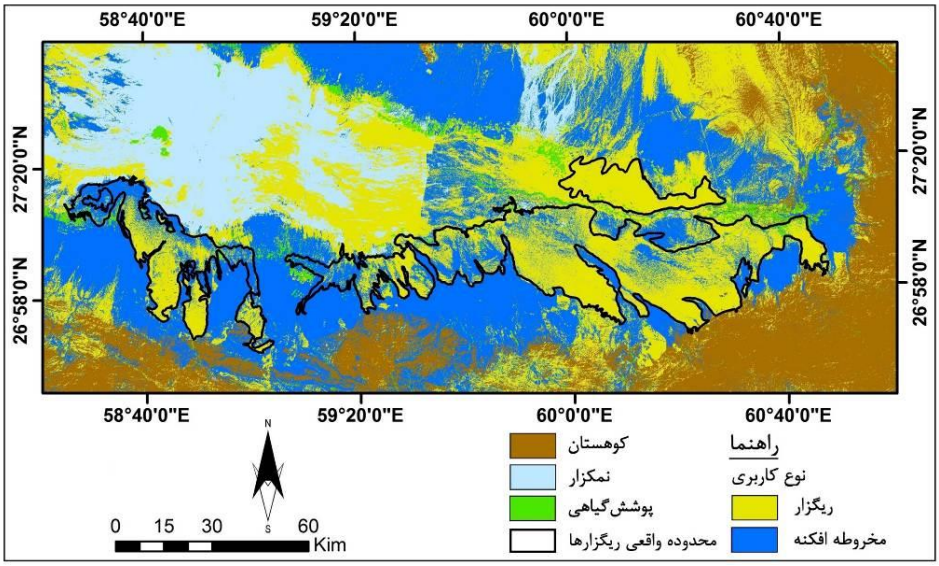
روش حداقل فاصله از میانگین (Minimum Distance to Mean): روش حداقل فاصله از میانگین برای کلاس‌ها یک روش طبقه‌بندی است که در آن از داده‌های آموزشی فقط برای تعیین کلاس‌های متوسط استفاده می‌شود. در این روش نخست مقادیر میانگین طیفی در هر باند و برای هر کلاس تعیین می‌شود و پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله‌ی اقلیدسی هر پیکسل

طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه می‌شود و پیکسل موردنظر با کلاسی اختصاص می‌یابد که کم‌ترین فاصله را با میانگین آن دارد(Richards & Jia, 2006: 201). این نوع طبقه‌بندی ازنظر ریاضی ساده است و مبنای نظری آن به‌اندازه‌ی طبقه‌بندی حداکثر مشابهت قوی نیست(Tso & Mather, 2009: 214) در شکل ۴ طبقه‌بندی واحدهای کاربری محدوده مطالعاتی به روش حداقل فاصله از میانگین نشان داده شده است.



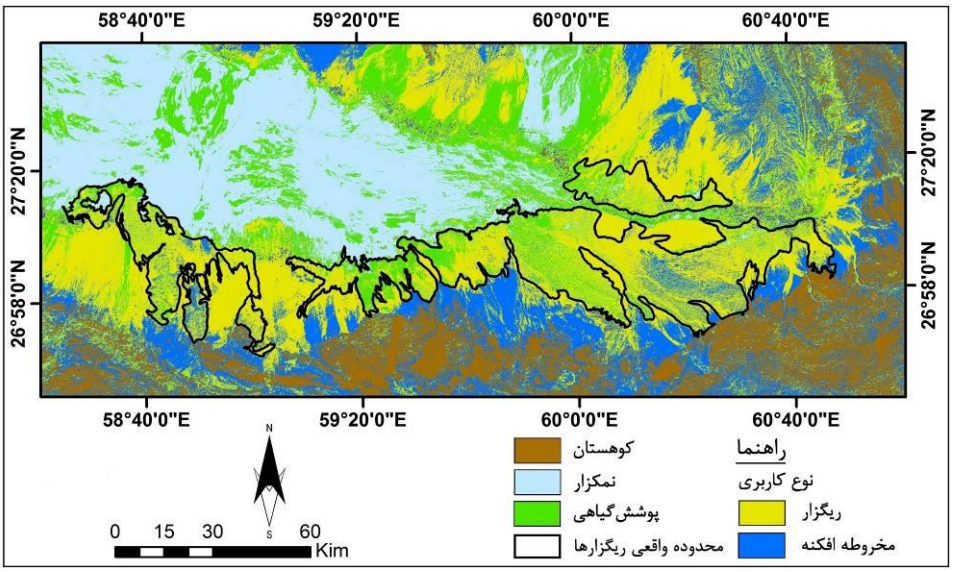
شکل ۴: طبقه‌بندی نوع کاربری منطقه با استفاده از روش حداقل فاصله از میانگین

روش متوازی‌السطوح (Parallelepiped): در این روش ابتدا با توجه به دامنه‌ی طیفی طبقات نمونه که بر روی تصویر انتخاب شده است، واریانس ارزش‌های طیفی محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از حداقل و حداکثر ارزش طیفی طبقات نمونه در باندهای مختلف چهارضلعی‌هایی ایجاد می‌گردد که به آن‌ها اصطلاحاً شبکه‌های موازی گفته می‌شود. پس از ایجاد شبکه‌های موازی پیکسل‌های تصویر بسته به اینکه در کدام‌یک از چهارضلعی‌ها قرار گیرند، طبقه‌بندی و به گروه‌های منطبق با مناطق نمونه تفکیک می‌شوند. در شکل ۵ طبقه‌بندی واحدهای کاربری محدوده مطالعاتی به روش متوازی‌السطوح نشان داده شده است(Tso & Mather, 2009: 214).



شکل ۵: طبقه‌بندی نوع کاربری منطقه با استفاده از روش متوازی‌السطوح

روش k-mean: طبقه‌بندی k-mean یکی از روش‌های بسیار مرسوم و موردتوجه بسیاری از محققان و کارشناسان است. این الگوریتم بین ۱۰ الگوریتم برتر طبقه‌بندی قرار دارد. K در k-mean بیانگر تعداد طبقات است که کل داده‌ها در آن تقسیم‌بندی یا جزء بندی می‌شود. طبقه‌ها بر مبنای مراکز آن‌ها تعیین می‌شود، بر مبنای این ایده که هر نمونه باید حداقل فاصله را نسبت به مرکز خود نسبت به سایر مراکز داشته باشد. این کار تا آنجایی ادامه می‌یابد که حداقل فاصله‌ها از مراکز تعیین شوند(چراغی شیرازی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۴). در شکل ۶ طبقه‌بندی واحدهای کاربری محدوده مطالعاتی به k-mean نشان داده شده است.



شکل ۶: طبقه‌بندی نوع کاربری منطقه با استفاده از روش k-mean

۴-۲- صحت‌سنجی

در تحقیق حاضر از سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و یک روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده به‌منظور طبقه‌بندی نوع کاربری مناطق بیابانی استفاده شده است. پس از انجام طبقه‌بندی به‌منظور صحت‌سنجی طبقات از نرم‌افزار IDRISI و از دو روش برای صحت‌سنجی استفاده شده است.

روش اول صحت‌سنجی: در روش اول از نقاط نمونه استفاده شده است؛ به این صورت که برای تعیین میزان صحت هر کاربری از ۱۰۰ نقطه نمونه استفاده شده است. درواقع از هر کاربری در واقعیت ۱۰۰ نمونه انتخاب و سپس نقاط نمونه بر روی کاربری به‌دست‌آمده با استفاده روش‌های طبقه‌بندی قرارگرفته شده است و درنهایت میزان دقت هر کدام از روش‌ها بر مبنای قرارگیری نقاط در کاربری خود تعیین شده است. با توجه به موارد مذکور در هر کدام از روش‌ها بر مبنای نمونه‌های انتخابی میزان صحت آن‌ها برآورد و در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده از صحت‌سنجی بیانگر این است که در بین روش‌های مختلف جهت استخراج نوع کاربری در محدوده‌ی مطالعاتی، روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال با دقت کلی ۶۴/۹ درصد بیش‌ترین دقت را داشته است و نیز روش طبقه‌بندی k-mean با دقت کلی ۱۵/۵ درصد دارای کم‌ترین دقت ممکن است. مطابق جدول ۱ میزان دقت به‌دست‌آمده علاوه بر روش‌ها، در نوع کاربری-های نیز متفاوت است به این صورت که در روش حداکثر احتمال، کاربری پوشش گیاهی با ۰/۸۷۵ ضریب کاپا دارای بالاترین دقت است و کاربری نمکزار با ۰/۴۸۶ ضریب کاپا دارای کم‌ترین دقت ممکن است. برخلاف روش حداکثر احتمال، در روش حداقل فاصله از میانگین کاربری نمکزار با ۰/۸۳۲ ضریب کاپا دارای بالاترین دقت و کاربری ریگزار با ۰/۲۳۰ ضریب کاپا دارای کم‌ترین دقت است. همچنین در روش متوازی‌السطوح کاربری مخروطه‌افکنه با ۰/۹۲۶ ضریب کاپا

دارای بالاترین دقت و کاربری نمکزار با ۳۹۰ ضریب کاپا دارای کم‌ترین دقت است. برخلاف سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده که تا حدی دارای دقت هستند، روش k-mean که به‌صورت نظارت‌نشده است، دارای دقت خیلی پایینی بوده است؛ به‌طوری‌که حداکثر و حداقل ضریب کاپا در این روش بین ۰/۲۱۲ (کوهستان) و ۰/۰۷۴ (مخروطه‌افکنه) بوده است.

جدول ۱: محاسبه‌ی ضریب کاپا و دقت کلی در کدام از روش‌ها

روش	نوع کاربری	وسعت	KIA	دقت کلی
حداکثر احتمال	ریگزار	۶۷۷۴/۱۳	۰/۵۷۸	۶۴/۹
	نمکزار	۴۲۶۴/۴۸	۰/۴۸۶	
	پوشش گیاهی	۳۷۸۶/۰۸	۰/۸۷۵	
	مخروطه‌افکنه	۴۸۱۱/۴۵	۰/۶۲۵	
	کوهستان	۹۳۷۲/۹۹	۰/۷۶۸	
حداقل فاصله از میانگین	ریگزار	۴۶۹۵/۳۱	۰/۲۳۰	۴۶/۳
	نمکزار	۶۴۲۲/۰۷	۰/۸۳۲	
	پوشش گیاهی	۱۵۹۴/۲۲	۰/۵۰۶	
	مخروطه‌افکنه	۹۵۹۷/۹۱	۰/۲۶۲	
	کوهستان	۶۶۹۹/۶۱	۰/۵۳۳	
متوازی‌السطوح	ریگزار	۸۸۱۲/۵۲	۰/۴۳۳	۵۴/۸
	نمکزار	۴۱۶۱/۶۹	۰/۳۹۰	
	پوشش گیاهی	۶۶۴/۱۲	۰/۷۲۳	
	مخروطه‌افکنه	۹۶۰۸/۸۶	۰/۹۲۶	
	کوهستان	۵۷۶۱/۹۴	۰/۴۲۰	
k-mean	ریگزار	۴۵۱۴/۸۳	۰/۱۴۵	۱۵/۵
	نمکزار	۵۷۷۵/۰۱	۰/۱۷۵	
	پوشش گیاهی	۸۷۴۰/۶۶	۰/۱۹۷	
	مخروطه‌افکنه	۴۰۹۱/۸۰	۰/۰۷۴	
	کوهستان	۵۸۸۶/۸۳	۰/۲۱۲	

روش دوم صحت‌سنجی: در این روش به‌منظور میزان انطباق نتایج به‌دست‌آمده با واقعیت زمینی، محدوده‌ی مربوط به کاربری ریگزارها که به روش دستی ترسیم شده، بر روی محدوده به‌دست‌آمده بر اساس روش‌های مختلف انطباق داده شده و درنهایت بر مبنای میزان انطباق، میزان دقت هر کدام از روش‌ها سنجیده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. این روش نیز همانند روش اول بیانگر این است که طبقه‌بندی حداکثر احتمال با ۰/۵۳۰ ضریب کاپا داری بالاترین دقت و روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده k-mean با ۰/۱۷۰ ضریب کاپا دارای کم‌ترین میزان دقت است.

جدول ۲: محاسبه‌ی ضریب کاپا بر اساس انطباق پلی‌گونی

روش طبقه‌بندی	میزان دقت
حداکثر احتمال	۰/۵۳۰

متوازی‌السطوح	۰//۴۳۰
حداقل فاصله از میانگین	۰/۲۶۰
k-mean	۰/۱۷۰

۵- نتیجه‌گیری

یکی از مناطق حساس که در برنامه‌ریزی‌های مناطق بیابانی اهمیتی زیادی دارند، ریگزارها هستند. ریگزارها با توجه به پتانسیل بالایی که به‌منظور حرکت دارند، بسیار موردتوجه هستند، به همین دلیل پایش آن‌ها بسیار مهم است. به‌منظور شناسایی ریگزارها روش‌های مختلفی وجود دارد که در این تحقیق به ارزیابی آن‌ها پرداخته شد. در بیش‌تر تحقیقات قبلی صورت گرفته، پایش نوع کاربری اراضی مدنظر بوده و کم‌تر به کارایی روش‌ها پرداخته شده است؛ درحالی‌که هدف اصلی این تحقیق ارزیابی روش‌های مختلف تعیین نوع کاربری نواحی بیابانی و صحت‌سنجی نتایج به‌دست‌آمده با واقعیات زمینی است. مقایسه‌ی نتایج به‌دست‌آمده با تحقیقات پیشین بیانگر این است که در تحقیقات پیشین با توجه اینکه عمدتاً بر کاربری‌هایی غیر از کاربری ریگزار تأکید داشته‌اند، تعیین کاربری‌ها با دقت بالایی صورت گرفته است، به‌طوری‌که فتاحی و همکاران کاربری اراضی را با دقت ۷۱/۹۵، آرخی و فتحی‌زاده با دقت ۹۰/۴۹ و مهدوی و همکاران با دقت ۹۵/۵۴، به دست آورده‌اند، درحالی‌که در این تحقیق با توجه به اینکه بر پایش ریگزارها تأکید دارد، دقت کلی پایین‌تر از تحقیقات پیشین به‌دست‌آمده است.

در این تحقیق ابتدا لایه‌ی محدوده‌ی ریگزارهای منطقه به‌صورت رقومی تهیه شد که بیانگر این است که حدود ۴۰۶۰ کیلومترمربع از منطقه را ریگزارها دربرگرفته است. پس از تهیه‌ی لایه‌ی ریگزارها، به‌منظور ارزیابی کارایی روش‌های اتومات در تهیه‌ی کاربری اراضی منطقه، نقشه‌ی کاربری منطقه با استفاده از چهار روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، متوازی‌السطوح و k-mean تهیه شد و به‌منظور صحت‌سنجی نتایج حاصل از دو روش استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی هر دو روش بیانگر این است که روش حداکثر احتمال نسبت به سایر روش‌ها ضریب دقت بالاتری دارد. روش k-mean نیز با توجه به اینکه از نوع طبقه‌بندی نظارت‌نشده است، دارای کم‌ترین دقت است. همچنین نتایج ارزیابی‌ها با استفاده از روش نقاط نمونه‌برداری بیانگر این است که در روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح به ترتیب کاربری‌های پوشش گیاهی، نمکزار و مخروطه‌افکنه دارای بالاترین دقت هستند و نیز به ترتیب کاربری‌های نمکزار، ریگزار و نمکزار دارای کم‌ترین دقت هستند. همچنین در روش k-mean به ترتیب بالاترین و پایین‌ترین دقت مربوط به کاربری کوهستان و مخروطه‌افکنه است. نتایج حاصل از صحت‌سنجی با استفاده از انطباق پلی‌گون هر کاربری با کاربری ریگزارها نیز بیانگر این است که روش‌ها حداکثر احتمال با ۰/۵۳۰ ضریب کاپا داری بالاترین دقت و روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده k-mean با ۰/۱۷۰ ضریب کاپا دارای کم‌ترین میزان دقت است.

بررسی نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که کاربری پوشش گیاهی و کوهستان با توجه به ویژگی‌های بازتابش و تمایز آن با سایر کاربری‌ها درمجموع دقت بالاتری نسبت با سایر کاربری‌ها دارند و کاربری ریگزار، مخروطه‌افکنه و نمکزار به دلیل اختلاف کم در ویژگی‌های بازتابش دارای کم‌ترین دقت هستند. مجموعه‌ای از نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که در مناطق بیابانی همانند محدوده‌ی مطالعاتی برخلاف نواحی غربی کشور استفاده از تصاویر لندست و طبقه‌بندی اتومات به‌صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده به‌منظور تشخیص نوع کاربری به‌خصوص ریگزار، نمکزار، سطوح ماسه‌ای و مخروطه‌افکنه نمی‌تواند اطمینان‌بخش باشد. درواقع در این مناطق با توجه به نزدیک بودن نوع بازتابش تصاویر لندست در سطوح مخروطه‌افکنه و ریگزار و همچنین نمکزارها، تشخیص این عوارض با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و نظارت‌نشده با دقت پایینی همراه خواهد بود؛ بنابراین به‌منظور پایش نوع کاربری ازجمله ریگزارهای مناطق بیابانی یا باید از روش دستی و غیراتومات بر مبنای تصاویر گوگل ارث، عکس‌های هوایی و... استفاده کرد و یا اینکه باید از نوع دیگری از تصاویر ماهواره‌ای یا الگوریتم‌های دیگر طبقه‌بندی استفاده کرد.

۶- منابع

۱- آرخی، صالح، فتحی‌زاده، حسن (۱۳۹۲). مقایسه‌ی روش‌های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ی بیابانی دهلران استان ایلام، نشریه‌ی مهندسی اکوسیستم‌های بیابان، سال ۲، شماره‌ی ۱، صص ۸۰-۶۵.

۲- جمشیدمقدم، هادی، محمدی اسکویی، مجید، ذکری، حمید (۱۳۹۳). طبقه‌بندی تصاویر استر بر اساس نتایج پردازش داده‌های فراطیفی هایپریون از دیدگاه کانی‌شناسی در منطقه‌ی لاهرود، نشریه‌ی مهندسی معدن، دروه‌ی ۹، شماره‌ی ۲۵، صص ۹۷-۱۰۸.

۳- چراغی شیرازی، نجمه، حمزه‌ئیان، روزبه، معصومی، اشکان (۱۳۹۴). مقایسه‌ی الگوریتم‌های طبقه‌بندی بر روی تصاویر ماهواره-ای سنجش‌ازدور، مجله مهندسی مخابرات، سال ۵، شماره‌ی ۱۷، صص ۳۸-۳۱.

۴- خوارزمی، رسول، عبداللهی، علی‌اصغر، راهداری، محمدرضا، کارکن ورنوسفادرانی، منصور (۱۳۹۵). پایش تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر روند تخریب زمین و بیابان‌زایی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه‌ی موردی: شرق ایران، دریاچه‌ی هامون)، فصلنامه‌ی مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره‌ی ۷، شماره‌ی ۲۵، صص ۷۵-۶۴.

۵- رعیتی شوازی، منیره، کرم، امیر، غفاریان مالمیری، حمیدرضا، سپهر، عادل (۱۳۹۶). مقایسه‌ی کارایی برخی الگوریتم‌های طبقه‌بندی در مطالعات تغییرات لندفرم‌های بیابانی دشت یزد-اردکان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال ۶، شماره‌ی ۱، صص ۷۳-۵۶.

۶- زهتابیان، غلامرضا، رفیعی امامی، عمار (۱۳۸۲). روشی جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان، نشریه‌ی بیابان، دوره‌ی ۸، شماره‌ی ۱، صص ۱۲۶-۱۲۰.

۷- سعیدزاده، فاطمه، صاحبی، محمودرضا، عبادی، حمید، صادقی، وحید (۱۳۹۴). آشکارسازی تغییرات تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه با استفاده از ترکیب روش‌های ماسک باینری و مقایسه پس از طبقه‌بندی، نشریه‌ی علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره‌ی ۵، شماره‌ی ۳، صص ۱۲۸-۱۱۱.

۸- سلیمانی ساردو، مجتبی، رنجبر فردویی، ابوالفضل، موسوی، سیدحجت (۱۳۹۵). ارزیابی شدت خطر بیابان‌زایی منطقهٔ جازموریان با تأکید بر معیارهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، مجله‌ی علمی-پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال ۵، شماره‌ی ۱۰، صص ۱۲۲-۱۰۹.

۹- شایان، سیاوش، یمانی، مجتبی، فرجزاده، منوچهر، احمدآبادی، علی (۱۳۹۱). طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک با استفاده از پارامترهای ژئومورفومتریک (مطالعه‌ی موردی: منطقه‌ی مرنجاب)، سنجش‌ازدور و GIS ایران، سال ۴، شماره‌ی ۲، صص ۲۸-۱۹.

۱۰- فاطمی، سیدباقر، رضایی، یوسف (۱۳۸۴). مبانی سنجش‌ازدور، چاپ اول، تهران: انتشارات آزاده.

۱۱- فتاحی، محمدمهدی، نوروزی، علی‌اکبر، آبکار، علی‌اکبر، خلخالی، سیدعلی (۱۳۸۶). مقایسه‌ی روش‌های طبقه‌بندی و تهیه‌ی نقشه‌ی استفاده از اراضی مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۳، ۲۲، صص ۱۳۵-۱۲۹.

۱۲- مظاهر، حبیب‌اله، نوروزی، علی‌اکبر، فتاحی، محمدمهدی (۱۳۸۶). ارزیابی دقت و صحت روش شاخص‌های پوشش گیاهی در تهیه‌ی نقشه‌ی کاربری اراضی، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوزه‌های آبخیز، کرج، ایران.

۱۳- ملامهر علیزاده، فاطمه، جنتی، مهدی، شایان، سیاوش (۱۳۸۳). کارایی داده‌های سنجش‌ازدور (RS) در تهیه‌ی نقشه‌های لندفرم و نقش آن در برنامه‌ریزی محیطی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۴، صص ۱۴۸-۱۱۱.

۱۴- مهدوی، رسول، علی‌عوضی‌دختک، اعظم، غلامی، حمید، کمالی، علیرضا (۱۳۹۶). شناسایی مناطق برداشت رسوبات بادی با استفاده از سه الگوریتم حداکثر شباهت، حداقل فاصله و متوازی‌السطوح (مطالعه‌ی موردی: شهرستان رودبار جنوب-استان کرمان)، فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۲۴، شماره‌ی ۳، صص ۶۲۲-۶۱۰.

15- Abd Al-Razzaq, H., Alnajjar. H. A. (2013). Maximum Likelihood for Land-Use/Land-Cover Mapping and Change Detection Using Landsat Satellite Images: A Case Study “South Of Johor”, International Journal of Computational Engineering Research, Vol 03, Issue 6

16- Alkaradaghi, K., Ali, S., Al-Ansari, N., Laue, J. (2018). Evaluation of Land Use & Land Cover Change Using Multi-Temporal Landsat Imagery: A Case Study Sulaimaniyah Governorate, Iraq, Earth & Environmental Sciences, JGIS, Vol.10 No.3,
17- Eastman, J. R. (2006). IDRISI Andes. Guide to GIS and Image Processing. Clark Labs, Clark University, Worcester, MA.
18- Islam. K., Jashimuddi, M., Nath, B., Nath, K. (2018). Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Volume 21, Issue 1, Pages 37-47
19- Khoi, D.D., Murayama, Y. (2010). Forecasting Areas Vulnerable to Forest Conversion in the Tam Dao National Park Region, Vietnam. Remote Sensing 2 (5), 1249–1272
20- Lillesand, T., M., Kiefer, R., W., Chipman, J., W. (2004). Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons. New York.
21- Reynolds J. F. (2008). Cutting through the confusion: Desertification, an old problem viewed through the lens of a new framework, the Dry lands Development Paradigm (DDP), Dry lands, Deserts & Desertification Conference December 24-21. SedeBoque Campus, Israel
22- Richards, J A, and Jia, X. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis an Introduction; 4th Edition, Springer, Germany, Berlin, Heidelberg, 439 p.
23- Tso, B, Mather, P M. (2009). Classification Methods for Remotely Sensed Data, 2nd edition, Taylor and Francis Pub, America. 376 p.
24- Warner. A., Blonski. S., Gasser. G., Royan. R., Zanoni. V. (2001). An approach to application validation of multispectral sensors using AVIRIS data, 9 PP.