

آشکارسازی لندفرم‌های کلان حوضه یزد - اردکان (با رویکرد کمی)

سیدمهدی پورباقرکردی* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱ تأیید نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۱۴

چکیده

شناسایی لندفرم‌ها از مطالعات پایه‌ای در دانش ژئومورفولوژی است. اهمیت شناسایی لندفرم‌ها به علت کاربرد آن‌ها در انواع برنامه‌ریزی‌های روستایی و شهری، برنامه‌ریزی آمایش و توریسم است. روش‌های چشمی در انتخاب بهترین ترکیب‌های بانندی برای شناسایی لندفرم‌ها هم‌وقت‌گیر است و هم به علت ذهنیت‌گرایی و اعمال سلیقه‌های شخصی از دقت کافی در تشخیص حدود مرزی لندفرم‌ها و گاهاً نوع لندفرم‌ها برخوردار نیست. حل این مسئله از طریق کنکاش‌های رقومی در متن تصاویر قابل بررسی است. در این تحقیق از روش ترکیب آماری برای معرفی انواع حالات مختلف ترکیبات باندهای انعکاسی و از روش شاخص ترکیب بهینه بانندی جهت انتخاب بهترین ترکیب بانندی با هدف آشکارسازی لندفرم‌های کلان حوضه یزد اردکان در متن تصاویر سنجنده ETM+ لندست از سری نسل هفتم استفاده شده است. نتایج حاصل از به‌کارگیری شاخص بهینه بانندی در آشکارسازی لندفرم‌های کلان حوضه یزد اردکان نشان داده است که بهترین ترکیب بانندی از بین ۲۰ ترکیب مختلف باندهای طیفی سنجنده ETM+، ترکیب دو سه چهار با مقدار آماری ۵۴/۰۱ و نیز ترکیب یک دو چهار با مقدار آماری ۵۴/۰۲ است، به طوری که انواع دشت‌سرهای پخش سیلاب، اراضی مرتفع، اراضی کم ارتفاع و کویر یا شورزارها و همچنین پدیمنت‌ها شناسایی شده‌اند.

واژگان کلیدی: آشکارسازی، ترکیب بهینه بانندی، لندفرم‌های کلان، حوضه یزد/اردکان.

مقدمه

به‌طور کلی جغرافیدانان ارزش و اهمیت لندفرم‌ها را به چهار بخش تقسیم کرده‌اند: ۱. ارزش فرهنگی ۲. ارزش روحی (مذهبی) ۳. ارزش زیبایی ۴. ارزش اقتصادی (برنامه آموزشی استرالیا، ۲۰۰۸: ۵۰). هدف از شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها اساساً ساده‌سازی شکل پیچیده زمین به تعداد محدودی از واحدهای عملیاتی است که قابل تشخیص و تمیز از هم بوده و اطلاعات مفیدی از لندفرم‌های سطح زمین را ارائه دهد. (جرسک^۱، ۲۰۱۰: ۹)

ژئومورفولوژیست‌ها جهت گردآوری اطلاعات مستقیم و گسترده از لندفرم‌های مناطق بیابانی و اطلاعات غیرمستقیم از فرایندهای ژئومورفیکی حاکم بر مناطق گرم و طاقت فرسای مناطق کویری و به‌طور کلی برای کسب هرگونه اطلاعات مناطق دور افتاده و صعب‌العبور دیگر مثل مناطق کوهستانی از داده‌های سنجش‌ازدور به‌طور گسترده استفاده می‌کنند؛ زیرا داده‌های سنجش‌ازدور با ارائه دید وسیع و یکپارچه از منطقه مورد مطالعه و با قابلیت پردازش رقومی و تهیه انواع نقشه‌های پوشش زمینی بالأخص انواع نقشه‌های ژئومورفولوژیکی می‌گردد که نقشه‌های مذکور در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی محیطی بسیار حائز اهمیت است (پورباقر کردی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۳۰). روش‌های چشمی در انتخاب بهترین ترکیب‌های باندی برای شناسایی لندفرم‌ها هم وقت‌گیر است و هم به علت ذهنیت‌گرایی و اعمال سلیقه‌های شخصی از دقت کافی در تشخیص حدود مرزی لندفرم‌ها و گاهاً نوع لندفرم‌ها برخوردار نیست. زیرا شواهد قابل توجهی در سوابق تهیه نقشه‌های لندفرم وجود دارد که نشان می‌دهد شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها با اعمال دیدگاه‌های شخصی و درکی که از چشم‌اندازها وجود داشت، انجام می‌گرفت. لذا ذهنیت‌گرایی و اعمال سلیقه‌های شخصی از دقت این گونه نقشه‌ها می‌کاست. حل این مسئله از طریق کنکاش‌های رقومی در متن تصاویر قابل بررسی است. لذا برای شناسایی و تشخیص لندفرم‌ها در متن تصاویر سنجش‌ازدور علاوه بر روش‌های مبتنی بر تفسیر چشمی روش مکملی مبتنی بر پردازش تصویر نیز احساس نیاز می‌شود تا تشخیص مفسر را تایید و خطاهای ذهنیت‌گرایی او را حتی المقدور بهبود بخشد. در این مقاله با استفاده از تکنیک‌های مبتنی بر ترکیب باندهای رقومی سعی در معرفی و اجرای این روش‌ها برای حوضه مورد مطالعه شده است. مطالعه لندفرم‌های مناطق بیابانی مثل انواع دشت‌سرها و پهنه‌های آبرفتی اهمیت وافری دارند مثلاً مخروط افکنه‌ها از اهمیت بالای اقتصادی-اجتماعی برخوردارند (شایان و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۰)، زیرا پهنه‌های آبرفتی به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک به‌دلیل برخورداری از کانال‌های گیسویی (یمانی و مقصودی، ۱۳۸۲: ۱۰۳) و نیز وجود رسوب‌های ریزدانه و حاصل‌خیز، باعث فراهم آوردن مواد و مصالح اولیه برای صنایع سفال‌سازی و کشاورزی شده است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۵). یکی از روش‌های شناسایی لندفرم‌ها، آشکارسازی با استفاده از شاخص ترکیب پهنه باندی در متن تصاویر رقومی است. بارزسازی از مهم‌ترین تکنیک‌های شناسایی لندفرم‌های کلان در تصاویر رقومی محسوب می‌شود به‌طوری‌که لندفرم‌ها با چشم غیرمسلح به‌راحتی قابل تمییز و تشخیص از یکدیگر می‌شوند.

نحوه پراکنش و نوع لندفرم‌های غالب یک منظره طبیعی (چشم‌انداز) بطور مستقیم با میزان فرسایش و رسوبدهی، مواد مغذی خاک، و حتی سایر پارامترهای اکولوژیکی نظیر تولیدات ناخالص اولیه، کیفیت آب و درنهایت تنوع زیستی اهمیت دارد (دراگوت و بلاشکه^۲، ۲۰۰۶: ۳۳۱). براساس مطالعه و بررسی سوابق تحقیق، تاکنون لندفرم‌ها با دو رویکرد متفاوت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند؛ الف) رویکرد قیاسی یا کل‌نگری و ب) رویکرد استقرایی یا جزء‌نگری. در نگاه اولی فرم و شکل عمومی لندفرم‌ها در مقیاس کلان یعنی مقیاس فضایی با روش‌های مبتنی بر باندهای طیفی انواع ماهواره‌های زمین‌نگاری مثل لندست، اسپات، استر و اخیراً سنتینل بهره‌برده شده است در صورتیکه در روش جزء‌نگری تأکید روی عناصر و المنت‌های تشکیل دهنده لندفرم‌هاست مثل قله‌ها، کریدورها و انحنای که در این حالت بایستی از تصاویر ماهواره

1. GERÇEK

2. Dragut and Blaschke

ای با قدرت تفکیک فضایی بالا مثل کوئیک برد، ژئو-آی و ... با روش‌های مبتنی بر چندمقیاسه یا مولتی رزولوشن استفاده کرد. در این مطالعه از رویکرد قیاسی یا کل‌نگری برای شناسایی لندفرم‌های حوضه یزد استفاده شده است. در اینجا به بررسی چند نمونه از سوابق تحقیق با هر دو رویکرد پرداخته شده است:

احسانی (۱۳۹۳: ۲۹) به منظور استخراج اتوماتیک تپه‌های بزرگ ماسه‌ای ریگ بیلان واقع در شرق کویر لوت، از شاخص بهینه باندی برای شناسایی تپه‌های ماسه‌ای استفاده کرد و به این نتیجه رسید که شاخص‌های باندی کمک شایانی در استخراج تپه‌های بیابانی می‌کنند.

نادری و داپر^۱ (۲۰۰۹: ۷۱) به منظور شناسایی لندفرم‌های کلان مناطق خشک مرکزی ایران، بهترین ترکیب باندی برای داده‌های سنجنده MSS لندست را ترکیب یک دو سه با مقدار شاخص ۲۳/۳۷ اعلام کرده است.

النهیمی و همکاران (۲۰۱۷: ۶۶) به منظور شناسایی اشکال بزرگ زمین در منطقه حجه یمن، با بکارگیری باندهای ماهواره سنتینل-۲، ترکیبات باندی مختلفی را معرفی کردند که یکی از آنها ترکیب باندهای (۴، ۱۱، ۸) با حداکثر مقدار شاخص ۴۵۱ بوده است که منجر به شناسایی کوه‌های آتشفشانی شده است.

سرابچی و همکاران (۱۳۸۶: ۳۳۴) از شاخص بهینه مطلوب برای به دست آوردن مناسب‌ترین ترکیب باندی در مطالعات خاکشناسی بهره بردند، نتایج کار آن‌ها نشان داد که برخی باندها نسبت به سایر باندهای طیفی توانایی بیشتری در تفکیک خصوصیات خاک‌ها دارد. در تحقیقی توسط علوی پناه (۱۳۷۹: ۷۶) داده‌های TM ماهواره لندست مربوط به پدیده‌های مختلف زمینی چهار منطقه کویری ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انتخاب ترکیب باندی مناسب، از روش‌های ماتریسی همبستگی، تعیین حد شاخص مطلوب، تحلیل مؤلفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل نمودار دوبعدی داده‌ها استفاده گردید که نتایج تحقیق نشان داد که انتخاب باندهای مطلوب باید با توجه به واحدها و پدیده‌های مختلف موجود در منطقه از قبیل اراضی لخت و یا مناطق تحت پوشش گیاهی صورت گیرد. در تحقیق دیگری توسط نظم‌فر و همکاران (۱۳۹۳: ۶۶۹) با استفاده از شاخص نسبت‌گیری و ترکیب بهینه باندی بر روی تصاویر سنجنده استر^۲ ماهواره ترا موفق به پایش دریاچه نمکی مهارلو به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های ژئومورفولوژیکی در جنوب شیراز شدند نتایج تحقیقشان منجر به پیشنهاد شاخص‌هایی برای استخراج پیکره لندفرم مذکور شده است. سیلاخوری و اونق (۱۳۹۶: ۱۲۹) با تلفیقی از دو روش روی هم‌گذاری لایه‌ها و تفسیر چشمی از سنجنده TM ماهواره شماره ۵ لندست واحدهای بزرگ ژئومورفولوژی منطقه سبزواری را که شامل کوهستان، دشت‌سر، پلایا و ارگ بودند، شناسایی کنند. ستوده پور و همکاران (۱۳۹۹: ۱۸۶) جهت شناسایی لندفرم‌های خط ساحلی شهرستان بوشهر از روش ترکیبی باندهای سنجنده‌های TM، ETM، OLI بهره بردند و لندفرم‌های ساحلی نظیر خلیج دهانه‌ای رود حله، خورها، سواحل شنی، دلتا، سطوح گلی را شناسایی کردند آن‌ها از ترکیب باندی یک، شش، هفت به‌عنوان بهترین ترکیب باندی در شناسایی و تفکیک آب از خشکی اشاره کرده‌اند. آنگرینی^۳ و همکاران (۲۰۱۹: ۱۵۷) با به‌کارگیری تکنیک شاخص بهینه باندی روی تصاویر لندست ۸، بهترین ترکیب رنگی را برای شناسایی درختان حرا در اندونزی ترکیب دو، پنج، شش با مقدار آماری 0.168 عنوان کرده‌اند. جونز^۴ (۱۹۸۷: ۱۷۴) با پردازش بر روی تصویر TM لندست انواع مهم لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی را در مناطق خشک و نیمه‌خشک تونس را استخراج کرد، او با تأکید بر روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی موفق به شناسایی لندفرم‌هایی مثل مخروط‌افکنه‌ها، پدیمت‌ها، گلاسی‌ها، یاردانگ، تپه ماسه‌ای و... (که به‌طور کامل در صفحه ۱۷۴ این مقاله آمده است) شد. همچنین در تحقیقی به تشریح کاربرد سنجنش‌ازدور در ژئومورفولوژی پرداخته شده و سپس با استفاده از روش مدل رقومی ارتفاع، لندفرم‌ها شناسایی و استخراج شده‌اند

1. De Dapper

2. Aster-Terra

3. Anggraini

4. Jones

(اسمیت^۱ و پین، ۲۰۰۹: ۵۷۶). هرماس^۲ و همکاران (۲۰۱۹: ۲۲) به شناسایی و جابجایی سه تپه مهم ماسه‌ای موجود در وادی فاطمه و وادی آششومایسی^۳ در میانه غربی عربستان پرداختند. آن‌ها برای شناسایی و جابجایی این لندفرم، از چندین تصویر طیفی لندست و اسپات با تکیه بر پردازش تصاویر توسط افزونه‌ای موجود در نرم‌افزار پردازشگر انوی^۴ استفاده کردند. الجویدی^۵ و همکاران (۲۰۰۳: ۱۱۷) با استفاده از عامل شاخص بهینه، از بین ۲۰ ترکیب مختلف باندی، ترکیب باندهای یک، پنج و هفت سنجنده TM لندست به‌عنوان تصویر ترکیب رنگی مطلوب را برای نمایش بهینه و حداکثری اشکال ژئومورفولوژیکی پیشنهاد دادند؛ در تصویر رنگی مذکور اشکال منطقه بیابانی بخش مرکزی عربستان سعودی همچون سنگفرش بیابانی^۶، پوسته‌های گچی^۷ و سایر اشکال آبرفتی مثل مخروط افکنه را نشان دادند. اما در رویکرد دوم یا جزءنگری برای شناسایی لندفرم‌ها، از روش‌های دیگری استفاده شده است که به دو نمونه زیر اکتفاء شده است:

دانشمندانی همچون وود^۸ (۱۹۹۶: ۲۰۳) با رویکرد جزءنگری به شناسایی و استخراج عوارض ژئومورفیکی مثل خط‌الرأس‌ها یا قله‌ها، کریدورها، تپه‌ها، کانال‌ها، خطوط تقسیم آب، دامنه‌ها و انواع آن یعنی محدب و مقعر که فضای بین خط تقسیم آب و کانال‌ها را اشغال می‌کنند، همت گماشتند. در این روش، که به روش wood معروف است، هر یک از پیکسل‌های تصویری با استفاده شیب و انحنای زمین، به یکی از عوارض شش‌گانه مورفومتریک نسبت داده می‌شود، این عوارض شامل موارد زیر هستند ۱. کانال (آبراهه)^۹ ۲. خط الراس (لبه)^{۱۰} ۳. چاله^{۱۱} ۴. قله (پیک)^{۱۲} ۵. گذرگاه (گردنه)^{۱۳} ۶. دشت^{۱۴} سول باک و ویندزلی^{۱۵} (۲۰۰۳: ۲۲۳) در مقاله‌ای که در مجله "مفاهیم و مدل‌سازی در ژئومورفولوژی" در توکیو منتشر یافته، اظهار داشتند برای مطالعات اجزای لندفرم بهتر است بجای مدل رقومی سطح زمین از مدل‌هایی که بر مبنای مولتی‌رزولوشن بنا شده است استفاده کرد چراکه مدل‌های رقومی DEM دارای رزولوشن یا اندازه پیکسلی ثابت می‌باشند در حالیکه سطح واقعی زمین حاوی لندفرم‌ها در مقیاس‌های مختلف است. آنها مدل‌های اسپلاین که بر مبنای شبکه نامنظم مثلثاتی است را بجای مدل‌های DEM در مطالعات و شناسایی لندفرم‌ها پیشنهاد داده‌اند. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز یزد اردکان با مساحتی بالغ بر ۱۵۹۵۰ کیلومتر مربع تقریباً در مرکز ایران و در محدوده عرض شمالی از ۳۱°۱۳' تا ۳۲°۴۸' و طول جغرافیایی از ۵۷°۵۷' تا ۵۹°۵۴' قرار دارد (اختصاصی، ۱۳۸۳: ۵۶۹). از لحاظ ژئومورفولوژی این حوضه از شمال به پلایای اردکان و از جنوب به ارتفاعات شیرکوه، از شرق به زیرحوضه خرانق و از غرب به زیرحوضه ندوشن محدود می‌شود. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه در ایران و استان یزد را نشان می‌دهد. حوضه مذکور یک حوضه‌ی بسته‌ی خشک داخلی (آرئیک) بوده و زهکشی آن به پلایای سیاه کوه منتهی می‌شود.

1. Smith

2. Hermas

3. WadiFatmah and WadiAsh Shumaysi

4. ENVI

5. Al-Juaidi

6. Desert pavements

7. Gypsum crusts

8. Wood

9. Channel

10. Ridge

11. Pit

12. Peak

13. Passes

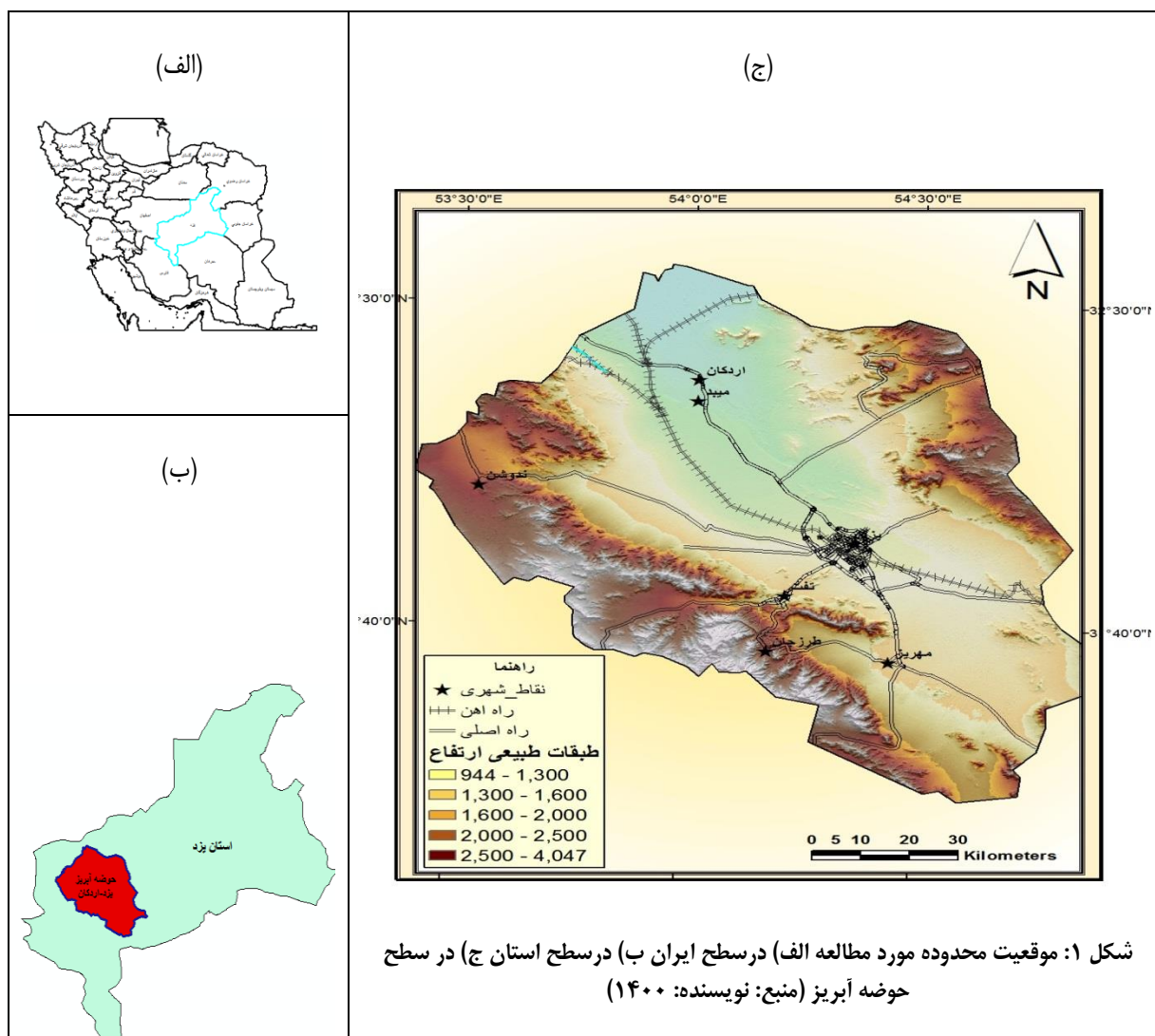
14. Plane

15. Sulebak and Vind Hjelle

بلندترین ارتفاع آن قله شیرکوه با ارتفاع تقریباً ۴۰۷۵ متر و پست‌ترین آن‌ها کویر سیاه کوه با ارتفاع ۹۵۰ متر از سطح دریا تشکیل می‌دهد. (اختصاصی و همکاران ۱۳۸۳، ۵۶۹).

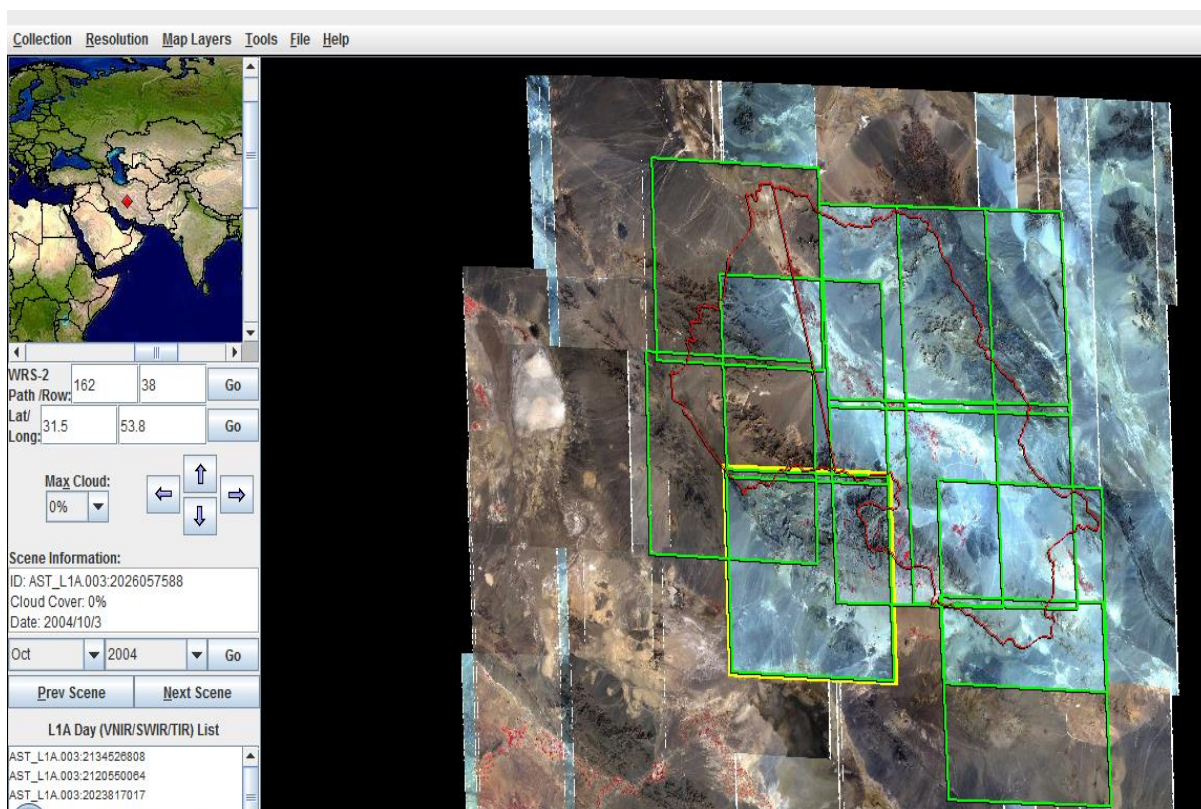
مهم‌ترین علل انتخاب این حوضه موارد زیر می‌باشد:

۱. به علت جریان‌ات فصلی و نیز داشتن شرایط آب و هوایی خشک، هر دو فرایند آبی و بادی در آن فعال بوده و باعث شکل‌گیری انواع متنوع لندفرم‌های آبی و بادی شده است.
۲. تنها محدوده‌ای از استان یزد می‌باشد که دارای رونق شهرنشینی، صنعتی و کشاورزی قابل توجهی است و در معرض لندفرم‌های مخاطره‌سازی مثل تپه‌های ماسه‌ای هستند.
۳. مخروط‌افکنه‌ها یکی از اصلی‌ترین لندفرم‌های منطقه‌اند که مساحت قابل توجهی داشته و می‌توانند به دلیل ارتباط با سفره‌های آب زیرزمینی از طریق حفر قنات، منابع بالقوه تأمین آب منطقه باشند.



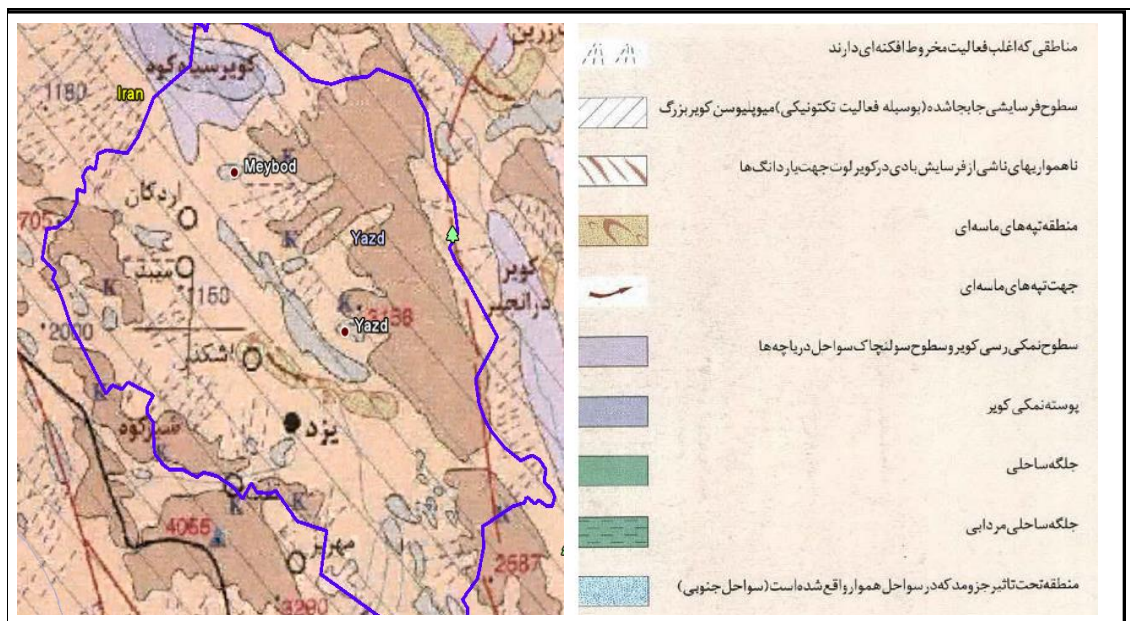
روش تحقیق

در این تحقیق برای شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌های بزرگ مثل پلایا، دشت‌سرها و... از داده‌های سنجنده ETM^+ مربوط به ماهواره لندست نسل ۷ استفاده شده است. همان‌طور که از نام این ماهواره مشخص است (لندست یعنی ماهواره مربوط به عوارض سطح زمین از جمله لندفرم‌های سطح زمین) کاربردهای فراوانی در عرصه ژئومورفولوژی مثل جابجایی خط ساحلی، شناسایی حوضه رسوبی و فرسایشی، شناسایی جبهه کوهستان، دشت‌سرها، پلایاها، تفکیک ساختارهای لیتولوژیکی، مورفومتری شبکه آبراه‌های و... دارد که در این تحقیق به اشکال ژئومورفولوژی منطقه بیابانی یزد-اردکان پرداخته شده است. در این تحقیق از باندهای ۹ کانه داده‌های ETM^+ مربوط به گذر ۱۶۲ و ردیف ۸ و تاریخ ۱۹ اوت ۲۰۱۰ که تقریباً بدون پوشش ابر بوده استفاده شده است. زمان دقیق تصویربرداری طبق اطلاعات فایل کمکی در ساعت نه و یازده دقیقه و سی‌ونه ثانیه بوده است (شکل ۲).



شکل ۲: نمایشی از نحوه تهیه داده‌های ماهواره‌ای ETM^+ از منطقه مورد مطالعه. خط قرمز مرز حوضه آبریز یزد-اردکان را نشان می‌دهد (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

علاوه بر داده‌های لندست ۷ از نقشه ژئومورفولوژی کلی مستخرج شده از نقشه ژئومورفولوژی ایران مربوط به موسسه جغرافیای دانشگاه تهران (شکل ۳) و همچنین از نرم‌افزار گوگل ارث به منظور بررسی میزان دقت و تطابق لندفرم‌های کلان شناسایی شده حاصل از پردازش رقومی تصاویر ماهواره با واقعیت زمینی استفاده شده است.



شکل ۳: نقشه ژئومورفولوژی لندفرم کلان حوضه یزد-اردکان (منبع: موسسه جغرافیای دانشگاه تهران: ۱۳۸۶)

شاخص ترکیب بهینه، بهترین و مناسب‌ترین ترکیب باندی را از بین انواع ترکیبات باندهای طیفی ممکنه براساس مقدار واریانس کل و همبستگی بین ترکیبات باندی ارائه می‌دهد و اولین بار توسط چاوز و همکاران (۱۹۸۴) پیشنهاد شد (کیناست-براونو بوتینگر، ۲۰۱۰: ۳۸۵).

در این روش، گزینش ترکیب بهینه بین باندها از طریق ارزیابی کمی عوارض موجود در تصویر انجام می‌شود و از اتلاف زمان ناشی از تعداد زیاد ترکیبات RGB ممکنه در فرایند تحلیل بصری جلوگیری می‌شود. مقادیر آماری ترکیب بهینه باندی برای تعیین مطلوب‌ترین ترکیب باندی بکار می‌رود و باندها برحسب اطلاعات آماری شان رتبه‌بندی می‌شوند، این اطلاعات آماری شامل واریانس کل و همبستگی میان باندهای مختلف است. یک ترکیب باندی بهینه از میان همه‌ی ترکیبات سه باندی ممکن وقتی وجود دارد که دارای بیشترین مقدار اطلاعات و کمترین میزان تکرار باشد.

در این تحقیق برای انتخاب r شیء متمایز (در اینجا ترکیب ۳ باند لندست) از n شیء متمایز (در اینجا از ۶ باند ۳۰ متری لندست) از «قانون ترکیب» در آمار استفاده شده است. این قانون در رابطه ۱ آمده است:

$$C(n, r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (1)$$

که در آن: $C(n, r)$ ترکیب r شیء از n شیء است و علامت $!$ فاکتوریل^۱ خوانده می‌شود و فاکتوریل هر عدد طبیعی (در اینجا ۶ باند طیفی سنجنده ETM^+) به معنای حاصل ضرب آن عدد در تمام اعداد طبیعی و صحیح ماقبل از خودش تا عدد یک است (نیکوکار و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۸۰). حاصل ضرب $1 \times 2 \times \dots \times (n-2) \times (n-1) \times n$ را با نماد $n!$ نمایش می‌دهند و در علم آمار به صورت n فاکتوریل می‌خوانند (نیکوکار و همکاران، ۲۰۱۱: ۵۴).

¹ Factorial

در این تحقیق $C(n, r)$ به صورت ترکیب ۳ بانده از ۶ بانده طیفی خواننده و به صورت زیر محاسبه شده است:

$$C(6,3) = \frac{6!}{3!(6-3)!} = 20$$

لذا تا ترکیب بانده برای باندهای انعکاسی سنجنده ETM^+ می‌توان نوشت که از میان آن‌ها فقط یک ترکیب، بهینه‌ترین و مطلوب‌ترین ترکیب بانده برای نمایش عوارض ژئومورفولوژیکی سطح زمین به دلیل داشتن بیشترین اطلاعات غیر تکراری است و آن ترکیبی است که بیشترین مقدار آماری بهینه را دارا باشد.

شاخص آماری ترکیب بهینه بانده به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$OIF = \frac{\sum_{i=1}^3 (SD_i)}{\sum_{j=1}^3 |CC_j|} \quad (2)$$

که در آن $\sum_{i=1}^3 (SD_i)$ مجموع انحراف معیار استاندارد ترکیب سه بانده و $\sum_{j=1}^3 |CC_j|$ مجموع قدر مطلق ضریب همبستگی بین ۲ بانده از ۳ بانده و OIF فاکتور شاخص بهینه می‌باشد.

هرچه انحراف معیار بین یک ترکیب سه بانده بیشتر و ضریب همبستگی میان آن‌ها کمتر باشد، فاکتور شاخص بهینه بیشتر می‌شود و این بدین مفهوم است که ترکیب رنگی سه بانده از بیشترین اطلاعات غیر تکراری برخوردار است. لذا هرچه مقدار فاکتور شاخص بهینه بیشتر باشد ترکیب بانده مربوط به همان OIF بهترین و بهینه‌ترین ترکیب بانده است که حاوی اطلاعات بیشتری است و عوارض زمینی را بهتر نمایش می‌دهد.

بحث و یافته‌ها

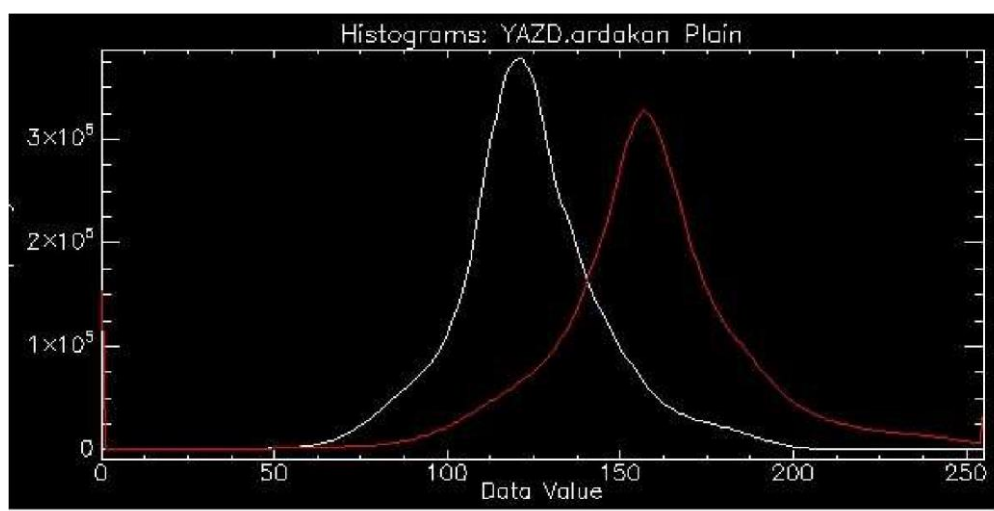
در این تحقیق، از بین انواع ترکیب ۳ بانده از ۶ بانده انعکاسی سنجنده ETM^+ ترکیبی بکار گرفته شده که بهترین نمایش رنگی منطقه را جهت آشکارسازی لندفرم‌های طبیعی تصویر نتیجه داد. مزیت محاسبه این شاخص علاوه بر تعیین بهترین ترکیب سه بانده برای بارزسازی تصویر، رقمی بودن و سریع بودن انجام عملیات آن است، بطوریکه اگر بخواهیم به روش بصری بهترین ترکیب سه بانده را تعیین کنیم کاری بسیار ملال‌آور و وقت‌گیر است.

برای محاسبه شاخص OIF ابتدا وضعیت آمار پایه‌ای باندهای ۳۰ متری سنجنده ETM^+ محاسبه شده و نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱: نتایج آمار پایه‌ای باندهای طیفی سنجنده ETM⁺ (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

شماره باند	کمینه	بیشینه	میانگین	انحراف معیار	مقادیر ویژه
باند ۱	۰	۲۵۵	۱۴۰/۲۷	۳۲/۱۶	۴۴۹۷/۰۹
باند ۲	۰	۲۵۵	۱۵۹/۶۷	۳۵/۷۵	۲۸۱/۵۴
باند ۳	۰	۲۵۵	۱۲۲/۶۵	۲۵/۱۲	۱۰۲/۵۴
باند ۴	۰	۲۵۵	۱۵۷/۴۰	۳۲/۵۸	۳۲/۵۲
باند ۵	۰	۲۵۵	۱۲۲/۴۱	۲۲/۷۷	۱۳/۶۲
باند ۷	۰	۲۵۵	۱۲۴/۵۳	۲۰/۱۷	۳/۵۷

داده‌های جدول فوق نشان می‌دهد که داده‌ها در تمام دامنه گام‌های خاکستری از صفر تا ۲۵۵ توزیع شده‌اند؛ که این نتیجه، حاصل بسط دادن^۱ داده‌های سنجش‌ازدور است. نمودار هیستوگرام باندی زیر (شکل ۴) این موضوع را به خوبی تأیید کرده است.



شکل ۴: نمودار هیستوگرام باندهای ۳ (سفید) و ۴ (قرمز) نشان می‌دهد که رفتار طیفی دو باند بسیار مشابه است و ثانیاً داده‌ها در تمام گام‌های خاکستری (از صفر تا ۲۵۵) به خوبی توزیع شده‌اند (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

برای محاسبه بهترین ترکیب بهینه باندی که عوارض سطح زمین را در سطح وسیع بهتر نشان می‌دهد باید ضرایب همبستگی بین باندهای مختلف را محاسبه کرد. در اینجا برای نشان دادن میزان همبستگی بین باندهای مختلف ETM از ماتریس همبستگی زیر استفاده شده است که همیشه قطر اصلی این ماتریس عدد یک می‌باشد (جدول ۲).

^۱: Stretch

جدول ۲: ماتریس ضریب همبستگی بین باندهای مختلف سنجنده ETM⁺ (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

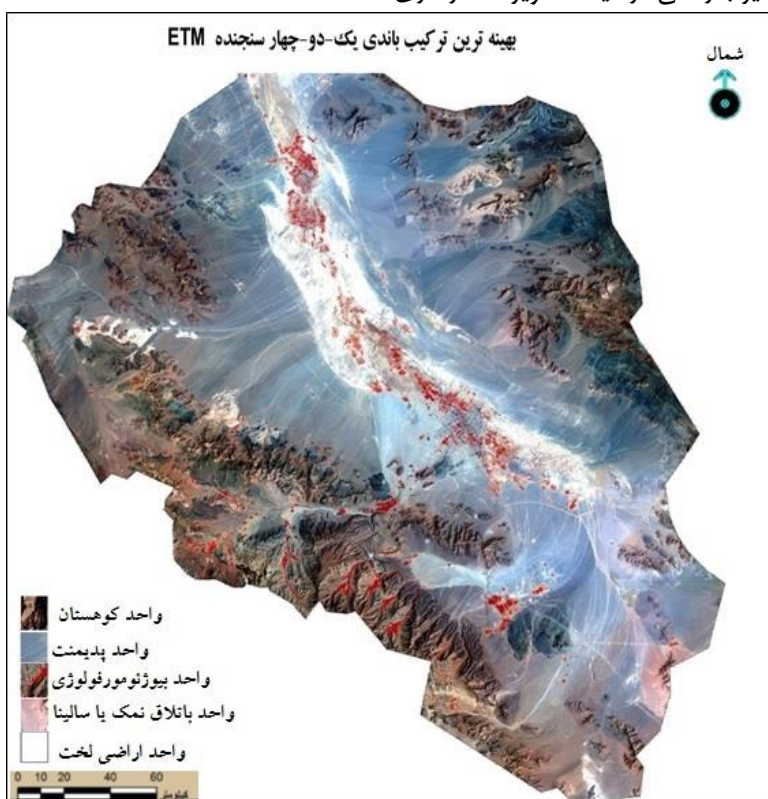
شماره	باند ۱	باند ۲	باند ۳	باند ۴	باند ۵	باند ۷
باند ۱	۱	۰/۹۷۸۵۵۲	۰/۸۳۴۷۶	۰/۸۸۳	۰/۸۷۰۱۲۹	۰/۸۳۸۰۶۳
باند ۲	۰/۹۷۸۵۵۲	۱	۰/۸۶۴۶۹۶	۰/۸۶۶۷۵۵	۰/۸۴۴۷۲۶	۰/۸۰۰۶۱۵
باند ۳	۰/۸۳۴۷۶	۰/۸۶۴۶۹۶	۱	۰/۹۲۴۲۵۷	۰/۹۰۴۱۴۴	۰/۸۳۱۹۷۱
باند ۴	۰/۸۸۳	۰/۸۶۶۷۵۵	۰/۹۲۴۲۵۷	۱	۰/۹۸۱۰۰۱	۰/۹۲۶۸۵۷
باند ۵	۰/۸۷۰۱۲۹	۰/۸۴۴۷۲۶	۰/۹۰۴۱۴۴	۰/۹۸۱۰۰۱	۱	۰/۹۷۱۰۸۵
باند ۷	۰/۸۳۸۰۶۳	۰/۸۰۰۶۱۵	۰/۸۳۱۹۷۱	۰/۹۲۶۸۵۷	۰/۹۷۱۰۸۵	۱

با توجه به آمار پایه‌ای جداول ۱ و ۲ محاسبه شاخص ترکیب بهینه (OIF) امکان پذیر بوده بدین ترتیب ابتدا مجموع انحراف معیارهای ($\sum SD$) هریک از ترکیبات سه باندی را از جدول ۱ محاسبه کرده سپس مجموع قدر مطلق ضریب همبستگی بین دو باند از سه باند $\sum |CC|$ را از جدول ۲ محاسبه کرده که نتیجه در ستون چهارم جدول ۳ آورده شده است. در نهایت شاخص ترکیب بهینه از تقسیم ستون سوم به ستون چهارم جدول مذکور به دست می‌آید که حاصل نهایی در ستون پنجم این جدول آورده شده است. نتایج محاسبات بهترین و بهینه‌ترین ترکیبات باندی که منجر به آشکارسازی حداکثری عوارض سطح زمین می‌شود مربوط به ردیف ۱۲ و ۲۰ در جدول ۳ است.

جدول ۳: مقادیر OIF محاسبه شده برای ۲۰ ترکیب باندی ممکنه از باندهای ۳۰ متری ETM⁺ (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

ردیف	ترکیب سه باندی	$\sum S D$	$\sum cc $	$OIF = \sum SD / \sum cc $
۱	۱۳۵	۸۰/۰۵۴	۱/۷۰۴	۴۶/۹۸۰۰۴۶۹۵
۲	۳۵۷	۶۸/۰۷۰	۱/۷۳۰	۳۹/۳۴۶۸۲۰۸۱
۳	۳۴۵	۶۸/۰۷۰	۱/۷۳۶	۳۹/۲۰۸۴۷۸۱۳
۴	۱۳۷	۷۷/۴۵۰	۱/۶۷۰	۴۶/۳۷۷۲۴۵۵۱
۵	۳۴۷	۷۷/۸۷۹	۱/۷۵۶	۴۴/۳۵۰۲۲۷۷۹
۶	۲۳۵	۸۳/۶۵۰	۱/۷۰۹	۴۸/۹۴۶۷۵۲۴۹
۷	۲۳۷	۸۱/۰۵۳	۱/۶۶۰	۴۸/۸۲۷۱۰۸۴۳
۸	۱۳۴	۸۹/۸۶۲	۱/۷۱۰	۵۲/۵۵۰۸۷۷۱۹
۹	۴۵۷	۷۵/۵۲۷	۱/۹۰۰	۳۹/۷۵۱۰۵۲۶۳
۱۰	۱۵۷	۷۵/۱۰۵	۱/۷۰۰	۴۴/۱۷۹۴۱۱۷۶
۱۱	۱۲۳	۹۳/۰۳۶	۱/۸۱۰	۵۱/۴۰۱۱۰۴۹۷
۱۲	۲۳۴	۹۳/۴۵۰	۱/۷۳۰	۵۴/۰۱۷۳۴۱۰۴
۱۳	۲۵۷	۷۸/۷۰۰	۱/۶۴۰	۴۷/۹۸۷۸۰۴۸۸
۱۴	۱۴۵	۸۷/۵۱۱	۱/۷۵۰	۵۰/۰۰۶۲۸۵۷۱
۱۵	۲۴۵	۹۱/۱۰۸	۱/۸۸۷	۵۳/۲۴۸۳۹۲۷۵
۱۶	۱۲۵	۹۰/۶۸۰	۱/۸۴۰	۴۹/۲۸۲۶۰۸۷
۱۷	۱۴۷	۸۴/۹۱۰	۱/۷۲۰	۴۹/۳۶۶۲۷۹۰۷
۱۸	۲۴۷	۸۸/۵۰۱	۱/۶۶۰	۵۳/۳۱۳۸۵۵۴۲
۱۹	۱۲۷	۸۸/۰۸۸	۱/۸۱۰	۴۸/۶۶۷۴۰۳۳۱
۲۰	۱۲۴	۱۰۰/۴۹۰	۱/۸۶۰	۵۴/۰۲۶۸۸۱۷۲

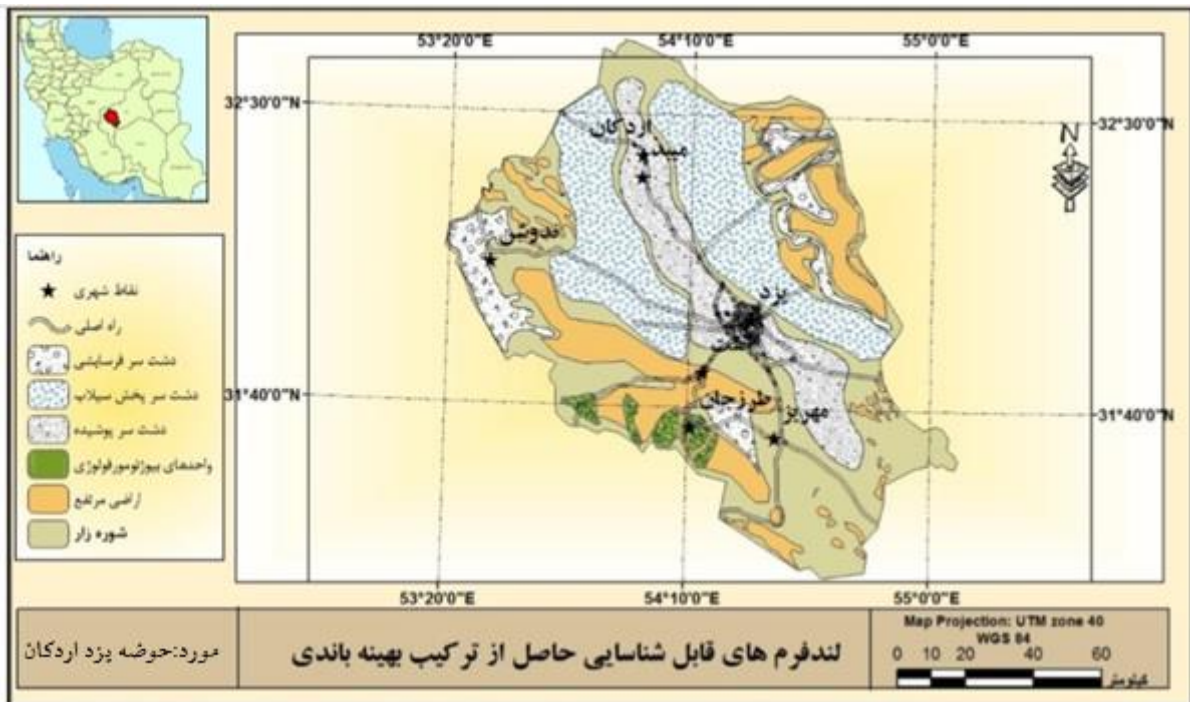
طبق محاسبات کمی در جدول بالا، بیشترین مقدار عددی OIF مربوط به ترکیب باندی یک دو چهار است که نقشه خروجی ترکیب باندی مذکور در شکل ۵ آمده است. طبق این نقشه، اراضی بلند کوهستانی در غرب و جنوب غربی حوضه و در قسمتی از شرق حوضه بارز سازی شدند و اراضی پست‌تر شامل دشت‌سرها یا پدیمت‌ها در نیمه غربی حوضه نمایان شدند، همچنین با بزرگنمایی تصویر مذکور می‌توان باهاذا یا مجموعه مخروط افکنه‌ها را در نیمه غربی حوضه شناسایی کرد، چاله‌های نمکی نیز به راحتی در میانه تصویر آشکارسازی شدند.



شکل ۵: ترکیب بهینه باندی و شناسایی لندفرم‌های کلان ژئومورفولوژیکی (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

نقشه‌ی برداری^۱ تصویر آشکارسازی شده مرحله قبل در برنامه ArcGIS طبقه‌بندی شد و در شکل ۶ آورده شد. همانطور که در شکل مذکور دیده می‌شود با استفاده از روش‌های آماری می‌توان همبستگی باندهایی که کمترین مقدار را دارد انتخاب کرد و سپس با ترکیب آن‌ها بهینه‌ترین تصویر رنگی را ارائه داد به طوری که بیشترین اطلاعات سطح زمین را نشان دهد. با این روش لندفرم‌های بزرگ این حوضه بدون بزرگنمایی آشکارسازی و برخی از لندفرم‌های دیگر با بزرگنمایی آشکارسازی شدند.

^۱: Vector mapping



شکل ۶: لندفرم‌های کلان شناسایی شده حاصل از شاخص ترکیب بهینه بانندی (منبع: نویسنده: ۱۴۰۰).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از به‌کارگیری تکنیک‌های OIF در شناسایی لندفرم‌ها، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بهترین و مناسب‌ترین ترکیب بانندی از بین بیست ترکیب مختلف باندهای طیفی سنجنده ETM+، ترکیب دو-سه-چهار با مقدار آماری $OIF=54.01$ و نیز ترکیب یک-دو-چهار با مقدار آماری تقریباً برابر $OIF=54.02$ برای شناسایی توده کوهستانی و دشت‌سرهای پخش سیلاب مناسب بوده‌اند. همچنین مطابق نقشه خروجی در شکل ۶ می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین سطح حوضه مورد مطالعه که با این روش بازسازی شدند، اختصاص به دشت‌های کم شیب و شوره‌زارها بالغ بر 4273 کیلومتر مربع (براساس خصوصیات ژئومتری از جمله مساحت در محیط GIS) می‌باشد که حدود دو برابر مساحت مناطق مرتفع و کوهستانی است. همچنین دشت‌سرها که حاصل عقب‌نشینی دامنه کوهستان در اثر فرسایش شدید و شرایط بیوکلیماتیکی ویژه است، مساحت قابل ملاحظه‌ای از حوضه را در بر گرفته‌اند. دشت‌سرها، کانون پخش سیلاب و محل اصلی تغذیه آب‌های زیرزمینی هستند و نیز رهیافت مهمی برای برون‌رفت بحران کمبود آب در مناطق خشک بیابانی محسوب می‌شوند، که از این طریق با موفقیت شناسایی شدند. همچنین براساس نتایج این تحقیق (مراجعه شود به نتایج حاصل از تکنیک OIF در جدول ۳) می‌توان نتیجه گرفت که بهترین ترکیب بانندی برای داده‌های لندست موجود در این پژوهش دو ترکیب بانندی با مقادیر خیلی مشابه $OIF=54$ شامل ترکیب بانندی دو-سه-چهار و نیز ترکیب بانندی یک-دو-چهار می‌باشد (شکل ۵-۲). با ترکیب بانندی مذکور مهم‌ترین واحدهای ژئومورفولوژی حوضه آبخیز یزد اردکان که شامل ناهمواری‌های کوهستانی شیرکوه و کوه کلات مهریز در بخش جنوبی حوضه و کوه‌های خرانق در شمالی حوضه هستند، آشکارسازی و شناسایی شدند که همانند تمام ناهمواری‌های دیگر حوضه با رنگ قهوه‌ای از سایر واحدهای ژئومورفولوژی مجزا شدند. علاوه بر آن کفه‌های نمکی به رنگ سفید شیری در این تکنیک مشخص و جدا شدند. شاخص ترکیب بهینه بهترین ترکیب بانندی را از بین انواع ترکیبات بانندی ممکنه ارائه می‌دهد. همچنین این روش زمان و تلاش مورد نیاز برای یافتن بهترین باندها را کاهش می‌دهد (الزهمی و همکاران، ۲۰۱۷: ۷۰). در این مطالعه از بین انواع ترکیب

۳ باندی از ۶ باند انعکاسی سنجنده ETM+ ترکیبی برگزیده شده است که بهترین نمایش رنگی منطقه را جهت آشکارسازی تصویر و عملیات طبقه‌بندی نتیجه داده است. مزیت محاسبه این شاخص علاوه بر تعیین بهترین ترکیب سه باندی رنگی برای آشکارسازی تصویر، رقومی بودن و سریع بودن انجام پردازش آن است. همچنین براساس سوابق تحقیق و اجرای این پژوهش می‌توان به این نتیجه رسید که برای مطالعه لندفرم‌ها در مقیاس کلان می‌توان از روش‌های مبتنی بر باندهای طیفی (شاخص ترکیب بهینه باندی در این تحقیق یکی از این روش‌هاست) بهره برد اما برای شناسایی اجزا و عناصر لندفرم‌ها در مقیاس ریزتر مثل انحناء و شیب هم‌زمان بایستی از روش‌های مبتنی بر قطعه‌بندی و شی‌گرایی نیز بهره برد.

منابع

- احسانی، ا.ه.، ۱۳۹۶. استخراج اتوماتیک تپه‌های بزرگ ماسه‌ای ریگ بیلان، شرق کویر لوت با استفاده از نقشه‌های خودسازمان‌ده. پژوهش‌های آبخیزداری، دوره ۳۰، شماره ۱، صص ۳۴-۲۵.
- اختصاصی، م.، احمدی، ح.، فیض‌نیا، س.، و بوشه، د.، ۱۳۸۳. فرسایش بادی، رخساره‌ها و خسارات آن در حوضه دشت یزد اردکان، مجله منابع طبیعی ایران، دوره پنجاه و هفتم، شماره ۴، صص ۵۸۱-۵۶۷.
- پورباقر کردی، س.م.، ۱۳۹۵. شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها با استفاده از روش‌های بصری و نیمه‌اتوماتیک در حوضه یزد-اردکان، رساله دکتری گروه ژئومورفولوژی، استاد راهنما: دکتر عزت‌الله قنواتی، رشته ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
- ستوده پور، ا.، مددی، ع.، و اصغری، ص.، ۱۳۹۹. پایش ژئومورفولوژیک نوسانات خط ساحلی بندر بوشهر، فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، دوره سی و پنجم، شماره ۲، صص ۱۸۷-۱۷۷.
- سراپچی، ع.، صالحی، م.ح.، و دلاور، م.ا.، ۱۳۸۶. مقایسه نتایج حاصل از محاسبه شاخص بهینه مطلوب (OIF) و تجزیه مؤلفه‌های اصلی (PCA) در انتخاب مناسب‌ترین ترکیب باندی ماهواره لندست-۷ در مطالعات خاکشناسی، دهمین کنگره علوم خاک ایران، صص ۳۳۲-۳۳۴.
- سیلاخوری، ا.، و اونق، م.، ۱۳۹۷. شناسایی و تفکیک رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه سبزوار با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره نهم، شماره ۱، صص ۱۳۰-۱۱۳.
- شایان، س.، یمانی، م.، فرج‌زاده، م.، و احمدآبادی، ع.، ۱۳۹۱. طبقه‌بندی نظارت شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک مرنجاب، مجله سنجش از دور و GIS ایران، دوره چهارم، شماره دوم، صص ۲۸-۱۹.
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۷۹. ارزیابی کارایی باندهای طیفی ماهواره لندست TM در مطالعات کویرهای ایران، مجله منابع طبیعی ایران، دوره پنجاه و سوم، شماره ۱، صص ۷۸-۶۷.
- علوی پناه، س.ک.، احمدی، ح.، و کمکی، چ.ب.، ۱۳۸۳. مطالعه رخساره‌های ژئومورفولوژی منطقه یاردانگ بیابان لوت براساس تفسیر واحدهای فتومورفیک تصاویر ماهواره‌ای TM، مجله منابع طبیعی ایران، دوره پنجاه و هفتم، شماره ۱، صص ۳۴-۲۱.
- مقصودی، م.، فاضلی‌نشلی، ح.، عزیززی، ق.، گیلومر، گ.، و اشمیت، ا.، ۱۳۹۱. نقش مخروط‌افکنه‌ها در توزیع سکونت‌گاه‌های پیش از تاریخ از دیدگاه زمین‌باستان‌شناسی، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره چهل و چهارم، شماره ۴، صص ۲۲-۱.
- نظم‌فر، ح.، سرمستی، ن.، و علوی پناه، س.ک.، ۱۳۹۳. پایش دریاچه نمکی مهارلو با تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای چندطیفی، مجله محیط‌شناسی، دوره چهارم، شماره ۳، صص ۶۷۷-۶۶۹.
- نیکوکار، م.، نیکوکار، ف.، و نیکوکار، ف.، ۱۳۸۰. آمار و احتمالات، چاپ اول، انتشارات فرناز، تهران.

- یمانی، م، مقصودی، م، ۱۳۸۲. بررسی و تحول کانال‌های گیسویی در سطح مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط‌افکنه تنگویی در چاله سیرجان)، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۳۵، شماره ۲، صص ۱۱۳-۱۰۳.
- Al-Juaidi, F., Andrew, C.M., & McLaren, S.J. (2003). *Merged Remotely Sensed Data for Geomorphological Investigations in Deserts: Examples from Central Saudi Arabia. The Geographical Journal*, 169(2), 117-130.
- Al-Nahmia, F., Saddiqia, O., Hilalia, A., Rhinanea, H., Baiddera, L., El Arabia, H., & Khanbarib, K. (2017). *Application of Remote Sensing In Geological Mapping, Case Study Al Maghrabah Area – Hajjah Region, Yemen. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 4th International GeoAdvances Workshop Volume IV-4/W4, Turkey*, 63-71.
- Anggraini, N., Wismayati Adawiah, S., & Julzarika, A. (2019). *Detection of True Mangroves in Indonesia Using Satellite Remote Sensing. Journal of Environmental Analysis and Progress*, 4(3), 157-167.
- *Australian curriculum, 2008. Oxford big ideas geography, chapter 1: landforms and landscapes*, 40-53.
- Dragut, L., Blaschke, T. (2006). *Automated classification of landform elements using object-based image analysis. Geomorphology*, 81(1), 330-344.
- Gerçek, D., 2010. *Object-Based Classification of Landforms based On Their Local Geometry and Geomorphometric Context, PhD thesis in GIS, Sup: Dr. Vedat. M.E.T University.*
- Hermas, E., Alharbi, O., Alqurashi, A., Niang, A.J., Al-Ghamdi, A., Al-Mutiry, M., & Farghaly, A. (2019). *Characterisation of Sand Accumulations in WadiFatmah and Wadi Ash Shumaysi, KSA, Using Multi-Source Remote Sensing Imagery. Remote Sensing*, 23(11), 1-22.
- Jones, A. R. (1987). *Landform Investigation Utilizing Digitally Processes Satellite Thematic Mapper Imagery. Earth, Moon, and Planets*, 37(2), 171-185.
- Kienast-Brown, S., & Boettinger, J. (2010). *Applying the Optimum Index Factor to Multiple. Data Types in Soil Survey, Springer, Netherlands.*
- Naderi Khorasgani, M., & De Dapper, M. (2009). *Evaluation of the Capability of Landsat MSS Data for Mapping Landforms in Arid Regions: A Case Study in the Centre of Iran. J. Agric. Sci. Technol*, 11(1), 67-80.
- Smith, M.J., & Pain, C.F. (2009). *Applications of remote sensing in geomorphology. Progress in Physical Geography*, 33(4), 568-582.
- Sulebak, J.S., & Vind, H. (2003). *Multiresolution Spline Models and Their applications in Geomorphology. Concepts and Modelling in Geomorphology, Tokyo*, 221-237.
- Wood, J.D., 1996. *The geomorphological characterisation of digital elevation models. Ph.D. Thesis. Department of Geography, University of Leicester, Leicester, UK.*