



مقایسه روش‌های بصری و خودکار مبتنی بر شیء در شناسایی لندفرم‌های حوضه یزد- اردکان

سید مهدی پورباقر کردی*

مری گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور استان همدان، واحد دمق

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۱/۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۴/۱۹

چکیده

شناسایی لندفرم‌های غالب مناظر طبیعی در انواع برنامه‌ریزی‌های شهری، آمایش، گردشگری و ... کاربرد و اهمیت فراوان دارد. در این پژوهش، لندفرم‌های حوضه یزد- اردکان، به دو روش بصری و خودکار، شناسایی و سپس مقایسه شدند. در روش شناسایی خودکار لندفرم‌ها، از قطعه‌بندی تصویر با دو الگوریتم قدرت تفکیک چندگانه و تباین پیکسلی، در قالب مفاهیم شیء‌پایه، استفاده شد. نتایج نشان داد قطعه‌بندی به‌روش قدرت تفکیک چندگانه، به دلیل لحاظ کردن معیار شکل در تشخیص ساختار و مرز طبیعی لندفرم‌ها مانند مخروط افکنه، مناسب به نظر می‌رسد ولی قطعه‌بندی به‌روش تباین پیکسلی، در شناسایی میکرو لندفرم مانند کانال‌های گیسویی در سطح مخروط افکنه، مناسب است. نتایج حاصل از مقایسه شناسایی بصری و خودکار لندفرم‌ها نشان داد، در روش بصری، فقط امکان شناسایی لندفرم‌های بزرگ همچون توده‌های کوهستانی، انواع دشت‌سرها، کفه اردکان و به‌سختی تلماسه‌ها وجود داشت. ولی در روش خودکار مبتنی بر شیء، نه تنها لندفرم‌های مذکور بلکه لندفرم‌های کوچک‌تر مثل تپه‌های عرضی، مخروط افکنه‌ها، هزاردره‌ها، کوه‌های منفرد نیز شناسایی شدند. برای ارزیابی دقت مدل‌های شناسایی خودکار لندفرم‌ها، از دو روش کیفی و کمی استفاده شد؛ در ارزیابی کیفی، از تکنیک هم‌پوشانی به منظور بررسی چشمی میزان تطابق و روی هم قرارگیری نقشه حاصل از مدل با تصاویر گوگل ارث و در ارزیابی کمی، از ماتریس درهمی استفاده شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان دادند که الگوریتم قدرت تفکیک چندگانه در شناسایی و قطعه‌بندی لندفرم‌ها دارای صحت کلی ۹۷٫۴۶٪ و ضریب کاپای ۹۶٫۵۳٪ است. همچنین، خطاهای کمیسیون و آمیسیون نشان دادند که کمترین خطاهای شناسایی مربوط به لندفرم‌هایی با بافت نرم، مانند دشت، است ولی بیشترین خطاهای شناسایی به لندفرم‌هایی با بافت خشن، مثل کوهستان، بازمی‌گردد.

کلیدواژه‌ها: شناسایی خودکار، نقشه لندفرم، قطعه‌بندی، قدرت تفکیک چندگانه، حوضه یزد- اردکان.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: همدان، دانشگاه پیام نور، صندوق پستی ۹۹۵۱-۶۵۱۹۹، تلفن: ۰۹۱۲۴۵۴۷۱۵۳-۰۹۱۲۴۵۴۶۸۴۲-۰۸۱۳۲۵۴۶۸۴۲، دورنگار: ۰۸۱۳۴۵۰۰۹۱۰

۱- مقدمه

لندفرم‌ها^۱، یا اشکال فیزیکی سطح زمین، نقش مهمی در حیات انسان‌ها دارند؛ گاه برای انسان مخاطره‌سازند، مانند تپه‌های ماسه‌ای روان و گاهی هم اهمیت اقتصادی دارند، مثل طاقدیس‌هایی که نقش تله‌های نفتی را برعهده دارند. بنابراین، شناسایی و پراکنش مکانی آنها در متن تصاویر سنجش از دور یکی از روش‌های مطالعاتی آنهاست.

هرچند روش‌های بصری در شناسایی و تفکیک لندفرم‌های بزرگ مفیدند اما در مقیاس وسیع، وقت‌گیر و پرهزینه‌اند؛ در عوض، روش‌های خودکار مبتنی بر دانش ژئومورفولوژی، با صرف هزینه و زمان کمتر، هم در تشخیص لندفرم‌های کوچک‌تر موفق عمل می‌کنند و هم روشی مکمل محسوب می‌شوند که خطای ذهنیت‌گرایی و اعمال سلیقه‌های شخصی مفسر را بهبود می‌بخشند زیرا شواهد مهمی در پیشینه تهیه نقشه‌های لندفرم وجود دارد که نشان می‌دهد طبقه‌بندی آنها، با اعمال دیدگاه‌های شخصی و درکی که از چشم‌اندازها وجود داشت، انجام می‌گرفت. در نتیجه، ذهنیت‌گرایی و اعمال سلیقه‌های شخصی از دقت این‌گونه نقشه‌ها می‌کاست. این نکته در این تحقیق، با استفاده از روش‌های مؤثر در شناسایی خودکار لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی و مرز بین آنها، بررسی شده است.

سطح زمین از عوارض پیوسته طبیعی^۲ و ساختاریافته‌ای از لندفرم‌ها تشکیل شده که نتیجه عملکرد مجموعه فرایندهای ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، اکولوژیکی و فرایندهای تشکیل خاک است و این فرایندها، در بستر زمان، در ایجاد لندفرم‌ها نقش داشته‌اند (MacMillan and Shary, 2009).

لندفرم به شکل‌هایی از سطح زمین گفته می‌شود که نتیجه اعمال فرایندهای متقابل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی طی زمان طولانی باشند. لندفرم‌های کلان (مانند رشته‌کوه البرز) در ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، هواشناسی و دیگر دانش‌ها، به‌منزله مرزهای ثابت،

کاربرد دارند (Dehn et al., 2001).

به‌طور کلی، دانشمندان علوم زمین ارزش لندفرم‌ها را در چهار مورد می‌دانند: ۱. ارزش فرهنگی^۳؛ ۲. ارزش روحانی^۴؛ ۳. ارزش زیبایی^۵؛ ۴. ارزش اقتصادی^۶ (Australian Curriculum, 2008). شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها از مهم‌ترین اهداف و از کارهای پایه‌ای در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی است (شایان و همکاران، ۱۳۹۱). نقشه لندفرم‌ها، به‌خودی‌خود، ارزش اطلاعاتی بسیار زیادی برای برنامه‌ریزی محیطی، مهندسی عمران، کشاورزی، حفاظت منابع طبیعی، پیش‌بینی و پیشگیری از بلایای طبیعی احتمالی دارد (ملاهمرعلیزاده و همکاران، ۱۳۸۳).

هدف از شناسایی لندفرم‌ها ساده‌سازی شکل پیچیده زمین به تعداد محدودی از واحدهای عملیاتی است که هم بتوان آنها را از هم تمییز داد و هم اطلاعات مفیدی از آن لندفرم عرضه کنند (Gerçek, 2010).

چگونگی پراکنش و نوع لندفرم‌های غالب هر منطقه طبیعی یا چشم‌انداز با میزان فرسایش و رسوبدهی، مواد مغذی خاک و حتی دیگر پارامترهای اکولوژیکی همچون تولیدات ناخالص اولیه، کیفیت آب و درنهایت، تنوع زیستی^۷ ارتباط مستقیم دارد (Dragut and Blaschke, 2006).

شناسایی و طبقه‌بندی لندفرم‌ها از مهم‌ترین اهداف و از کارهای پایه‌ای در تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی به‌شمار می‌رود (شایان و همکاران، ۱۳۹۱). تهیه نقشه‌های دقیق ژئومورفولوژی با نقشه‌های لندفرم ارتباطی پیوسته دارد. اطلاعات جامع حاصل از لندفرم‌ها، به‌ویژه لندفرم‌هایی که اهمیت اقتصادی دارند، ضروری است زیرا داشتن اطلاعات جامع از فرم و فرایند ایجاد لندفرم‌ها، فرسایش خاک، پیش‌بینی حوادث محیطی همچون لغزش زمین، سیل و وضعیت پایداری دامنه‌ها در بسیاری از برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای نقش مهمی دارد.

- | | |
|--------------------|--------------------------|
| 1. landforms | 2. continuous phenomenon |
| 3. Cultural value | 4. spiritual value |
| 5. aesthetic value | 6. economic value |
| 7. bio variety | |

طبقه‌بندی براساس مفاهیم شیء‌پایه و مورفومتریکی روی داده‌های رقومی ارتفاعی سطح زمین بسیار مؤثر و کارسازتر از روش‌های پیکسل‌پایه است (Hoffmann and vander, 2001) زیرا، افزون بر طبقه‌بندی، ویژگی اکتشاف و بارسازی لندفرم‌ها را نیز داراست. در مفاهیم شیء‌پایه‌ای، شیء‌های تصویری به گروهی از پیکسل‌های مشابه در یک داده رستری گفته می‌شود که طی مراحل قطعه‌بندی ایجاد می‌شوند. شیء‌های حاصل از قطعه‌بندی اطلاعاتی کامل‌تر از پیکسل‌های منفرد و بدون روابط همسایگی دارند. زیرا شیء‌های تولیدی، علاوه بر اطلاعات طیفی پیکسل‌های منفرد، اطلاعات تکمیلی دیگری همچون روابط همسایگی، شکل و مورفولوژی، اندازه نسبی و دیگر پارامترهای ژئومورفومتری را دربر دارند که همه این اطلاعات منجر به شناسایی و تفکیک‌پذیری یا طبقه‌بندی بهتر لندفرم‌ها می‌شود (Asselen and Seijmonsbergen, 2006).

نخستین تلاش‌ها در زمینه طبقه‌بندی مورفولوژی لندفرم‌های زمین را افرادی چون هموند^۱ (۱۹۵۴) و (۱۹۶۴)، والاس^۲ (۱۹۵۵)، لنتون^۳ (۱۹۷۰)، گروزور و اوئن^۴ (۱۹۸۳)، دیکاو^۵ و همکاران (۱۹۹۱) داشته‌اند. همه آنها، به صورت مشترک، در تمامی مطالعات خود برای طبقه‌بندی لندفرم‌ها، از پارامترهای شیب، ارتفاع نسبی و نوع پروفیل استفاده کردند زیرا پارامترهای مورفومتریک محسوب می‌شوند و شکل هندسی لندفرم‌ها را نشان می‌دهند. مهم‌ترین پیشینه‌های تحقیق در جدول ۱ آمده است. طرح موضوع قطعه‌بندی تصویر^۶، به منظور شناسایی اشکال، به میانه سال ۱۹۷۰ م. برمی‌گردد (Haralick et al., 1973). اما فقط با گذشت بیش از یک دهه از آن، این مفاهیم، در قالب بسته‌های نرم‌افزاری آماده، مانند تحلیل شیء‌پایه تصویر^۷ OBIA، ظهور یافتند (Dragut and Blaschke, 2006). مطالعات قبلی نشان داده که

جدول ۱. مهم‌ترین پیشینه‌های تحقیق

نتیجه	روش کار	محقق
شناسایی اشکال بزرگ	روش دستی از پنجره چهارگوش	هموند (۱۹۵۴)
شناسایی اجزای لندفرم	استفاده از شیب و ارتفاع	دایموند ^۸ (۱۹۹۵)
استخراج انحنای و لندفرم‌های سطح زمین	استفاده از مدل DEM	پایک ^۹ (۲۰۰۹)
شناسایی لندفرم	مدل سلسله‌مراتبی	دیکاو و همکاران (۱۹۹۱)
عملکرد بهتر پنجره دایره‌ای، در مقایسه با پنجره چهارگوش، در استخراج لندفرم‌ها	پنجره جست‌وجوگر دایره‌ای	برابین ^{۱۰} (۱۹۹۸)
گرایش شیء‌پایه در شناسایی لندفرم	تحلیل شیء‌پایه تصویر (OBIA)	دیرات و بلاشک ^{۱۱} (۲۰۰۶)
دقت بیشتر شیء‌پایه به نسبت پیکسل‌پایه	مدل رقومی ارتفاع (DEM) و فازی شیء‌پایه	هافمن و واندر وگت ^{۱۲} (۲۰۰۱)
شناسایی مخروط‌افکنه‌های دره مرگ آمریکا	از مدل رقومی ارتفاعی و ایزودیتا فازی	آرجیلاس و تزوتسوس ^{۱۳} (۲۰۰۴)
طبقه‌بندی بخشی از زمین منظرهای شیراز	روش قرینه‌سازی مدل رقومی ارتفاع	کرم (۱۳۸۸)
برای استخراج خطوط ساحلی چاهبار	روش طبقه‌بندی با بیشترین مشابهت	محمدی و همکاران (۱۳۸۹)
استخراج مرز مخروط‌افکنه مروست	سیستم اطلاعات جغرافیایی	گورابی و کریمی (۱۳۹۱)
طبقه‌بندی لندفرم‌های مناطق خشک مرنجاب		شایان و همکاران (۱۳۹۱)
تهیه نقشه لندفرم‌ها		قنواتی و بهشتی (۱۳۹۲)
تهیه نقشه ژئومورفولوژی و نمادهای مجاز آن		رامشت (۱۳۹۳)

1. Hammond
2. Wallace
3. Linton
4. Crozier and Owen
5. Dikau
6. image segmentation
7. Object-Based Image Analysis
8. Dymond
9. Pike
10. Brabyn
11. Dragut and Blaschke
12. Hoffmann and Vander Vegt
13. Argialas and Tzotsos

تا $۳۱^{\circ} ۱۳'$ تا $۳۲^{\circ} ۴۸'$ و طول جغرافیایی از $۵۲^{\circ} ۵۷'$ تا $۵۴^{\circ} ۵۹'$ قرار دارد (شکل ۱). از لحاظ ژئومورفولوژی، این حوضه از شمال به کفه اردکان و از جنوب به ارتفاعات شیرکوه، از شرق به زیرحوضه خرانق و از غرب به زیرحوضه ندوشن محدود می‌شود (اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۳).

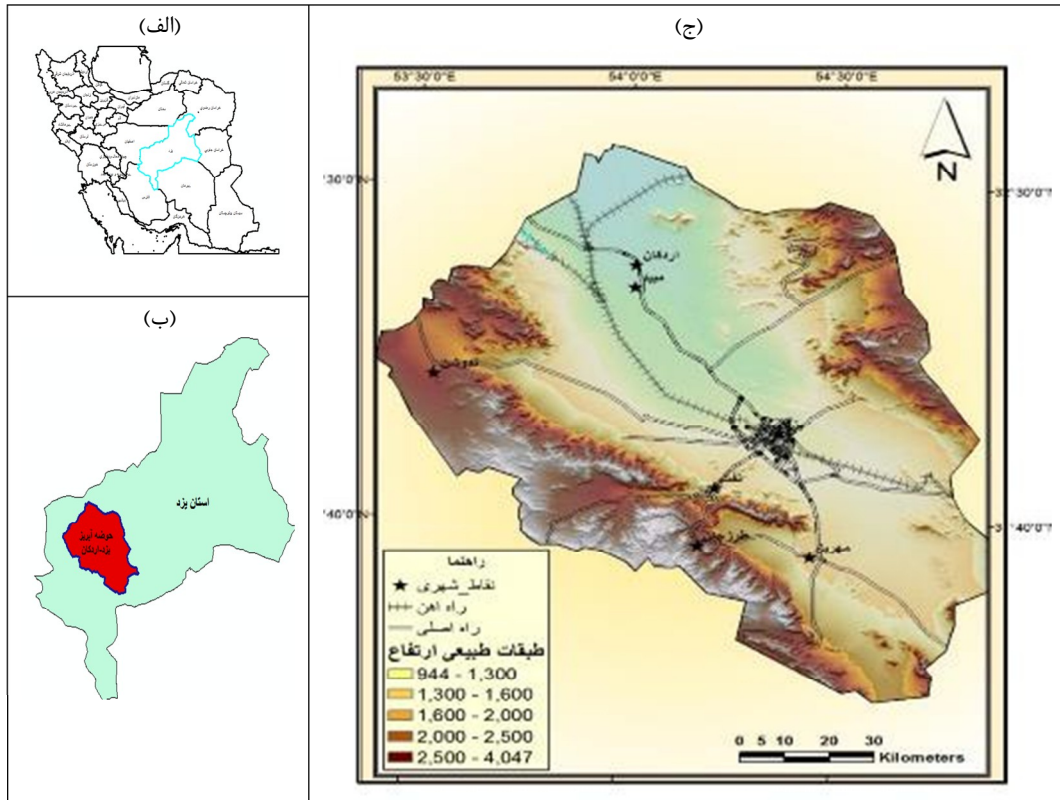
مواد اصلی این پژوهش راه افزون بر جست‌وجوی جامع اینترنتی، مجموعه عملیات پیش‌پردازش تصاویر سنجنش از دور و پس‌پردازش، شامل قطعه‌بندی تصاویر طیفی به‌منظور استخراج لندفرم‌ها، تشکیل می‌دهد؛ به‌طوری‌که برای شناسایی لندفرم‌های بزرگی، مانند رشته‌کوه‌ها و دشت‌سرها، از داده‌های سنجنده ETM مربوط به ماهواره لندست نسل ۷ و برای شناسایی لندفرم‌های کوچکی، همچون مخروط‌افکنه‌ها، از تصویر ماهواره ژئو-آی استفاده شده است. در جدول ۲ انواع تصاویر ماهواره‌ای به‌کاررفته و کاربرد هر یک در این تحقیق آورده شده است.

در این تحقیق، پس از تهیه نقشه لندفرم‌های حوضه یزد با دو روش بصری و خودکار مبتنی بر شیء، خواهیم دید در یک مقیاس ثابت، بعضی از لندفرم‌هایی که در روش بصری از دید انسان پنهان می‌ماند، در روش خودکار، با همان مقیاس به‌خوبی شناسایی و بارسازی شدند.

هدف از این تحقیق معرفی مهم‌ترین الگوریتم‌های شناسایی خودکار عوارض ژئومورفولوژیکی حوضه یزد- اردکان، در جایگاه روشی مکمل برای روش‌های بصری، و نیز امکان‌سنجی تشخیص میکرو لندفرم‌ها روی سطح لندفرم مخروط‌افکنه به‌روش خودکار است.

۲- مواد و روش‌های تحقیق

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق حوضه آبریز یزد- اردکان، با مساحتی بالغ بر ۱۵۹۵۰ کیلومترمربع، است که تقریباً در مرکز ایران و در محدوده عرض شمالی از



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه: الف) در سطح ایران؛ ب) در سطح استان؛ ج) در سطح حوضه آبریز

جدول ۲. منابع اطلاعات موجود و نوع کاربری تصاویر ماهواره‌ای

تاریخ تصاویر	ماهواره	سنجنده	قدرت تفکیک	باند‌های استفاده‌شده	نوع کاربرد در تحقیق حاضر	منبع دریافت و سفارش داده
۰۸/۲۰/۲۰۰۸	لندست	ETM+	۳۰ متر	۲ و ۳ و ۴	نمایش تصویر رنگی کاذب از منطقه مورد مطالعه، طبقه‌بندی قطعه‌بندی،	www.earthexplorer.usgs.gov
۰۷/۱۷/۲۰۰۹	ژئو-آی ۱	ژئو-آی	۱.۶۵	۲۰۱	شناسایی میکروفرم‌ها	www.geoeye.com/xY5

به روش دوم (خودکار) ضرورت می‌بخشد، علاوه بر سرعت بالا و تکرارپذیری آن، این است که خطاهای انسانی مانند خطای دید، خطای درهم‌آمیزی مرزها و لبه‌ها و ناتوانی چشم انسان در شناسایی و طبقه‌بندی عوارض کوچک، همچون میکرولندفرم‌های سطح زمین، در آن راه ندارد.

ب) روش رقومی - خودکار

در این روش، مفسر سعی دارد مدل‌های انتزاعی و ادراک مفهومی خود را، در قالب روابط ریاضی، به رایانه بسپارد تا رایانه بیشترین میزان محاسبات را، با دقت بالا و در زمان کوتاه و با امکان تکرارپذیری، داشته باشد. این روش در اینجا شامل مجموعه تکنیک‌های سنجنش از دور است که به شناسایی عوارض طبیعی سطح زمین منجر می‌شود.

در این تحقیق، به منظور شناسایی خودکار عوارض سطح زمین، از الگوریتم‌های قطعه‌بندی تصاویر طیفی، با دو رویکرد متفاوت، به شرح زیر استفاده شده است:

۱-۲- رویکرد از بالا به پایین^۱ یا کل به جزء

در این رویکرد، اشکال و اشیای تصویر، برای شناسایی شدن، به قطعات کوچک‌تر تقسیم می‌شوند. در واقع، این رویکردی از کل به جزء است. در تحقیق حاضر، از الگوریتم «قطعه‌بندی براساس تباین^۲ درجات

برای شناسایی انواع لندفرم‌های حوضه یزد- اردکان، از دو روش زیر استفاده شده است:

الف) روش بصری

تفسیر بصری تصویر، بیشتر از اینکه به خواندن پیکسل‌های تصویر مربوط شود، به دیدن تصویر و درک کلی آن مربوط است که هم نیازمند تشخیص عناصر الگویی تصویر مانند درجه روشنایی، رنگ، اندازه، بافت، شکل، الگو، ارتفاع، سایه و وابستگی است و هم به تحلیل و الحاق دانش متنی نیاز دارد.

کارشناس، در این روش، با کمک عوامل تفسیر مانند شکل، اندازه، رنگ، الگو یا طرز چینش اشیا در کنار هم، تن عکسی یا پله‌های رنگی، سایه، بافت یا ریزی و درستی اشیا و نیز با تکیه بر دانسته‌ها و آموخته‌های پیشین خود، از روی انواع عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، اقدام به شناسایی انواع لندفرم‌های کلان و بزرگ حوضه مطالعاتی می‌کند. این روش وقت‌گیر است و هزینه بالایی دربر دارد. البته گفتنی است از مزایای این روش اجرای انواع شناخت‌های ذهنی و حتی مفسر از جهان واقعی، به طور مستقیم و بدون تشریفات و محدودیت‌های نرم‌افزاری- سخت‌افزاری، برای شناسایی و طبقه‌بندی عوارض است. دقت این روش به میزان هوشمندی مفسر و شیوه و مدل شناخت او از عوارض ژئومورفولوژیکی بازمی‌گردد. نقشه لندفرم‌های حاصل از تفسیر بصری، در شکل ۷، در بخش نتایج تحقیق آورده شده است. در واقع، آنچه

1. top-down segmentation
2. contrast split segmentation

فشرده‌گی یا ضریب نرمی شکل بنا شده است (Martin et al., 2012).

باتز و همکاران^۸ (۲۰۰۸) معتقدند، با افزایش و ارتقای بار مفهومی و معنایی، مانند افزایش نقش مدل‌های انتزاعی، می‌توان به اشیای تصویری مطلوبی رسید که بهترین معرف و نمونه در عملیات طبقه‌بندی به‌شمار روند. این مفاهیم با عنوان «مدل فنر مارپیچی باتز»^۹ در شکل ۲ آورده شده است. طبق شکل ۲، با در نظر گرفتن مفاهیم معنایی و انتزاعی همچون روابط مورفولوژی و همسایگی‌ها و مدل‌های دانش‌پایه در طبقه‌بندی، می‌توان به شناسایی اشیای دقیق‌تری برای طبقه‌بندی در گستره مورد نظر رسید. فرایند طبقه‌بندی در این روش با یک پیکسل و یا شیء تصویر منفرد^{۱۰} آغاز و در چندین مرحله، تکرار می‌شود تا به صورت شکل بزرگ‌تری (لندفرم) امتزاج و ترکیب یابد. این تکرار و ترکیب تا زمانی ادامه می‌یابد که از آستانه تعریف‌شده تجاوز نکند.

در این روش، فرایند شناسایی اشیا — در اینجا لندفرم — طبق مراحل زیر انجام می‌گیرد:

در نخستین مرحله از فرایند طبقه‌بندی، پیکسل آموزشی^{۱۱} یا اشیای منفرد تصویری^{۱۲} به جست‌وجوی مشابه‌ترین پیکسل یا شیء تصویری همسایه خود برمی‌آید تا با آن ادغام شود. معیار جست‌وجوی یافتن بهترین همسایه شکل، رنگ یا هر معیار ژئومورفومتری است (شکل ۳).

1. segmentation
2. object
3. polygon vector
4. bottom-up segmentation
5. multiresolution segmentation algorithm
6. color homogeneity
7. shape homogeneity
8. Baatz et al.
9. spiral model of Baatz
10. image object single
11. training pixel
12. single image objects

روشنایی»، به‌منظور شناسایی میکرو لندفرم‌های روی سطح مخروط‌افکنه، استفاده شده است.

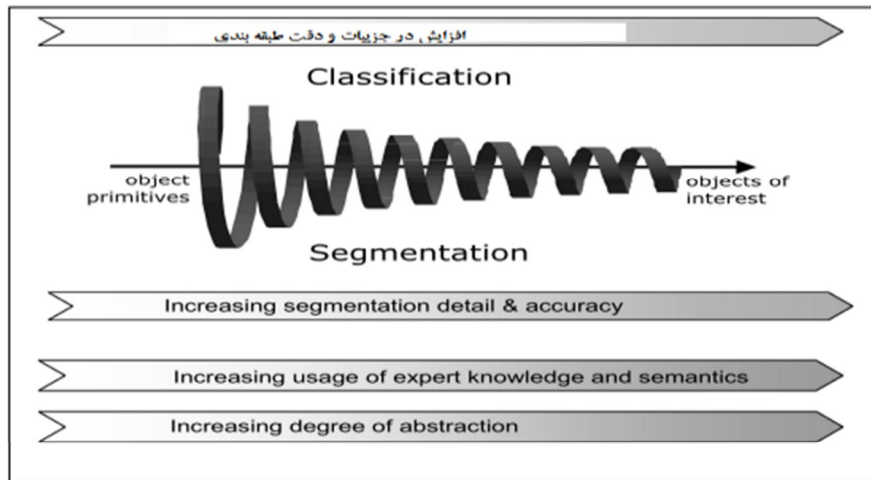
طبقه‌بندی^۱ تبدیل هر تصویر به واحدهای مجزاست که از نظر بافت، رنگ و دیگر ویژگی‌های فضایی همگن و مشابه باشند. در طبقه‌بندی، تصویر به نواحی جداگانه‌ای تقسیم می‌شود که به هریک از این نواحی «آبجکت» یا «شیء»^۲ می‌گویند. این اشیای تصویری حاصل از عملیات طبقه‌بندی، افزون بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مهم غیرطیفی را نیز دربر دارند؛ مانند شکل هندسی، اندازه و موقعیت نسبی، بافت و روابط همسایگی.

در الگوریتم طبقه‌بندی براساس تباین، اشیای تصویری، طبق اختلاف بین درجات روشنایی پیکسل‌ها، به محدوده‌های سفید و سیاه تبدیل می‌شوند. در این شیوه، اشیای روشن و تیره، به لحاظ مقادیر آستانه، با استفاده از بردار چندضلعی^۳ از هم تفکیک می‌شوند (Martin et al., 2012).

۲-۲- رویکرد از پایین به بالا یا از جزء به کل^۴

در این رویکرد، قطعات کوچک تصویر براساس معیارهای متفاوتی همچون همگنی، ویژگی‌های طیفی، بافت و متن تصویر، مورفولوژی و هندسه با هم ادغام می‌شوند تا شکل بزرگ‌تری پدید آید. در واقع، این رویکرد از جزء به کل است. در این رویکرد، از الگوریتم «طبقه‌بندی با قدرت تفکیک چندگانه»^۵، به‌منظور شناسایی خودکار لندفرم‌های سطح حوضه، استفاده شده است.

طبقه‌سازی با قدرت تفکیک چندگانه پرکاربردترین روش شناسایی اشکال در این رویکرد است (Baatz and Schap, 2000). معیار همگنی در این الگوریتم چگونگی ادغام اشکال همگن با یکدیگر، در فضای تصاویر شیء‌پایه، را تعیین می‌کند. این معیار به‌منظور ادغام شکل‌ها از نظر ویژگی‌های شکل و رنگ در تصاویر چندطیفی به کار می‌رود. همگنی رنگ^۶ براساس انحراف معیار رنگ و همگنی شکل^۷ براساس انحراف معیار

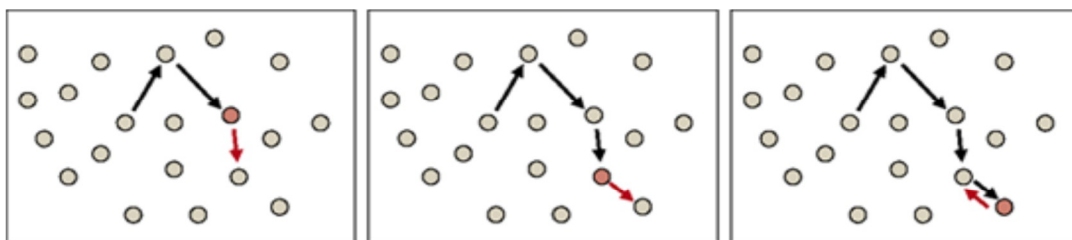


شکل ۲. نقش مدل‌های انتزاعی و مفهومی در افزایش دقت قطعه‌بندی
 منبع: Baatz et al., 2008

این فرایند، تا پیداشدن همسایه جدیدی برای ادغام، ادامه می‌یابد و از آن سو، اگر پیکسل همسایه‌ای با ویژگی مورد نظر یافت نشود، به پایان می‌رسد. کاربران تصاویر طبقه‌بندی شده ماهواره‌ای باید از صحت و کارایی نقشه مورد استفاده اطلاع داشته باشند. صحت را به صورت نزدیک به واقعیت تعریف می‌کنند. در تحقیقات اخیر در زمینه ارزیابی دقت، بیشترین توجه بر «ماتریس درهمی»^۲ و «صحت کلی»^۳ متمرکز شده است (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). در همین زمینه، در تحقیق حاضر، برای ارزیابی دقت مدل‌های شناسایی خودکار لندفرم‌ها، از دو روش کیفی و کمی استفاده

در مقابل، اگر همسایه یافت شده پیکسل آموزشی را بهترین پیکسل همسایه همگن خود نشناخت؛ خود آن پیکسل همسایه نقش پیکسل آموزشی جدید را پیدا می‌کند و به دنبال همسایه جدید یا بعدی همگن خود می‌گردد. این کار آن قدر تکرار می‌شود تا رابطه دوطرفه^۱، بین پیکسل آموزشی و پیکسل همسایه، پدید آید.

زمانی که بین پیکسل آموزشی و پیکسل همسایه، از نظر همگنی، رابطه دوطرفه برقرار شد؛ این دو با هم ادغام می‌شوند و شکل بزرگ‌تری را تشکیل می‌دهند (شکل ۳، سمت راست).



شکل ۳. فرایند شناسایی خودکار لندفرم‌ها. نقطه قرمز بیانگر پیکسل‌های نمونه است. پیکان مسیر جست‌وجوی بهترین پیکسل همسایه را نشان می‌دهد (برای توضیح بیشتر، رک: متن بالا).

منبع: Martin et al., 2012

1. mutual relationship
2. confusion matrices
3. overall accuracy

برای محاسبه صحت کلی (oa)، از نسبت مجموع درایه‌های قطر اصلی ماتریس $(\sum_{i=1}^m p_{kk})$ به کل پیکسل‌های مورد ارزیابی، به صورت رابطه (۱)، استفاده شده است:

$$oa = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m p_{kk} \quad (1)$$

از آنجا که از همه عناصر ماتریس در محاسبه صحت کلی استفاده نمی‌شود، عامل شانس در آن تاثیرگذار است. برای بی‌اثر کردن این عامل، از شاخص چندمتغیره‌ای به نام ضریب کاپا^۲، به صورت رابطه (۲)، استفاده شده است:

$$\hat{\kappa} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_i + X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_i + X_{+i})} \quad (2)$$

r تعداد ردیف‌ها در ماتریس خطا، X_{ii} تعداد مشاهده‌ها در ردیف i و ستون i روی قطر اصلی، X_{+i} کل مشاهده‌های ردیف i و ستون i و N کل مشاهده‌هاست (علوی‌پناه، ۱۳۸۲).

دقت تولیدکننده از نسبت عنصر قطری هر کلاس به جمع مقادیر هر ستون (هر کلاس) به دست می‌آید اما دقت کاربر از نسبت عنصر قطری هر کلاس به جمع مقادیر هر سطر (هر کلاس) حاصل می‌شود (اکبری و شکاری، ۱۳۹۲).

۳- نتایج و یافته‌های تحقیق

۳-۱- روش تباین پیکسلی

در این روش، ابتدا همانند شکل زیر، تصویر شطرنجی یا مربعی می‌شود و سپس تباین یا اختلاف بین پیکسل‌های تیره و روشن در هریک از مربع‌ها، با استفاده از چندضلعی، تفکیک و مشخص می‌شوند. نتایج حاصل از اجرای این روش، برای یکی از مخروط‌افکنه‌های حوضه یزد- اردکان، در شکل ۴ آورده شده است.

شده است؛ در روش کیفی، به منظور بررسی چشمی میزان تطابق و روی هم قرارگیری لایه‌ها، تفسیر چشمی و تکنیک‌های هم‌پوشانی به کار رفته و در روش کمی، از ماتریس درهمی بهره گرفته شده است. نام دیگر این ماتریس ماتریس خطا^۱ است؛ ماتریس مربعی N در N که N تعداد کلاس‌ها را نشان می‌دهد. ساختار معمول ماتریس خطا و مؤلفه‌های آن در جدول ۳ معرفی شد. در این ماتریس، مجموع اعداد در هر ستون بیانگر درصد یا تعداد پیکسل‌ها در واقعیت زمینی است؛ درحالی‌که هریک از اعداد موجود در سطرهای این ماتریس داده‌های طبقه‌بندی شده با الگوریتم طبقه‌بندی کننده را نشان می‌دهد (علوی‌پناه، ۱۳۸۲). در واقع، ماتریس خطا دقت شناسایی و طبقه‌بندی را، از راه مقایسه نتایج طبقه‌بندی با واقعیت زمینی، به دست می‌آورد (Jensen, 1986). از ویژگی‌های این ماتریس آن است که مجموع عناصر روی قطر اصلی بیانگر مجموع تعداد عناصری است که، به درستی و مطابق با واقعیت زمینی، با استفاده از الگوریتم، شناسایی شده‌اند (Stehman, 1997).

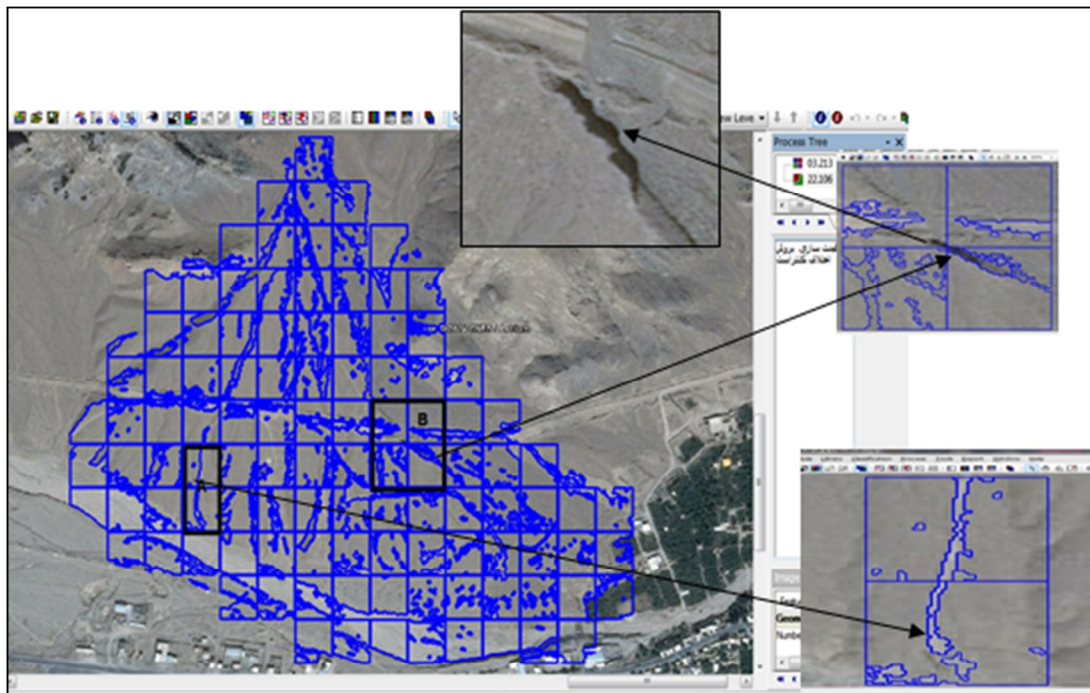
جدول ۳. ساختار معمول ماتریس خطا و مؤلفه‌های آن

منبع: Scofield et al., 2015

		User				
		ω_1	ω_2	...	ω_k	
Producer	ω_1	p_{11}	p_{12}	...	p_{1k}	p_{1+}
	ω_2	p_{21}	p_{22}	...	p_{2k}	p_{2+}
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
	ω_k	p_{k1}	p_{k2}	...	p_{kk}	p_{k+}
		p_{+1}	p_{+2}	...	p_{+k}	m

ω_i شماره کلاس، $p_{i,j}$ تعداد پیکسل‌ها از کلاس نام که به اشتباه در کلاس نام قرار گرفته و p_{kk} تعداد پیکسل‌هایی است که به درستی شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند. p_{+i} و p_{i+} ، به ترتیب، اشاره به درستی تولیدکننده و کاربر دارند و m نیز کل پیکسل‌های مورد ارزیابی است (Scofield et al., 2015).

1. error matrix
2. Kappa coefficient

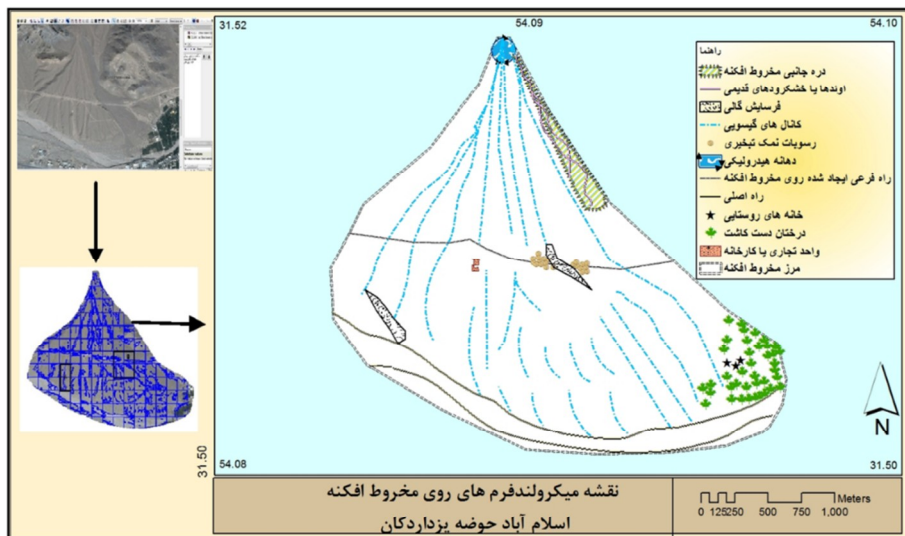


شکل ۴. اجرای قطعه‌بندی به‌روش تباين پیکسلی؛ نمونه A (تصویر بزرگ‌شده پایینی) بخشی از مسیر راه فرعی است که روی مخروط‌افکنه احداث شده و با این روش، با استفاده از چندضلعی، به نمایش درآمده است. نمونه B (تصاویر بزرگ‌شده بالایی) سایه حاصل از فرسایش خندقی بر پیکره مخروط‌افکنه را نشان می‌دهد که با روش قطعه‌بندی کشف شده است.

اهمیت دارد. در این تحقیق، توزیع مکانی کانال‌های گیسویی، به‌صورت خودکار، با روش تباين درجات روشنایی پیکسل‌ها شناسایی شده است (شکل ۴ و ۵). محل شکل‌گیری کانال‌های گیسویی، درواقع، محل پخش سیلاب‌های خطرناک و به‌عبارت دیگر، بخش فعال مخروط‌افکنه است که با این روش کشف شده است. خشک‌رودها نیز از عوارض قابل استخراج روی مخروط‌افکنه‌اند که با همین شیوه شناسایی شده‌اند. وجود آبراهه بریده‌شده، در بخش بالادستی مخروط‌افکنه‌ها، پدیده‌ای شایع در بیشتر مخروط‌افکنه‌های منطقه است.

همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، مهم‌ترین میکرولندفرم‌ها شامل گالی‌ها یا آبکندها^۱ می‌شوند که جزء لندفرم‌های فرسایشی-جریانی‌اند و از نظر شکل‌نگاری^۲، از دره‌های تنگ و ممتد تشکیل یافته‌اند. کنترل نکردن آنها به تخریب زیرساخت‌های شهری، مانند راه‌های مواصلاتی، می‌انجامد. سایه حاصل از رأس گالی توسعه آن را نشان می‌دهد و یکی از مخاطرات جدی برای ساکنان و سازه‌های آنها به‌شمار می‌رود. رواناب صفحه‌ای، که در اقلیم نیمه‌خشک وجود دارد، به شکل دادن مخروط گیسویی (شکل ۵) منجر می‌شود. کانال‌های گیسویی^۳ انشعاباتی از رواناب رودخانه‌ای‌اند که روی سطح مخروط‌افکنه‌ها گسترش دارند و مکانیسم تشکیل و تحول آنها به دینامیک آب و ویژگی‌های حوضه بازمی‌گردد (یمانی و مقصودی، ۱۳۸۲). این کانال‌ها بستر اصلی پخش سیلاب روی مخروط‌افکنه‌ها به‌شمار می‌روند که شناسایی مکان آنها

1. gully
2. morphography
3. braided river
4. multi-resolution segmentation algorithm



شکل ۵. نقشه میکرو لندفرم مخروط افکنه اسلام آباد، حوضه یزد. شکل بالا، سمت چپ، تصویر ورودی و شکل پایین تصویر قطعه‌بندی شده را نشان می‌دهد که، به صورت خودکار، با روش تباین ایجاد شده است. شکل میانی نقشه نیز میکرو لندفرم‌های مخروط افکنه در محیط GIS را نمایش می‌دهد.

مناسب بین لندفرم‌ها، انتخاب شدند. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم قطعه‌سازی با قدرت تفکیک چندگانه برای بخشی از حوضه، در شکل ۶(ب) آمده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، لندفرم‌ها ابتدا با روش قدرت تفکیک چندگانه، با پارامترهای یادشده، از هم تفکیک و سپس، مطابق شکل ۶(ج)، به کلاس‌های ژئومورفولوژیکی تقسیم شده‌اند. در این روش، سرتاسر سطح زمین تفکیک و شناسایی می‌شود و داده‌های بلاتکلیف و بدون شناسایی وجود ندارد. افزون‌بر آن، برخی از میکرو لندفرم‌ها در مقیاس خرد، مانند دره‌های U شکل، و اشکال مشابه، مثل کوه و تپه، به علت در نظر گرفتن معیارهای ژئومورفولوژی، همچون پارامتر شکل، نیز شناسایی شدند.

فرایند قطعه‌بندی با سه پارامتر تعریف می‌شود:

۱. مقیاس؛ ۲. رنگ؛ ۳. شکل. پارامتر مقیاس تعیین‌کننده ابعاد هندسی شیء‌های تصویری است و هرچه این پارامتر بزرگ‌تر انتخاب شود، اشیای تصویری

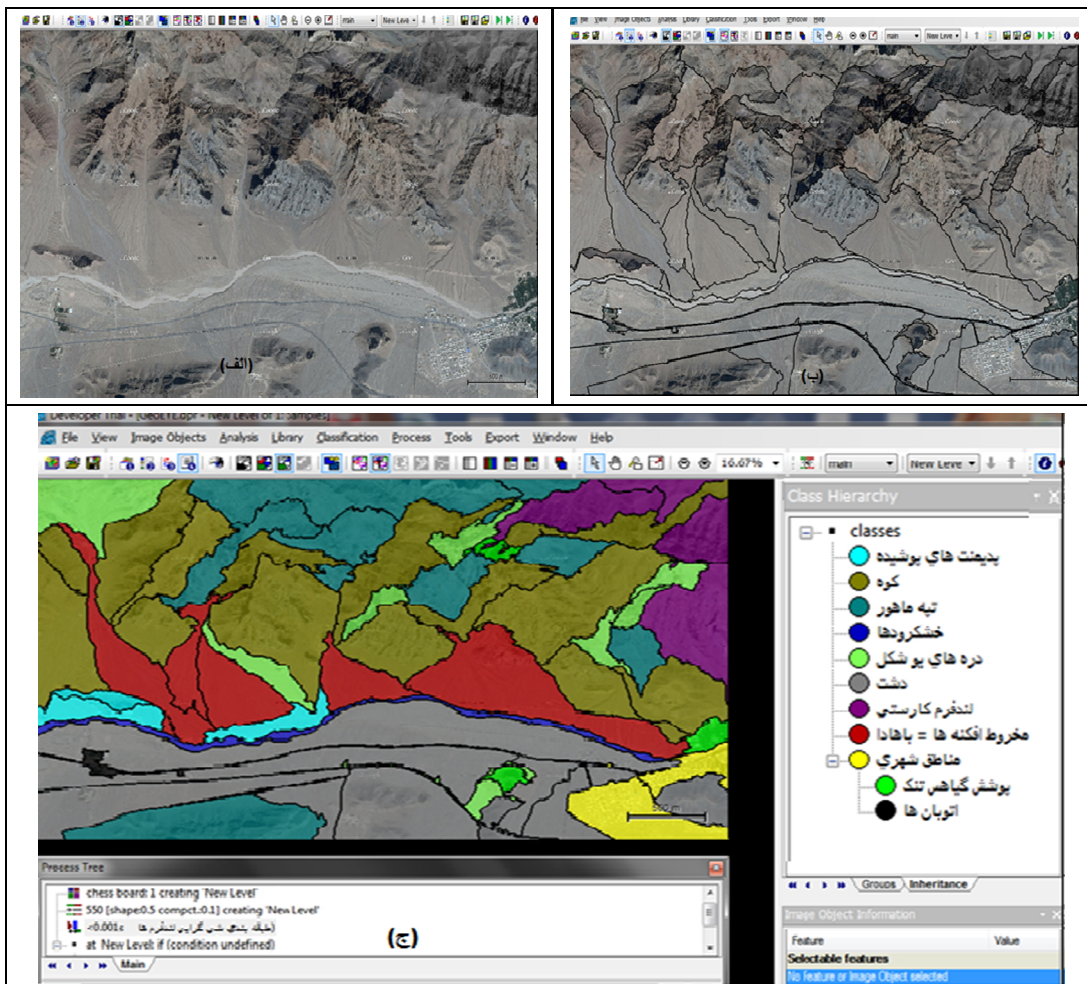
۳-۲- نتایج حاصل از الگوریتم قطعه‌سازی با قدرت تفکیک چندگانه^۱ در شناسایی لندفرم‌ها

در این الگوریتم، پیکسل‌ها یا اشیای کوچک تصویر، براساس معیار همگنی، به‌طور متوالی، با پیکسل‌ها یا اشیای دیگر همسایگی ادغام می‌شوند تا آبجکت یا شیء بزرگ‌تر و بامعناتری، از نظر همگنی، تولید شود. معیار همگنی در این روش ترکیبی از معیار شکل و طیف یا رنگ است. الگوریتم مورد نظر تکنیکی از جزء به کل یا از پایین به بالاست (Ranasingh, 2008). در این الگوریتم، پارامتر مقیاس^۲ مهم‌ترین پارامتر کنترل‌کننده در تولید اشیای ژئومورفولوژیکی است؛ به‌گونه‌ای که مقادیر عددی مقیاس بزرگ‌تر منجر به تولید اشیای ژئومورفولوژیکی بزرگ‌تر و کلی‌تر می‌شود و مقادیر مقیاس کوچک‌تر به تولید اشیای ژئومورفولوژیکی کوچک‌تر و جزئی‌تر می‌انجامد. باید اشاره کرد که تعیین مقدار صحیح عدد مقیاس، در فرایند قطعه‌بندی با قدرت تفکیک چندگانه، تکیه بر دانش ژئومورفولوژی^۳ و روش سعی و خطا^۴ دارد. در تحقیق حاضر، پارامتر مقیاس ۲۰، پارامتر رنگ ۰.۴ و پارامتر شکل ۰.۶، به‌علت قطعه‌بندی و تفکیک‌پذیری

1. multi-resolution segmentation algorithm
2. scale parameter
3. geomorphology knowledge base
4. trial and error method

پارامترهای شکل و رنگ، با همدیگر، معیار همگنی^۲ شیءهای تصویری را تعیین می کنند؛ بدین معنا که کدامیک از دو پارامتر شکل و رنگ نقش بیشتری در قطعه بندی داشته باشد (Martin et al., 2012). از آنجاکه منطقه مورد مطالعه تنوع شکلی بالایی دارد، در این تحقیق، وزن شکل بیشتر از وزن رنگ انتخاب شد (مجموع پارامتر رنگ و شکل همیشه عدد یک است)؛ بنابراین، نقش پارامتر شکل در قطعه بندی بیشتر از رنگ بود.

بزرگ تر و کلی تری تولید خواهد شد و برعکس. پارامتر رنگ براساس انحراف معیار رنگ های طیفی باندهای ماهواره ای تعریف می شود ولی پارامتر شکل طبق انحراف معیار فشردگی یا نرمی شکل^۱ به دست می آید. فشردگی شکل از نسبت محیط شکل به ریشه دوم مساحت همان شکل تعریف می شود ولی نرمی شکل از نسبت گیری محیط شکل به طول بزرگ ترین مرز شکل به دست می آید (Gerçek, 2010). انتخاب عدد بزرگ تر برای ضریب فشردگی منجر به تولید قطعات بیشتر در تصویر خواهد شد.

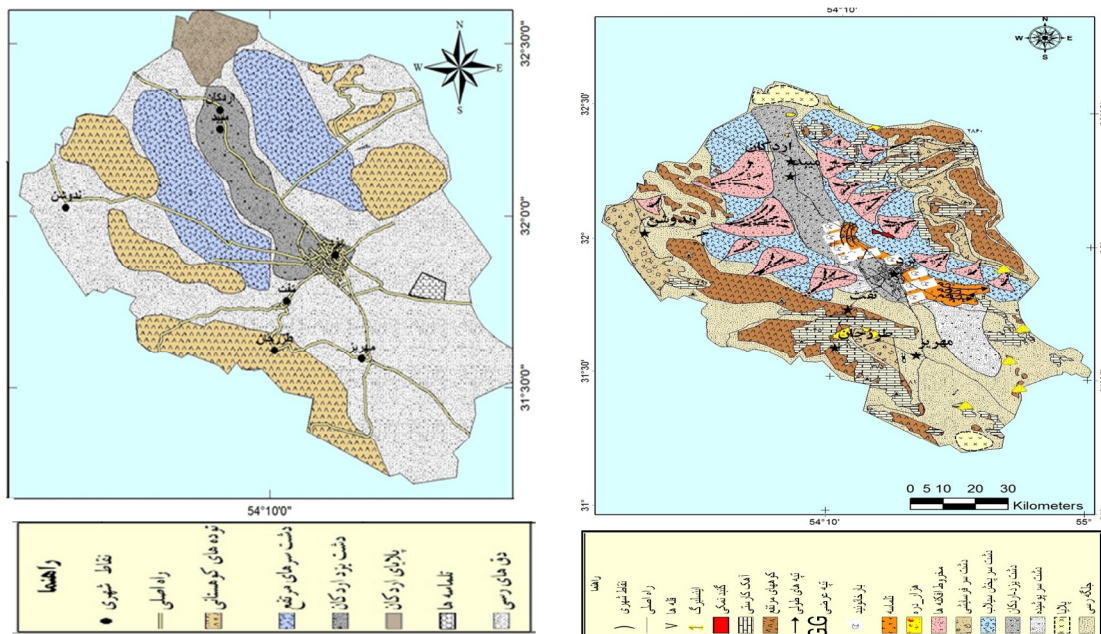


شکل ۶. نقشه لندفرم های بخشی از حوضه: الف) تصویر ورودی در محیط شیء-گرایی E-cognition؛ ب) تصویر قطعه بندی شده با روش قدرت تفکیک چندگانه؛ ج) کلاس های ژئومورفولوژیکی حاصل از روش خودکار شیء-گرایی

1. compact (smooth) shape
2. homogeneity criterion

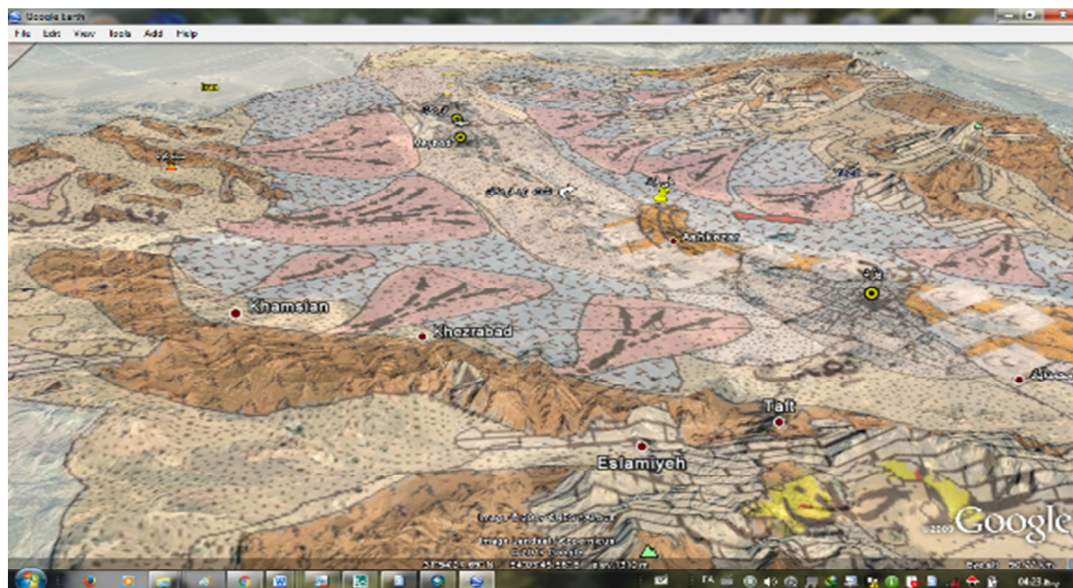
برای ارزیابی دقت در مدل‌های شناسایی خودکار لندفرم‌ها، دو روش کیفی و کمی به‌کار رفته است. در روش کیفی، از تفسیر چشمی و تکنیک‌های هم‌پوشانی^۵ به منظور میزان مطابقت لایه حاصل از انداختن نقشه مدل روی تصویر گوگل ارث، با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ استفاده شده است (شکل ۸). برای رؤیت نسبی تصویر گوگل ارث، که پشت نقشه زمین مرجع شده^۶ حاصل از مدل قرار داشته، از میزان شفافیت^۷ نقشه مذکور کاسته شده که نتیجه آن در شکل ۸، با دید سه‌بعدی، به نمایش گذاشته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، لندفرم‌های شناسایی شده حاصل از مدل در موقعیت نسبی خود روی تصویر گوگل ارث قرار گرفته‌اند. برای نمونه، ارتفاعات شیرکوه (با رنگ قهوه‌ای در قسمت پایین تصویر) و تپه‌های ماسه‌ای در شمال شرق شهر یزد و جنوب شرق آن و همچنین، مخروط‌افکنه‌های دو نیمه شرقی و غربی این حوضه، هم از نظر مکانی و هم از نظر چستی لندفرم، با نقشه حاصل از این تحقیق در شکل ۷ (سمت راست) مطابقت دارد و به‌درستی، روی گوگل ارث هم‌پوشانی یافته‌اند.

در شکل ۷، نقشه حاصل از شناسایی بصری (سمت چپ) و شناسایی خودکار بازطبقه‌بندی شده^۱ (سمت راست) برای کل حوضه، به صورت یکجا، برای مقایسه آورده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در روش بصری، فقط لندفرم‌های بزرگی مثل توده‌های کوهستانی، دشت‌سرهای مرتفع، دشت یزد- اردکان و بخش دیگری از لندفرم‌ها همچون کفه^۲ اردکان و به‌سختی تلماسه‌ها را می‌شود شناسایی کرد. ولی در شکل ۷ (سمت راست) که نقشه لندفرم‌های بازطبقه‌بندی شده خودکار با الگوریتم قطعه‌بندی به روش قدرت تفکیک چندگانه است، علاوه بر لندفرم‌های قبلی، تپه‌های عرضی، مخروط‌افکنه‌ها، هزاردره‌ها^۳ و کوه‌های منفرد^۴ نیز شناسایی شده‌اند. در این روش، هم کفه اردکان در شمال حوضه و هم کفه نمکی موجود در جنوب حوضه شناسایی شدند. همچنین، افزون بر توده‌های کوهستانی که در روش بصری تشخیص داده شده‌اند، کوه‌های فرسایش یافته نیز، در قسمت شمال شرق حوضه، شناسایی و طبقه‌بندی شده‌اند.



شکل ۷. مقایسه روش‌های بصری (سمت چپ) و خودکار بازطبقه‌بندی شده (سمت راست) در شناسایی لندفرم‌های حوضه یزد- اردکان

1. reclassified
2. playa
3. badlands
4. inselbergs
5. overlay techniques
6. geo-referenced
7. transparency



شکل ۸. هم‌پوشانی نقشه حاصل از مدل روی تصویر گوگل ارث

= درصد صحت تولیدکننده

$$100 \times \frac{\text{تعداد پیکسل‌های به‌درستی شناسایی شده در هر ستون از هر کلاس}}{\text{مجموع پیکسل‌های درست و نادرست شناسایی شده در همان ستون}}$$

رابطه (۵)

درصد صحت کاربر = ۱۰۰ - درصد خطای کمیسیون

رابطه (۶)

درصد صحت تولیدکننده = ۱۰۰ - درصد خطای امیسیون

رابطه (۷)

عناصر غیرقطری در ماتریس مورد اشاره بیانگر تعداد پیکسل‌هایی (در اینجا درصد پیکسل‌ها) است که به اشتباه شناسایی شده‌اند که این اشتباه را با خطای کمیسیون^۱ و خطای امیسیون^۲ کمی‌سازی می‌کنند. خطای کمیسیون یا خطای اضافی به تعداد یا درصد پیکسل‌های اضافی گفته می‌شود که به کلاس دیگری تعلق داشتند ولی، به اشتباه، به کلاس مورد نظر تعلق گرفتند. خطای امیسیون یا خطای حذفی به درصد پیکسل‌های از قلم‌افتاده در هر کلاس گفته می‌شود که،

1. error of commission
2. error of omission

بنابراین، مدل‌های مذکور مطمئن‌اند و در شناسایی

لندفرم‌ها می‌توان از آنها استفاده کرد.

به منظور ارزیابی کمی روش خودکار بر پایه مدل شیء‌گرا، از ماتریس درهمی یا خطا استفاده شده است. از مقابل هم قراردادن نقشه طبقه‌بندی شده به روش خودکار (شیء‌گرا) و نقشه مرجع، ماتریس خطا تشکیل شد (جدول ۴). سپس بر اساس داده‌های ماتریس خطای این تحقیق، ارزیابی‌های آماری شامل ضریب کاپا (رابطه (۲))، صحت کلی نقشه (رابطه (۳))، صحت کاربر (رابطه (۴))، صحت تولیدکننده (رابطه (۵)) و محاسبه خطاهای کمیسیون (رابطه (۶)) و امیسیون (رابطه (۷)) به صورتی که در ادامه خواهد آمد انجام گرفت و نتیجه محاسبات به ستون و ردیف آخر ماتریس خطا در جدول ۴ پیوست شد.

$$97.46\% = 100 \times \frac{779.72}{800} = \frac{\text{مجموع قطر اصلی}}{\text{کل پیکسل‌های مورد ارزیابی}} = \text{صحت کلی}$$

رابطه (۳)

= درصد صحت کاربر

$$100 \times \frac{\text{تعداد پیکسل‌های به‌درستی شناسایی شده در هر ردیف از هر کلاس}}{\text{مجموع پیکسل‌های درست و نادرست شناسایی شده در همان ردیف}}$$

رابطه (۴)

این خود گواهی بر صحت ارزیابی کیفی در بحث قبلی نیز شمرده می‌شود و بنابراین در شناسایی عوارض ژئومورفولوژیکی مورد اعتماد و کاربردی است. در واقع، پارامترهای کنترل‌کننده قطعه‌بندی افزایش درصد درستی شناسایی و طبقه‌بندی در روش قدرت تفکیک چندگانه مبتنی بر شیء پایه را تعیین می‌کند. علت صحت بالای روش یادشده در این تحقیق نیز استفاده از پارامترهای مناسب در فرایند قطعه‌بندی بوده است.

به‌اشتباه، با الگوریتم طبقه‌بندی حذف شده‌اند. نتایج خطاهای یادشده در جدول ۴ نشان می‌دهد بیشترین و کمترین این خطاها، به ترتیب، به کلاس کوهستان و دشت مربوط است. همچنین، نتایج تحلیل کمی ماتریس خطا در این تحقیق نشان داد که الگوریتم قدرت تفکیک چندگانه در شناسایی و قطعه‌بندی لندفرم‌ها، در فرایند طبقه‌بندی شیء پایه، دارای صحت کلی ۹۷.۴۶٪ و ضریب توافقی کاپای ۹۶.۵۳٪ است.

جدول ۴. ماتریس خطای شناسایی خودکار لندفرم (اعداد به درصدند)

کلاس‌ها	پدیمت‌های پوشیده	کوه‌ها	تپه‌ماهورها	خشک‌رودها	دره‌های L شکل	دشت برد اردکان	لندفرم‌های کارست	مخروط‌افکنه‌ها	مجموع سطرها	خطای کمسیون٪	دقت کاربر٪
پدیمت‌ها	۹۸.۷۲	۰.۲	۰	۰	۰	۰.۹	۰	۰.۸	۱۰۰.۶۲	۱.۹۰	۹۸.۱۰
کوه‌ها	۰.۰۱	۹۸	۳.۵	۰	۰	۰	۰.۱	۱۰۲.۶۱	۴.۵۰	۹۵.۵۰	
تپه‌ماهورها	۰.۰۲	۱.۱	۹۵	۰	۰.۱	۲	۰.۰۸	۹۸.۳	۳.۳۶	۹۶.۶۴	
خشک‌رودها	۰.۰۵	۰	۰.۳	۹۷	۱.۲	۰	۰	۹۸.۵۵	۱.۵۵	۹۸.۴۵	
دره‌های L شکل	۰	۰	۰.۵	۲.۵	۹۸	۱	۰	۱۰۲	۳.۹۲	۹۶.۰۸	
دشت‌ها	۰	۰	۰	۰	۹۸	۹۸	۰	۹۸	۰.۰۰	۱۰۰.۰۰	
لندفرم‌های کارست	۰.۲	۰.۴	۰.۴	۰.۵	۰.۸	۰	۹۶	۰.۰۲	۹۸.۳۲	۲.۳۶	۹۷.۶۴
مخروط‌افکنه‌ها	۱	۰.۳	۰.۳	۰	۰	۰	۹۹	۱۰۱.۶	۲.۶۰	۹۷.۴۰	
مجموع ستون‌ها	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۸۰۰			
خطای آمیسیون یا حذفی٪	۱.۲۸	۲	۵	۳	۲	۲	۴	۱	۲۰.۲۸		
دقت تولیدکننده٪	۹۸.۷۲	۹۸	۹۵	۹۷	۹۸	۹۸	۹۶	۹۹	۷۷۹.۷۲		

۴- بحث و نتیجه‌گیری

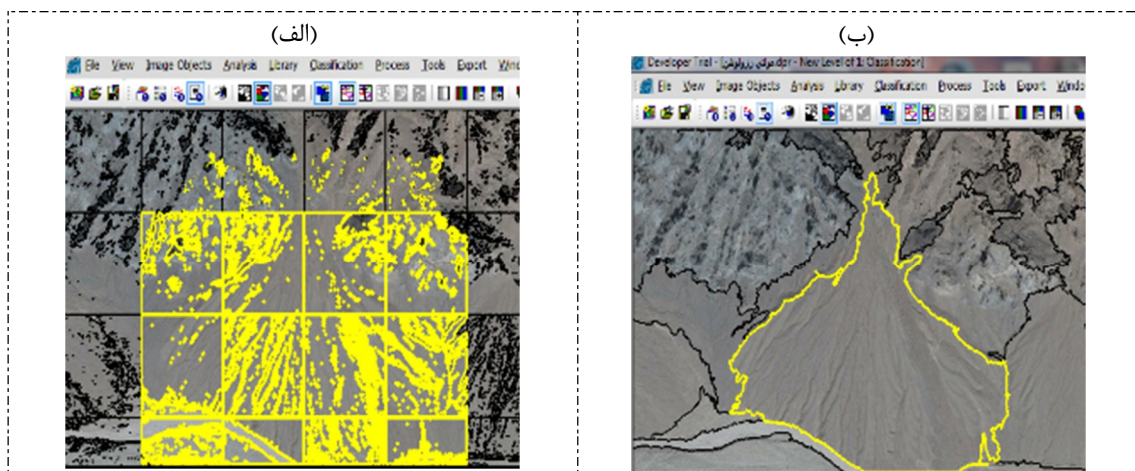
مرحله طبقه‌بندی، محسوب می‌شوند که با افزایش بار مفهومی قطعه‌بندی، می‌توان به تشخیص دقیق‌تری از عوارض رسید. به عبارت دیگر، طبق شکل ۲ که به مدل «فنر مارپیچی» باتز معرف است، هر اندازه بر ویژگی‌های خاص عوارض در شناسایی آن در متن تصویر تأکید

پژوهش حاضر به منظور شناسایی و تشخیص خودکار لندفرم‌ها و بهبود دقت طبقه‌بندی براساس اصل «شیء پایه» انجام گرفت. همان‌طور که دیده شد، الگوریتم‌های قطعه‌بندی مهم‌ترین روش روز دنیا، برای شناسایی و تشخیص عوارض سطح زمین پیش از

قطعه‌بندی روشی برای شناسایی و تفکیک لندفرم‌ها و اشکال ژئومورفولوژیکی است. همان‌طور که در این پژوهش دیده شد، جزئیاتی از سطح مخروط‌افکنه با روش اختلاف تباین کشف شده که، به دلیل استفاده از اختلافات بین درجات روشنایی پیکسل‌های همسایه، در نواحی مرزی بوده است. در روش قطعه‌بندی براساس تباین درجات روشنایی پیکسل‌ها، می‌توان شبکه‌ی مسیل‌ها، خشک‌رودها و نیز آثار فرسایشی در پیکره‌ی مخروط‌افکنه را بررسی کرد؛ بنابراین، عملیات قطعه‌بندی دارای خاصیت اکتشافی لندفرم‌ها در متن تصویر است که، در روش بصری، از دید انسان پنهان می‌ماند.

در روش قدرت تفکیک چندگانه، موارد مشابه و همگن از نظر شکل و رنگ با هم ادغام می‌شوند و تشکیل واحد شکلی بزرگ‌تری می‌دهند. به عبارت دیگر، این روش براساس تکنیک رشد ناحیه^۱ عمل می‌کند یعنی یک ناحیه را آن قدر توسعه می‌دهد تا از نظر معیار همگنی (شکل، طیف و مقیاس) به یک شکل واحد برسد؛ پس یک روش قطعه‌بندی از پایین به بالاست. روش مورد نظر، طبق نتایج این تحقیق، برای شناسایی فرم و ساختار شکلی لندفرم‌ها، مانند مخروط‌افکنه، کارایی دارد و در تحقیقات مشابه دیگر می‌توان بدون محدودیت از آن استفاده کرد (شکل ۹(ب)).

بیشتری شود، دقت تشخیص بالاتر می‌رود. برای نمونه، مخروط‌افکنه‌ای را در نظر بگیرید، مهم‌ترین ویژگی‌های آن شکل تقریباً به مخروط است. افزون بر شکل هندسی مخروط، شیب و همسایگی آن با گردنه خروجی کوهستان از مواردی است که می‌تواند سبب افزایش بار مفهومی آن در تشخیص خودکار شود. در این تحقیق نیز، مورفولوژی مخروط‌افکنه یا پارامتر شکل آن مهم‌ترین پارامتر تشخیص در عملیات قطعه‌بندی، در محیط شیء‌گرایی E-cognition، تعریف شد که، مطابق شکل ۱۰(ب)، به شناسایی مرز طبیعی و نامنظم آن، تقریباً همان مخروط، انجامیده است. همان‌طور که دیده می‌شود، رأس مخروط طبیعی به سمت دهانه کوهستان و قاعده آن رو به اراضی کم‌شیب، به صورت خودکار، براساس قواعد پیشین، تشخیص داده شد. در این تحقیق، مشخص شد که قطعه‌بندی به روش قدرت تفکیک چندگانه، به دلیل لحاظ کردن معیار مهم ژئومورفولوژیکی مانند «ضریب شکل»^۱، در حیطه دانش ژئومورفولوژی، برای تشخیص ساختار شکلی مخروط‌افکنه و استخراج مرز طبیعی آن مناسب و کاربردی است (شکل ۹(ب)). همچنین، قطعه‌بندی به روش تباین پیکسلی در شناسایی لندفرم‌های خرد مانند آبکندها، خشک‌رودها و کانال‌های گیسویی در سطح مخروط‌افکنه موفق عمل کرده است (شکل ۴).



شکل ۹. مقایسه روش‌های قطعه‌بندی در شناسایی مخروط‌افکنه: (الف) روش تباین پیکسلی؛ (ب) روش قدرت تفکیک چندگانه

1. shape factor
2. region growing

است؛ به عبارت دیگر، صحت نقشه را در حالت بدبینانه اعلام می‌کند. بیشترین و کمترین خطاهای کمیسیون و امیسیون براساس نتایج ارزیابی، به ترتیب، مربوط به کلاس کوهستان و دشت است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که کمترین خطاهای شناسایی به لندفرم‌هایی با بافت نرم و سطوح یکنواختی، همچون دشت، مربوط می‌شود اما بیشترین خطاهای شناسایی به لندفرم‌هایی با بافت خشن و ناهموار، مانند کوهستان، بازمی‌گردد. همچنین از میان انواع پارامترهای کنترل‌کننده در قطعه‌بندی، پارامتر شکل برای شناسایی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی تأثیرگذارتر است چون اولین و مهم‌ترین ویژگی لندفرم‌ها که باعث شناسایی آنها در متن تصاویر فضایی می‌شود، شکل آن است.

۵- منابع

اختصاصی، م.، احمدی، ح.، فیض‌نیا، س.، بوشه، د.، ۱۳۸۳، فرسایش بادی، رخساره‌ها و خسارات آن در حوضه دشت یزد- اردکان، مجله منابع طبیعی ایران، سال ۵۷، شماره ۴، صص. ۵۶۷-۵۸۱.
اکبری، ا.، شکاری بادی، ع.، ۱۳۹۲، پردازش و استخراج اطلاعات از داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از نرم‌افزار ENVI با نمونه‌های کاربردی در علوم زمین، نقشه‌برداری، جغرافیا و محیط‌زیست، انتشارات ماهواره، تهران.
رامشت م.ح.، ۱۳۹۳، نقشه‌های ژئومورفولوژی (نمادها و مجازها)، انتشارات سمت، تهران.
شایان، س.، یمانی، م.، فرج‌زاده اصل، م.، احمدآبادی، ع.، ۱۳۹۱، طبقه‌بندی نظارت‌شده لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی مناطق خشک مرنجاب، سنجش از دور و GIS ایران، سال ۴، شماره ۲، صص. ۱۹-۲۸.

براساس نتایج ارزیابی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که، مطابق شکل ۹(ب)، طبقه‌بندی شیء پایه برمبنای قطعه‌بندی چندگانه، با صحت بیش از ۹۰٪، در شناسایی و طبقه‌بندی ساختار کلی لندفرم مخروط‌افکنه کارآیی دارد ولی مطابق شکل ۹(الف)، قطعه‌بندی تباین پیکسلی در استخراج و شناسایی فرم مخروط موفق عمل نکرده است. با این حال، طبق نتایج نقشه خروجی شکل ۴، همین روش در شناسایی میکرو لندفرم‌های سطح مخروط‌افکنه، مانند آبکندها و کانال‌های گیسویی، کارآیی دارد.

درواقع لندفرم‌ها، در طبقه‌بندی شیء پایه مبتنی بر قطعه‌بندی چندگانه، براساس ویژگی‌های ژئومورفومتری طبقه‌بندی می‌شوند (Gerçek, 2010). بیشترین لندفرم‌هایی که با این روش شناسایی شده‌اند پهنه‌های رسی^۱ یا دق، کوه‌ها، انواع دشت‌سرها و مخروط‌افکنه‌ها بودند.

علت پاسخ بهتر قطعه‌بندی به روش قدرت تفکیک چندگانه، در طبقه‌بندی شیء پایه لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی، این است که روش یادشده فقط از اطلاعات رقومی پیکسل‌های مجزای نامفهوم برای طبقه‌بندی استفاده نمی‌کند بلکه آبجکت‌ها یا اشیای تصویری شناخته‌شده را، که محصول قطعه‌بندی‌اند، به کار می‌برد. این آبجکت‌ها اطلاعات مهم ژئومورفومتری را مانند ضریب شکل، ضریب فشردگی، اندازه و موقعیت نسبی، بافت و روابط همسایگی دربر دارند که باعث ارتقای دقت طبقه‌بندی در روش شیء پایه در این تحقیق شده است. در تحقیق حاضر، برای ارزیابی نقشه لندفرم حاصل از طبقه‌بندی شیء پایه، از دو روش کیفی و کمی استفاده شد. در روش کیفی، از تکنیک هم‌پوشانی و بررسی میزان تطابق لایه‌ها و از سوی دیگر، در روش کمی، از تحلیل‌های ماتریس خطا و شاخص توافق کاپا بهره برده شد. مزایای شاخص کاپا استفاده از کل اعداد ماتریس (نه فقط عناصر قطر اصلی) در ارزیابی‌هاست. از آنجاکه در شاخص کاپا مقدار شانس از صحت کلی حذف می‌شود، همیشه مقدار شاخص کاپا کمتر از دقت کلی

1. clay pan

- Baatz, M. & Schöp, A., 2000, **Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-Scale Image Segmentation**, Heidelberg university, Germany.
- Baatz, M., Hoffmann, C. & Willhauck, G., 2008, **Progressing from Object-Based to Object-Oriented Image Analysis**, available in www.springer.com online with ISBN: 978-3-540-77057-2.
- Brabyn, L., 1998, **GIS Analysis of Macro Landform**, In: Proceedings of the Spatial Information Research Centre's 10th Colloquium, University of Otago, Dunedin, New Zealand, PP. 35-48.
- Crozier, M.J. & Owen, R.C., 1983, **Terrain Evaluation for Rapid Ecological Survey**, Physical Geography, University of Victoria, Wellington, New Zealand.
- Definiens, A.G., 2006, **User Guide for Definiens Professional 5**, München, Germany.
- Dehn, M., Golger, G. & Dikau R., 2001, **Principles of Semantic Modeling of Landform Structures**, Computer and Geosciences, 27, PP. 1005-1010.
- Dikau, R., Brabb, E.E. & Mark, R.M., 1991, **Landform Classification of New Mexico by Computer**, U.S. Dept. Interior U.S. Geological Survey, Open-file report, U.S.A.
- Dragut, L. & Blaschke, T., 2006, **Automated Classification of Landform Elements Using Object-Based Image Analysis, Geomorphology**, 81, PP. 330-344.
- Dymond, J.R., Derose, R.C. & Harmsworth, G.R., 1995, **Automated Mapping of Land Components from Digital Elevation Data**, Earth Surface Processes and Landforms, 20, PP. 131-137.
- Gerçek, D., 2010, **Object-Based Classification of Landforms Based on their Local Geometry and Geomorphometric Context**, Ph.D. thesis in GIS, Sup: Dr. Vedat, M.E.T University.
- Hammond, E.H., 1954, **Small-Scale Continental Landform Maps**, Annals of the Association of American Geographers AAG, 44, PP. 34-42
- علوی پناه، س.ک.، ۱۳۸۲، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- قنواتی ع.، بهشتی جاوید، ا.، ۱۳۹۲، روش‌ها و تکنیک‌های جدید ترسیم نقشه‌های ژئومورفولوژی، انتشارات جهاد دانشگاهی، تهران.
- گورابی ا.، کریمی، م.، ۱۳۹۱، روشی جدید در استخراج مخروط‌افکنه‌ها از مدل رقومی ارتفاع، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال اول، شماره ۳، صص. ۸۹-۱۰.
- محمدی ن.، آل شیخ، ع.، صداقت، ا.، ملک، م.، ۱۳۸۹، روشی جدید در قطعه‌بندی خودکار تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا برای استخراج خطوط ساحلی، مجله مهندسی دریا، سال ۶، شماره ۱۱، صص. ۳۵-۲۵.
- ملا مهرعلیزاده، ف.، جنتی، م.، شایان، س.، ۱۳۸۴، کارآیی داده‌های سنجش از دور در تهیه نقشه‌های لندفرم و نقش آن در برنامه‌ریزی محیطی، فصلنامه مدرس علوم انسانی، سال ۶، شماره ۴، صص. ۱۴۸-۱۱۱.
- یمانی م.، مقصودی، م.، ۱۳۸۲، بررسی و تحول کانال‌های گیسوبی در سطح مخروط افکنه‌ها (مطالعه موردی: مخروط تنگ‌نویه در سیرجان)، پژوهش‌های جغرافیایی، سال ۳۵، شماره ۴۵، صص. ۱۳۳-۱۰۳.
- Argialas, D.P. & Tzotsos, A., 2004, **Automatic Extraction of Alluvial Fans from Aster L1 Satellite Data and a Digital Elevation Model Using Object-Oriented Image Analysis**, in ISPRS Congress, PP. 1-6.
- Asselen, V. & Seijmonsbergen, S., 2006, **Expert-Driven Semi-Automated Geomorphological Mapping for a Mountainous Area Using a Laser DTM**, Geomorphology, 78, PP. 309-320.
- Australian Curriculum, 2008, **Oxford Big Ideas Geography**, chapter 1: Landforms and Landscapes, Australia, PP.40-53.

- Hammond, E.H., 1964, **Analysis of Properties in Land Form Geography: An Application to Broad-Scale Land Form Mapping**, Annals of the Association of American Geographers AAG, PP. 11–19.
- Haralick, R., Shanmugan, K. & Dinstein, I., 1973, **Textural Features for Image Classification**, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 3, PP. 610–621.
- Hoffmann, A. & Vander Vegt, J.W., 2001, **New Sensor Systems and New Classification Methods: Laser and Digital Camera-Data Meet Object Oriented Strategies**, Geo-Information Systems, 6, PP. 18–23.
- Jensen, J.R., 1986, **Introductory Digital Image Processing**, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Linton, D., 1970, **The Assessment of Scenery as a Natural Resource**, Scottish Geography Magazine, 84, PP. 219–238.
- MacMillan, R.A. & Shary, P.A., 2009, **Landforms and Landform Elements in Geomorphometry**, Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, 33, PP. 227–254.
- Martin, K., Schroeder, W. & Lorensen, B., 2012, **Reference Book for e-Cognition® Developer 8.7.2**, Trimble Germany press, Munich.
- Pike, R.J., Evans, I.S. & Hengl, T., 2009, **Geomorphometry: A Brief Guide**, In: T. Hengl, H.I., Reuter (Eds.), Geomorphometry Concepts, Software, Applications: Developments in Soil Science, Elsevier, Amsterdam, 33, PP. 3–30.
- Ranasingh, A., 2008, **Multi Scale Segmentation Techniques in Object Oriented Image Analysis**, proceeding in ACRS2008, PP. 1–6.
- Scofield, G.B, Pantaleão, R.E. & Negri, G., 2015, **A Comparison of Accuracy Measures for Remote Sensing Image Classification: Case Study in an Amazonian Region Using Support Vector Machine**, International Journal of Image Processing, 9, PP. 11–21.
- Stehman, S.V., 1997, **Selecting and Interpreting Measures of Thematic Classification Accuracy**, Remote Sensing of Environment 62 (1), PP. 77–89.
- Wallace, W.H., 1995, **New Zealand Landforms**, New Zealand Geographer, 11, PP. 17–27.