

استفاده از روشی نوین در طبقه‌بندی چشم اندازه‌های ارضی در پهنه سرزمینی ایران

سینا صلیحی* - استاد مدعو گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی و مخاطرات محیطی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.
قاسم خسروی - استادیار گروه سیستم‌های اطلاعات مکانی و مخاطرات محیطی، واحد لنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۱۱ تأیید نهایی: ۱۳۹۹/۰۷/۱۸

چکیده

بخشی از مطالعات ژئومورفولوژی مختص شناسایی و تفکیک خودکار، نیمه خودکار و ارائه سیستم‌های طبقه‌بندی واحدهای فرمی زمین در مقیاس‌های مختلف است. هر یک از سیستم‌های چشم‌انداز ارضی، خود در برگیرنده تعدادی واحدهای کوچک‌تر یا لندفرم می‌باشند. برخی روش‌ها در مقیاس شناسایی و تفکیک لندفرم‌ها عمل نموده و برخی به تفکیک و طبقه‌بندی چشم‌اندازها مبادرت نموده‌اند. تفکیک چشم‌اندازهای ارضی در طیف گسترده‌ای از مطالعات ژئومورفولوژیک همچون تهیه نقشه‌های ژئومورفولوژی، ارزیابی‌ها و پهنه‌بندی پتانسیل‌های محیطی در زمینه ژئوتوریسم، بهره‌برداری از محیط و توسعه پایدار، جغرافیای اقتصادی، ارزیابی مخاطرات محیطی، تنظیم سند آمایشی کشور و بسیاری بخش‌های دیگر به طور مستقیم و غیر مستقیم دارای کاربرد است. در این پژوهش سعی شده است که یک سیستم نوین در طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ارائه شود، که قابلیت تفکیک و طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی را با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و با در نظر گرفتن سادگی، داشته باشد. بدین منظور از مدل رقومی ارتفاعی سه مولفه ارتفاع، شیب و انحنا، تانژانتی، پلان و نیمرخ، استخراج گردید، از میانگین این سه انحنا، انحنا متوسط استخراج گردید و این سه مولفه مبنای طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی قرار گرفت. در گام بعدی هر یک از سه مولفه فرم‌شناسی فوق‌الذکر، بر اساس ۵ روش آستانه‌گذاری فواصل هندسی، چارکی، شکست‌های طبیعی، انحراف معیار (باند اول تا چهارم) و روش میانگین وزنی به دو بخش تفکیک گردید. سپس هر سه مولفه با یک سیستم ترکیبی، کد گذاری و عرصه سرزمین ایران به ۸ واحد چشم‌انداز ارضی طبقه‌بندی گردید و نتایج به صورت نقشه‌های پهنه‌ای ارائه و تحلیل گردید.

واژگان کلیدی: طبقه‌بندی، چشم‌انداز، زمین، ایران.

مقدمه

سطح زمین به عنوان موزائیکی از واحدهای فرمی مختلف قابل نمایش است که هر یک از این واحدها دارای ویژگی‌های فرم‌شناسی و فرایندی مختص خود می‌باشند. طبقه‌بندی این چشم‌اندازها به واحدهای کوچک‌تر دارای اهمیت زیادی بوده و البته در بسیاری از شاخه‌های علمی کاربردهای وسیعی دارد (مک میلان و همکاران^۱، ۲۰۰۹؛ مینار و ایوانس^۲، ۲۰۰۸). به طور مثال در بخش تدوین قوانین مربوط به حفظ محیط زیست، بایستی این قوانین و مقررات به صورت منطقه‌ای و بر اساس شرایط خاصی تدوین گردد. در نتیجه وجود طبقات ارضی می‌تواند به ارتقای قانونگذاری‌های مربوط به استفاده از زمین و مقررات حفظ و پایش منابع طبیعی و محیط زیست کمک شایانی نماید. از طرف دیگر در بخش مدیریت و مهندسی محیطی و آبخیزداری و همچنین کشاورزی پایدار و مطابق با شرایط محیطی، وجود واحدهای کاری و مطالعاتی منطبق با اکوسیستم‌های محیطی به جای حوزه‌بندی‌های سیاسی و قراردادی در ارتقای کیفی این امور بسیار مفید و موثر است. در نتیجه واحدهای چشم‌انداز اراضی، به عنوان یک واحد مطالعاتی می‌تواند در بخش ژئومورفولوژی و مدیریت محیطی در کنار واحدهای دیگری همچون حوضه‌های آبخیز (که البته بیشتر مورد نظر هیدرولوژیست‌ها است) در بخش‌های پژوهشی و کاربردی شامل آمایش سرزمین و مدیریت محیطی مورد استفاده قرار گیرد.

لندفرم‌ها عوارضی هستند که به طور طبیعی بر روی سطح زمین شکل گرفته‌اند و دارای ویژگی‌های مرتبط با شکل و یا فرم هستند در حالیکه چشم‌اندازها عوارض قابل رویت در یک منطقه که شامل عناصر طبیعی و یا غیر طبیعی هستند. از لحاظ مقیاس چشم‌اندازها دارای مقیاس بزرگتری به نسبت لندفرم‌ها بوده و در هر چشم‌انداز مجموعه‌ای از لندفرم‌های خاص آن شکل می‌گیرند (نانجا و همکاران^۳، ۲۰۱۴). در بسیاری از تعاریف ژئومورفولوژی بر مطالعه و شناسایی واحدهای فرم اراضی تاکید شده است (چورلی و همکاران^۴، ۱۹۶۴؛ لوبک^۵، ۱۹۳۹؛ سامرفیلد^۶، ۱۹۹۱). داشتن اطلاعات در مورد فرم اراضی مهم و ضروری است، به طور مثال، در مطالعات تحول چشم‌اندازها و ارزیابی پتانسیل فرسایش و یا پیش‌بینی‌های مخاطرات طبیعی کاربرد دارد. همچنین در برنامه‌های منطقه‌ای چشم‌اندازها، ارزیابی کاداستری کاربری زمین و مواردی از این دست دارای کاربرد است (پیلویان و کونسنی^۷، ۲۰۱۷). زمین دارای سطحی پیوسته است که دارای چشم‌اندازها و لندفرم‌های مختلفی است. طبقه‌بندی و قطعه‌بندی لندفرم‌های زمین به چندین طبقه و کلاس به هنگام مطالعه و بررسی آن‌ها ضروری است. چشم‌اندازها و لندفرم‌ها معمولاً با سلسله‌مراتبی از مقیاس‌ها و ابعاد، شناسایی و تعیین می‌شوند (هاموند^۸، ۱۹۶۴؛ میجرینک^۹، ۱۹۸۸؛ مولا^{۱۰}، ۱۹۸۸؛ پایک^{۱۱}،

1. MacMillan et al
2. Minar and Evans
3. Nonja et al
4. Chorley et al
5. Lobeck
6. Summerfield
7. Piloyan and Konečný
8. Hammond
9. Meijerink
10. Mulla
1. Pike

۱۹۸۸، ویبل و دلوتو^۱، ۱۹۸۸، دیکائو^۲، ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰؛ گوزتی و ریچنباچ^۳، ۱۹۹۴؛ سوریا نا و دی هوپ^۴، ۱۹۹۴؛ فلز و ماتسون^۵، ۱۹۹۶؛ لیوید و آتکینسون^۶، ۱۹۹۸؛ اشمیت و همکاران^۷، ۱۹۹۸؛ اتزلمولر و سولباک^۸، ۲۰۰۰؛ لیتی^۹، ۲۰۰۱؛ لوسیر و همکاران^{۱۰}، ۲۰۰۳). به‌رغم محبوبیت و عمومیت در استفاده از DTM در زمینه شناسایی و تشخیص لندفرم‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها، منابع دیگر مانند داده‌های سنجش از دوری (سعادت و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۸؛ اشنیویت و همکاران^{۱۲}، ۲۰۰۸)، عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافیکی (بنایی^{۱۳}، ۱۹۹۳) نیز مدنظر قرار گرفته است. بیشتر طبقه‌بندی‌های خودکار لندفرم‌ها، که از طبقه‌بندی مفهومی شیب استفاده می‌کنند، مانند روشی که راثول^{۱۴} (۱۹۶۰) استفاده نمود و اراضی شیب‌دار را به پنج واحد (قله، گردنه، دیواره بالایی، میانی، و پاشنه شیب) تقسیم کرد، از مفاهیم ارائه شده توسط مایلن^{۱۵} (۱۹۳۵)، ارتقا یافته توسط راثول و والکر^{۱۶} (۱۹۶۸) و نیز هاگت^{۱۷} (۱۹۷۵) بهره برده‌اند. روش‌های طبقه‌بندی بسیاری نیز ارائه شده‌اند، مانند روش اسکیدمور و همکاران^{۱۸} (۱۹۹۱)، که با استفاده از اندازه‌گیری فاصله افقی و عمودی بین خط‌الرأس‌ها و کانال‌ها چشم‌اندازها را طبقه‌بندی می‌کنند. یا اشمیت و دیکائو^{۱۹} (۱۹۹۹) که براساس موقعیت نسبی چشم‌اندازها به نسبت رتبه آبراهه کانالی که اراضی بدان زهکش می‌شوند طبقه‌بندی‌ها را انجام می‌دهد. کوناچر و دالریمل^{۲۰} (۱۹۷۷) و اسپایت^{۲۱} (۱۹۹۰) نیز سطوح شیب‌دار را براساس دامنه‌ها و ویژگی‌های کانال به نه واحد طبقه‌بندی کردند. دن و همکاران^{۲۲} (۲۰۰۱) یک رویکرد معنایی برای تشخیص و توصیف لندفرم‌ها ارائه می‌کنند که فرم هندسی، توپوگرافی و تعاریف معنایی را دربر می‌گیرد. مکی و همکاران^{۲۳} (۲۰۰۳) استفاده از اشیای جغرافیایی با درجه بالاتر را به نسبت استفاده از سلول‌ها در پیکربندی و شناسایی ویژگی‌های توپوگرافیک زمین توصیه کردند. آن‌ها همچنین یک استدلال غیرجبری برای نشان دادن سطح عدم قطعیت فازی نتایج به کار بردند. مک میلان و شری^{۲۴} (۲۰۰۹) لندفرم‌ها را به‌عنوان اشیای طبیعی قابل تشخیص توصیف می‌کنند که از نظر فرایندهای فیزیکی که در شکل‌گیری آن‌ها دخالت داشته با یکدیگر متفاوت‌اند. قطعه‌بندی اراضی با استفاده از نرخ انحنا زمین نیز مدنظر قرار گرفته است (رامستد و

2. Weibel and DeLotto

3. Dikau

4. Guzzetti and Reichenbach

5. Suryana and de Hoop

6. Fels and Matson

7. Lloyd and Atkinson

8. Schmidt et.al

9. Etzelmüller and Sulebak

10. Leighty

11. Lucieer et.al

12. Saadat et.al

13. Schneevoigt et.al

14. Banaei

15. Ruhl

16. Milne

17. Ruhl and Walker

18. Huggett

19. Skidmore et.al

20. Schmidt and Dikau

21. Conacher and Dalrymple

22. Speight

23. Dehn et.al

24. Mackay et.al

25. MacMillan and Shary

اتزلمولر^۱، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲). مک میلان و شری^۱ (۲۰۰۹) معتقدند که بیشتر رویکردهای طبقه‌بندی خودکار اراضی به دنبال تکرار سیستم‌ها و روش‌های پذیرفته شده دستی و قدیمی طبقه‌بندی و نقشه‌کشی لندفرم‌ها هستند. این منابع مطابق با این توضیح‌اند: دیکائو و همکاران^۲، ۱۹۹۱؛ دیکائو و همکاران^۳، ۱۹۹۵؛ گلانت و همکاران^۴، ۲۰۰۵؛ هروتین و پرکو^۵، ۲۰۰۹؛ درات و آیسنک^۶، ۲۰۱۲؛ کاراگولا و همکاران^۷، ۲۰۱۷. در این میان، تومر و آندرسون^۸ (۱۹۹۵)، کلارک^۹ (۱۹۸۸)، شری و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۲)، معتقدند که سطح زمین ترکیبی از مؤلفه‌های جبری است که هدف ژئومورفومتری استخراج لندفرم‌های جبری از بسترهای متغیر و مختلف است (مک میلان و شری^۱، ۲۰۰۹). مک میلان و شری^۱ (۲۰۰۹) لندفرم‌ها را آن بخشی از چشم‌اندازها تعریف می‌کنند که نسبتاً از نظر شکل (انحنای پلان و پروفیلی)، شیب (گرادیان شیب)، جهت قرارگیری یا برون‌زد (جهت یا تابش خور شیدی)، رژیم رطوبتی و موقعیت نسبی قرارگیری لندفرم‌ها همگن‌اند. استفاده از پارامترهای سطح زمین به منظور قطعه‌بندی چشم‌اندازها به عناصر لندفرمی را می‌توان در کارهای پیشین اسپایت^{۱۱} (۱۹۶۸) و دیکائو^{۱۲} (۱۹۸۹) یافت. پی شرفت‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی فازی خودکار را برای تشخیص عناصر لندفرمی چشم‌اندازها مدنظر قرار داده است (بروگ و همکاران^{۱۳}، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱؛ اشمیت و هویت^{۱۴}، ۲۰۰۴). تمرکز روش‌های فازی بر روی شناسایی لندفرم‌های خاص (مانند کوه‌ها، دره‌ها، حوضه رودخانه‌ها، و شبکه‌های زهکشی)، عناصر و اجزای لندفرم‌ها (ا شکل هندسی که در شکل‌گیری بخشی یا همه شیب‌ها یا برخی لندفرم‌های خاص دیگر دخالت دارند) و انواع لندفرم‌های دارای تکرار (یک سری از تپه‌ها و دره‌های پشته-ناوه‌ای) است. تمرکز اصلی در این گونه مطالعات بر روی تکنیک‌های فازی در تشخیص و شناسایی اجزای چشم‌اندازهاست. تقریباً همه رویکردهای طبقه‌بندی و تشخیص لندفرم‌ها براساس نمایش موقعیت چشم‌انداز یا شکل و سطح اراضی است (پنوگ و همکاران^{۱۵}، ۱۹۸۷؛ دیکائو^{۱۳}، ۱۹۸۹؛ اسکیدمور و همکاران^{۱۶}، ۱۹۹۱؛ ایروین و همکاران^{۱۷}، ۱۹۹۷؛ اشمیت و دیکائو^{۱۸}، ۱۹۹۸؛ اشمیت و دیکائو^{۱۹}، ۱۹۹۹؛ شری و همکاران^{۱۱}، ۲۰۰۲).

در پژوهش‌های محققان داخلی، رویکرد غالب عمدتاً به شناسایی، تفکیک و طبقه‌بندی عوارض سطح زمین در سطح لندفرم‌ها، تعلق گرفته و کمتر به طبقه‌بندی و تفکیک چشم‌اندازهای ارضی پرداخته شده است. البته لازم به ذکر است که رویکردی که پژوهشگران داخلی در بررسی و مطالعه لندفرم‌ها در پیش داشته‌اند، قابلیت استفاده در شناسایی، تفکیک و طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی را نیز دارا می‌باشد. برخی مطالعات با استفاده از روش‌ها و تکنیک‌های داده‌کاوی سعی در

1. Romstad and Etzelmuller
2. Dikau et.al
3. Dikau, et.al
4. Gallant et.al
5. Hrvatin
6. Drăguț and Eisank
7. Karagulle et.al
8. Tomer and Anderson
9. Clarke
10. Shary et.al
11. Speight
12. Dikau
13. Burrough et.al
14. Schmidt and Hewitt
15. Pennock et.al
16. Skidmore et.al
17. Irvin et.al
18. Schmidt and Dikau
19. Schmidt and Dikau

طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی داشته‌اند (رحمتی و همکاران، ۱۳۹۵)، برخی مطالعات با استفاده از پارامترهای ارتفاع، شیب، جهت و انحناى زمین سعی در شناخت ویژگی‌های لندفرم‌های زمین و طبقه‌بندی آنها نموده‌اند (موسوی و همکاران، ۲۰۰۷)، برخی از پارامترهای ژئومورفومتریک و الگوریتم‌های نیمه خودکار در تشخیص و طبقه‌بندی لندفرم‌های زمین استفاده کرده‌اند (احمد آبادی، ۱۳۸۹)، عده‌ای با استفاده از شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI) به طبقه‌بندی لندفرم‌های زمین پرداخته‌اند (مکرم و نگهبان، ۱۳۹۳)، در تعدادی از پژوهش‌ها منطق فازی در طبقه‌بندی لندفرم‌های ارتفاعات استفاده شده است (مکرم و همکاران، ۱۳۹۳). در سایر رویکردها از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های شی‌گرا در حیطه پردازش تصویر به طبقه‌بندی نیمه خودکار و خودکار لندفرم‌های زمین پرداخته شده است (بهرام و همکاران، ۱۳۹۶؛ حسنی تبار و همکاران، ۱۳۹۴) و نهایتاً تعدادی پژوهش‌ها به استخراج و مشخصه سازی لندفرم‌ها با استفاده از تحلیل‌های چندمقیاسه و شی‌گرا اختصاص یافته است (بهشتی جاوید و همکاران، ۱۳۹۷).

در این پژوهش سعی می‌شود با استفاده از روشی نو، بر اساس مولفه‌های فرم شناسی ارتفاع، شیب و انحناى متوسط زمین و به کمک یک سیستم ترکیبی، به شناسایی، تفکیک و طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی مبادرت گردد.

مبانی نظری

به منظور طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ژئومورفولوژیکی سرزمین ایران از سه مولفه شکل شناسی، ارتفاع، شیب و انحناى متوسط زمین استفاده شده است. در ادامه به توضیح در مورد هر یک پرداخته می‌شود.

محاسبه مولفه‌های ژئومورفولوژیکی

برای تعریف یک سیستم جدید طبقه‌بندی واحدهای چشم‌انداز ارضی، از سه مولفه ژئومورفولوژیک ارتفاع، شیب و انحناى متوسط استفاده شد. ارتفاع از مدل رقومی ارتفاعی به دست می‌آید و شیب و انحناى متوسط از مدل رقومی ارتفاعی مشتق می‌شوند. در ادامه به توضیح در مورد هر یک از آنها پرداخته می‌شود.

شیب زمین

شیب زمین با استفاده از مدل رقومی سطحی (DSM) و تکنیک پنجره متحرک در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی محاسبه گردید. بدین منظور از یک پنجره متحرک با ابعاد ۳ در ۳ پیکسلی و با استفاده از الگوریتم مرسوم محاسبه شیب (روابط ۱ تا ۴) در سیستم اطلاعات جغرافیایی، شیب زمین محاسبه گردید.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

شکل ۱. پنجره متحرک ۳ در ۳ به منظور محاسبه شیب

$$S = \text{ATAN}(\text{rise_run}) * 57.29578 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\text{rise_run} = \sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$[dz/dx] = \frac{(c + 2f + i) - (a + 2d + g)}{8 * x_cellsize} \quad \text{رابطه (۳)}$$

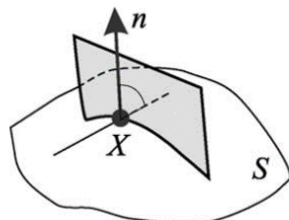
$$[dz/dy] = \frac{(g + 2h + i) - (a + 2b + c)}{8 * y_cellsize} \quad \text{رابطه (۴)}$$

انحنای زمین

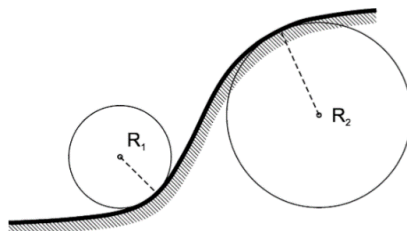
یکی از پارامترهایی که نرخ واگرایی و همگرایی سطوح را در جهات مختلف تعیین می‌کند، انحنای زمین می‌باشد. یک مفهوم مهم در شناسایی وضعیت هندسی انحنای منحنی مماس^۱ بر سطح است (شکل ۲). صفحه قائم، صفحه عمود به انحنایی است که به صورت $1/r$ تعریف می‌شود. شعاع دایره‌ای است که بهترین انطباق را با انحنای در نقطه مفروض دارد (شکل ۳). انحنای k بر صفحه $Z(x)$ از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$k = \frac{\frac{d^2z}{dz^2}}{\left[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{1.5}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

برای محاسبه انحنای یک سطح ناهموار، صفحه‌ای بر روی انحنای قرار داده می‌شود و با استفاده از رابطه (۵) مشتق جزئی اول و دوم انحنای مورد نظر به صورت تابع $f(p, q, r, s, t)$ محاسبه می‌گردد.

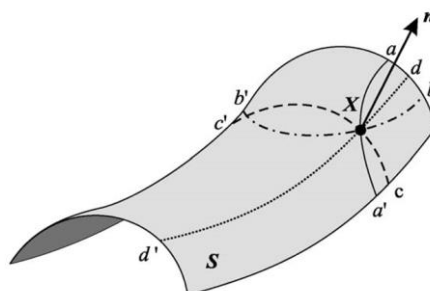


شکل ۲. صفحه عمود بر سطح S در نقطه X انحنایی ناشی از مماس سطح S با صفحه‌ای که به طور عمودی از بردار n عبور کرده و به سطح S متعامد است. شکل فوق یک نمونه از منحنی مماس صفحه و سطح را نشان می‌دهد و با چرخش صفحه، حول محور n می‌توان منحنی‌های مماس بیشتری نیز ایجاد نمود (شری و همکاران، ۲۰۰۲).



شکل ۳. انحنای $1/r$ صفحه منحنی معکوس شعاع دایره‌ای است که بهترین انطباق را با این انحنای در نقطه مفروض دارد. به طور قراردادی در علوم زمین، علامت انحنای برای سطوح محدب مثبت ($R_2 > 0$) و برای سطوح مقعر منفی ($R_1 < 0$) در نظر گرفته می‌شود (شری و همکاران، ۲۰۰۲).

یک راه موثر برای نشان دادن انحناها بر روی شیب، انتخاب برخی جهات خاص است (شری و همکاران، ۲۰۱۲). چهار نوع جهت انتخابی بر روی سطوح وجود دارند که می‌توان از آنها استفاده نمود (شکل ۴). دو نوع از این جهات aa' و bb' (به طور فیزیکی توسط میدان جاذبه زمین تعریف می‌گردند و دو جهت دیگر توسط خود سطح تعریف می‌گردند. به گونه‌ای که حداکثر مقدار انحنای منحنی مماس و da' حداقل مقدار آن می‌باشد. انحنای مربوط به این جهات به عنوان انحنای پروفیل (یا عمودی) و انحنای تانژانتی (یا افقی) می‌توانند به صورت محلی برای برآورد تحدب و تقعر مورد استفاده قرار گیرند.



شکل ۴. چهار جهت نرمال بر روی سطح S، بردار نرمال به سطح S در نقطه X، خط گرادیان، bb' خط کانتور، dd' و cc' منحنی‌های مماس اصلی می‌باشند (شری و همکاران، ۲۰۰۲)

انحنای تانژانتی مقعر نشان دهنده همگرایی و انحنای تانژانتی محدب نشان دهنده واگرایی خطوط جریانی و انحنای پروفیلی محدب نماینده تسریع جریان است. انحنای پروفیلی، تانژانتی، حداکثر و حداقل به ترتیب از منحنی‌های مماس aa' ، bb' ، cc' و dd' به دست می‌آیند. از نشان‌گذاری ذیل برای محاسبه انحنای استفاده می‌گردد (رابطه ۶).

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

مقادیر r ، s و t در ساختار پردازش‌های رستری با پنجره متحرک به ابعاد ۳ در ۳ سطر و ستون (شکل ۵) با استفاده از روابط (۷) تا (۱۶) به دست می‌آیند.

Z1	Z2	Z3
Z4	Z5	Z6
Z7	Z8	Z9

شکل ۵. پنجره متحرک به منظور پردازش رستری با ابعاد ۳ در ۳ سطر و ستون

$$r = \frac{Z_1 + Z_3 + Z_4 + Z_6 + Z_7 + Z_9 - 2 \cdot (Z_2 + Z_5 + Z_8)}{3 \cdot \Delta s} \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$s = \frac{Z_3 + Z_7 - Z_1 - Z_9}{4 \cdot \Delta s^2} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$t = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_7 + Z_8 + Z_9 - 2 \cdot (Z_4 + Z_5 + Z_6)}{3 \cdot \Delta s^2} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x}, q = \frac{\partial z}{\partial y} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$p = \frac{\partial z}{\partial x} = \frac{Z_3 + Z_6 + Z_9 - Z_1 - Z_4 - Z_7}{6 \times \Delta s} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$q = \frac{\partial z}{\partial y} = \frac{Z_1 + Z_2 + Z_3 - Z_7 - Z_8 - Z_9}{6 \times \Delta s} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

با توجه به نشان‌گذاری‌های فوق، انحنای پروفیلی با استفاده از رابطه (۱۳) (یانگ، ۱۹۷۸؛ کرچو، ۱۹۷۳) به دست می‌آید.

$$\text{Profile Curvature} = - \frac{p^2 \cdot r + 2 \cdot p \cdot q \cdot s + q^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

انحنای تانژانتی با استفاده از رابطه (۱۴) (کرچو، ۱۹۸۳؛ شری، ۱۹۹۱؛ میتاسوا و هوفیر، ۱۹۹۳) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Tangential Curvature} = - \frac{q^2 \cdot r - 2 \cdot p \cdot q \cdot s + p^2 \cdot t}{(p^2 + q^2) \cdot \sqrt{(1 + p^2 + q^2)}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

انحنای کانتوری که به انحنای پلان نیز معروف است از رابطه (۱۵) (کرچو، ۱۹۷۳؛ ایوانس، ۱۹۷۲) محاسبه می‌گردد.

$$\text{Plan Curvature} = - \frac{q^2 \cdot r - 2 \cdot p \cdot q \cdot s + q^2 \cdot t}{\sqrt{(1 + p^2 + q^2)^3}} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

انحنای متوسط عبارت از میانگین انحنای متعامد در همه منحنی‌های تماس است که می‌تواند از انحنای پروفیلی، تانژانتی و پلان محاسبه گردد (یانگ، ۱۸۰۵) رابطه (۱۶) روش محاسبه انحنای متوسط را نشان می‌دهد.

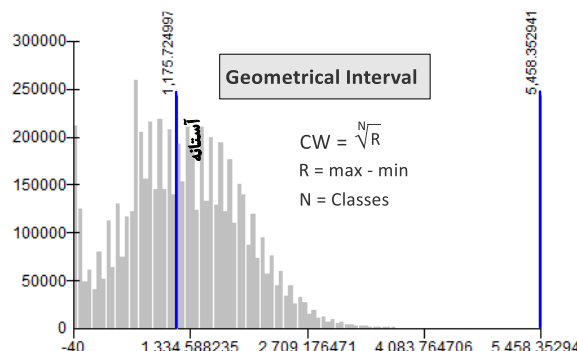
$$\text{Mean Curvature} = \frac{\text{Profile Curvature} + \text{Tangential Curvature} + \text{Plan Curvature}}{3} \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

روش‌های طبقه‌بندی و آستانه‌گذاری زمین-آماري^۱

روش‌های مختلفی در طبقه‌بندی دامنه تغییرات توزیع داده‌ها در علم زمین-آمار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ادامه در مورد مبانی نظری هر یک از روش‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته‌اند، توضیحاتی ارائه می‌شود.

روش طبقه‌بندی فواصل هندسی (Geometrical Interval)

روش طبقه‌بندی فواصل هندسی نوعی الگوی طبقه‌بندی توزیع مقادیر عددی، بر اساس سری هندسی^۲ است. در این طرح طبقه‌بندی، آستانه‌های طبقه‌بندی یا حد بین کلاس‌ها، بر اساس فواصل پی در پی به دست آمده از سری هندسی می‌باشند. این روش طبقه‌بندی، برای نمایش داده‌هایی که کاملاً به صورت نرمال توزیع نشده‌اند مناسب است و یا زمانی که توزیع داده‌ها به شدت دارای چولگی می‌باشند. روش طبقه‌بندی فواصل هندسی، از روش Quantile در نمایش سطوح پیش‌بینی شده، که اغلب دارای توزیع نرمال نمی‌باشند، بهتر است. فواصل هندسی، زمانی که داده‌ها در بخش وسیعی پراکنده شده‌اند و دارای توزیع خوبی نمی‌باشند، بهترین عملکرد را دارد (سایت رسمی شرکت Esri^۳).



شکل ۶. روش طبقه‌بندی فواصل هندسی (Geometrical Interval)، در تعیین آستانه طبقه‌بندی توزیع داده‌های ورودی

روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی (Natural Break)

روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی یک سیستم طبقه‌بندی داده برای بهینه‌سازی آرایش مجموعه‌های داده در کلاس‌های طبیعی (Natural) است. یک کلاس طبیعی بهینه‌ترین دامنه کلاس است که به صورت طبیعی در یک مجموعه داده، می‌توان یافت. دامنه هر کلاس، ترکیبی از آیتم‌های شبیه به هم است که یک گروه طبیعی درون مجموعه داده را تشکیل می‌دهند (جنکس^۴، ۱۹۶۷). این روش طبقه‌بندی به دنبال مینیمم کردن، انحراف متوسط از میانگین کلاس است، به طوری که انحراف از میانگین با سایر کلاس‌ها به ماکزیمم برسد. این روش واریانس درون-گروهی را

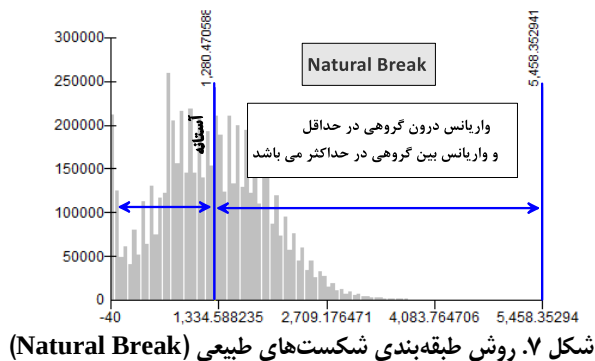
1. Geostatistic

۲- در ریاضیات سری هندسی (Geometric Propagation)، که البته به نام توالی هندسی (Geometric Sequences) نیز شناخته می‌شوند، رشته‌ای از اعداد است که تمامی اعداد بعد از اولین عدد، در عددی ثابت غیر صفر به نام ضریب مشترک (Common Ratio) ضرب می‌شوند.

3. www.Esri.com

4. Jenks

کاهش و واریانس بین گروهی را افزایش می‌دهد. که معمولاً به نام GVF^1 نامیده می‌شود که برابر با تفاضل $SDCM^2$ از $SDAM^3$ می‌باشد (جنکس و کاسپال^۴، ۱۹۷۱).



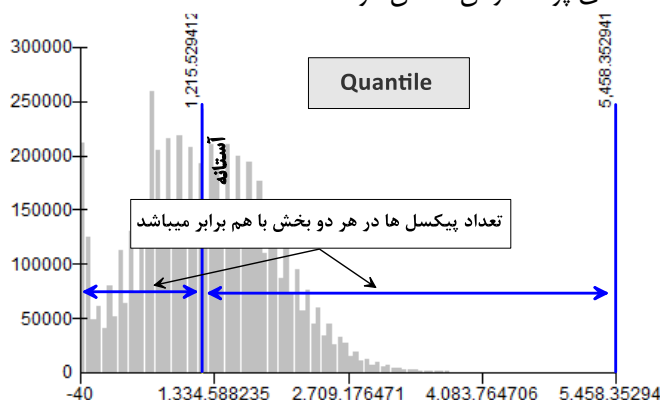
روش طبقه‌بندی چارکی (Quantile)

روش طبقه‌بندی چارکی یک روش طبقه‌بندی داده است که مقادیر عددی را به طوری که دارای تعداد یکسانی باشند در گروه‌هایی طبقه‌بندی می‌کند. رابطه (۲۱)، تعداد داده‌هایی که مطابق با روش Quantile در هر کلاس قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد.

$$Q = \frac{T}{N}$$

رابطه (۲۱)

به طوری که در این رابطه، Q تعداد مشاهدات هر کلاس، T تعداد کل مشاهدات و N تعداد کلاس‌ها می‌باشد. در این روش هیچ کلاسی بدون عضو نخواهد بود و همچنین محدودیتی در حد بالا و پائین تعداد اعضای هر کلاس نیز وجود ندارد (سایت رسمی شرکت Esri). استفاده از روش طبقه‌بندی Quantile تعداد کلاس‌ها در بخش بالایی و میانی داده‌ها را یکسان در نظر می‌گیرد. هر کلاس به طور یکسان نمایش داده می‌شود و محاسبه کلاس‌ها از لحاظ محاسباتی ساده است. روش طبقه‌بندی چارکی در مواقعی که با داده‌های ترتیبی^۵ روبه‌رو هستیم، بسیار مفید و موثر هستند. هنگام استفاده از روش طبقه‌بندی چارکی بین داده‌ها امکان ایجاد فاصله^۶ وجود دارد. که این فواصل خالی بعضاً می‌توانند منجر به وزن‌دهی بیش از حد به داده‌های پرت^۷ در آن کلاس گردد.

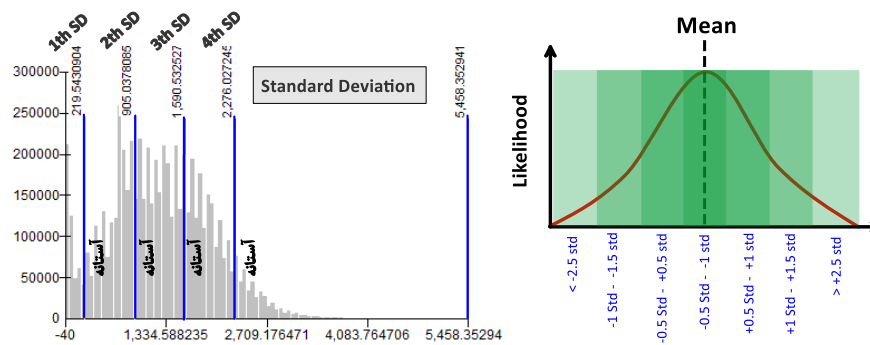


1. Goodness of Variance Fit (GVF)
2. sum of squared deviations for class means
3. sum of squared deviations for array mean
4. Jenks and Caspall
5. Ordinal
6. Gap
7. Outlier

شکل ۸. روش طبقه‌بندی چارکی (Quantile)

روش طبقه‌بندی بر اساس باندهای انحراف معیار (Standard Deviation)

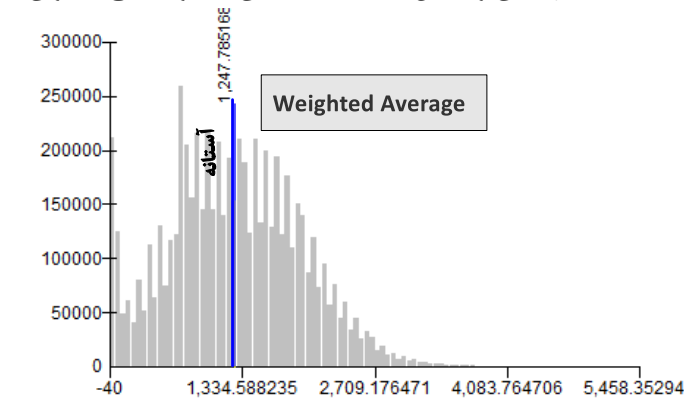
روش طبقه‌بندی انحراف معیار، ابتدا متوسط مشاهدات را محاسبه نموده و سپس $\frac{0}{25}$ ، $\frac{1}{5}$ و $\frac{3}{4}$ انحراف معیار بالاتر و پائین‌تر از میانگین داده‌ها را به عنوان آستانه طبقه‌بندی مد نظر قرار می‌دهد. این روش طبقه‌بندی نشان می‌دهد که چه میزان داده‌ها حول میانگین نوسان دارند. شکل (۹) نمونه‌ای از طبقه‌بندی به روش انحراف معیار را نشان می‌دهد (سایت رسمی شرکت Esri).



شکل ۹. روش طبقه‌بندی انحراف معیار (Standard Deviation)

روش طبقه‌بندی بر مبنای میانگین وزنی (Weighted Average)

در این روش حد آستانه کلاس با استفاده از مقدار میانگین وزنی محاسبه و تعیین می‌گردد. در شکل (۱۰) روش آستانه‌گذاری با استفاده از تعیین میانگین وزنی داده‌ها نشان داده شده است. به دلیل تمایلی که میانگین وزنی به بخش با فرکانس بالای داده‌ها دارد، از لحاظ ترسیمی و منطق طبقه‌بندی فضایی، معمولاً نتایج مطلوبی در پی دارد.

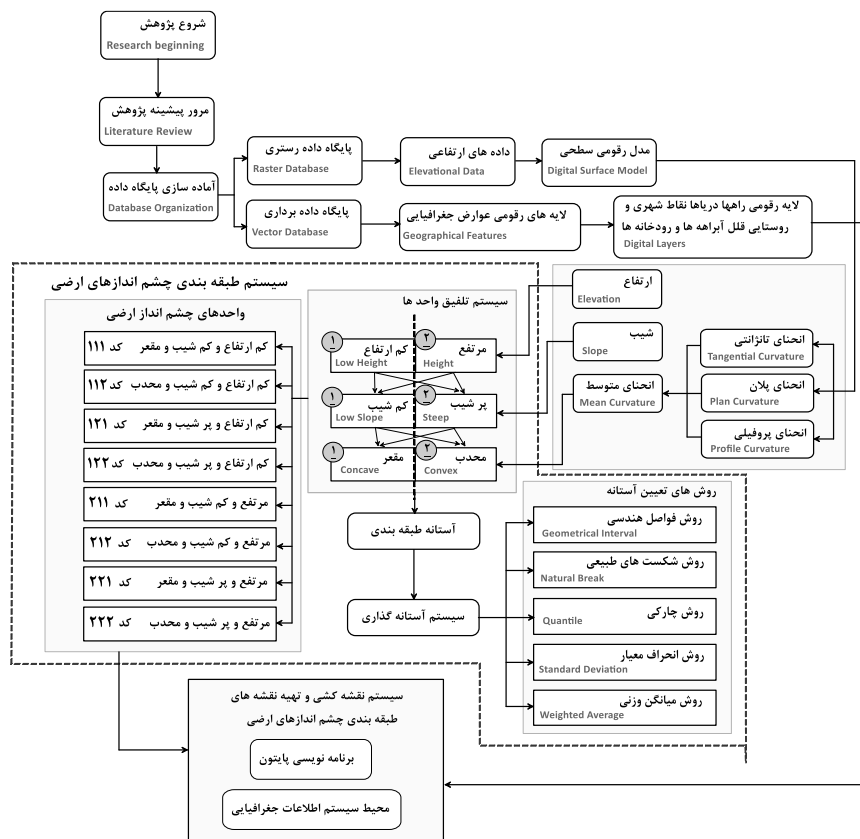


شکل ۱۰. روش طبقه‌بندی بر اساس میانگین وزنی (Weighted Average)

مواد و روش‌ها

مراحل شماتیک و خلاصه شده‌ای از مراحل پژوهش در شکل (۱۰) نشان داده شده است. در بخش نخست، پایگاه داده در دو بخش پایگاه داده رستری و برداری، تهیه و تنظیم گردید. پایگاه داده رستری شامل داده‌های ارتفاعی است که شامل مدل رقومی سطحی می‌گردد که در حال حاضر دقیق‌ترین اطلاعات ارتفاعی سطح زمین را در مقیاس رایگان و

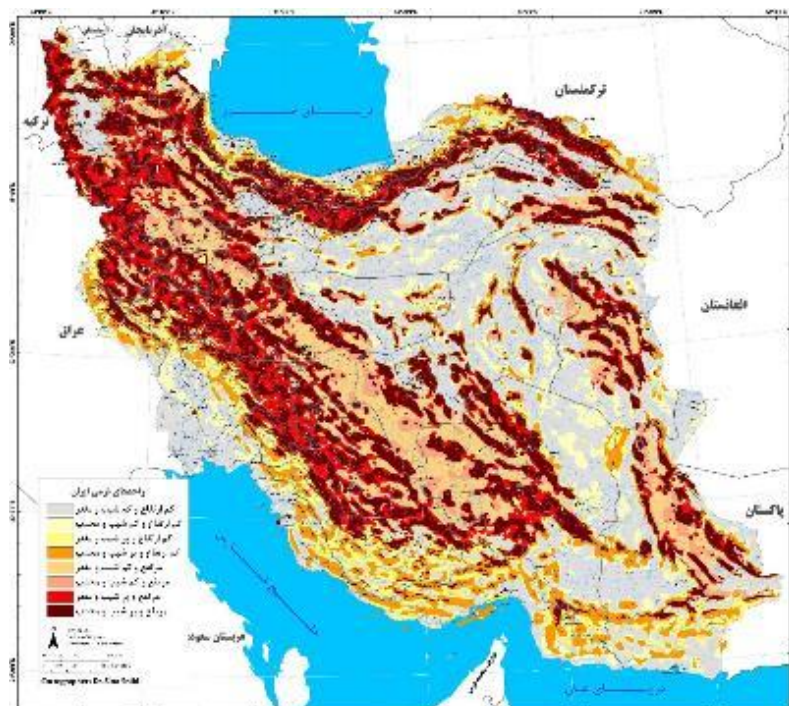
جهانی در دسترس قرار می‌دهد. داده‌های رقومی سطحی^۱ منتشر شده توسط آژانس فضایی ژاپن در ماه می و اکتبر ۲۰۱۵ با رزولوشن افقی در حدود ۲۳ متر به منظور استفاده در طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی مورد استفاده قرار گرفت. این داده‌ها از تصاویر ماهواره ALOS به دست آمده (تاکاکو و همکاران^۲، ۲۰۱۴) که از شبکه داده‌های رقومی سطحی با قدرت تفکیک مکانی پنج متر و با پوشش جهانی استخراج شده که در حال حاضر دقیق‌ترین داده‌های ارتفاعی در مقیاس بزرگ‌اند (تادونو و همکاران^۳، ۲۰۱۴). در تنظیم نقشه‌های نهایی و به منظور ارتقای کیفیت کارتوگرافیکی، پایگاه داده برداری شامل لایه‌های رقومی مربوط به عوارض جغرافیایی مانند: راه‌ها، مرزهای سیاسی کشور و استان‌ها، لایه مربوط به موقعیت نقاط شهری و روستاها، مورد استفاده قرار گرفت. برای تدوین سیستم طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی، از سه مولفه ژئومورفولوژیک شامل ارتفاع، شیب و انحنای متوسط استفاده گردید که هر سه از مدل رقومی سطحی استخراج شدند. انحنای متوسط از میانگین انحنای تانژانتی، پلان و پروفیلی به دست آمد. نقشه شیب نیز از مدل رقومی سطحی استخراج گردید. در گام دیگر، یک سیستم طبقه‌بندی جدید در طبقه‌بندی واحدهای چشم‌انداز ارضی تدوین و تنظیم گردید. بدین منظور ارتفاع، شیب و انحنای متوسط هر کدام بر اساس سیستم‌های آستانه‌گذاری مختلفی به دو بخش تقسیم گردید که مجموعاً هشت واحد چشم‌انداز را ایجاد نمود. این واحدها شامل مرتفع و کم ارتفاع، پر شیب و کم شیب و محدب و مقعر می‌باشد. در تعیین آستانه طبقه‌بندی در مورد هر یک از این مولفه‌ها از ۵ سیستم طبقه‌بندی استفاده گردید که شامل روش فواصل هندسی، شکست‌های طبیعی، چارکی، انحراف معیار و میانگین وزنی می‌گردد که قبل‌تر در مورد هر یک از این روش‌ها توضیحاتی ارائه شده است. در نهایت با استفاده از هر یک از سیستم‌های آستانه‌گذاری فوق، نقشه‌های مربوط به طبقات واحدهای چشم‌انداز ارضی ایران با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون 2.x خودکار سازی و در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.3 خروجی گرفته شد. در شکل (۱۱) خلاصه‌ای از مراحل اصلی پژوهش به صورت شماتیک تصویر شده است.



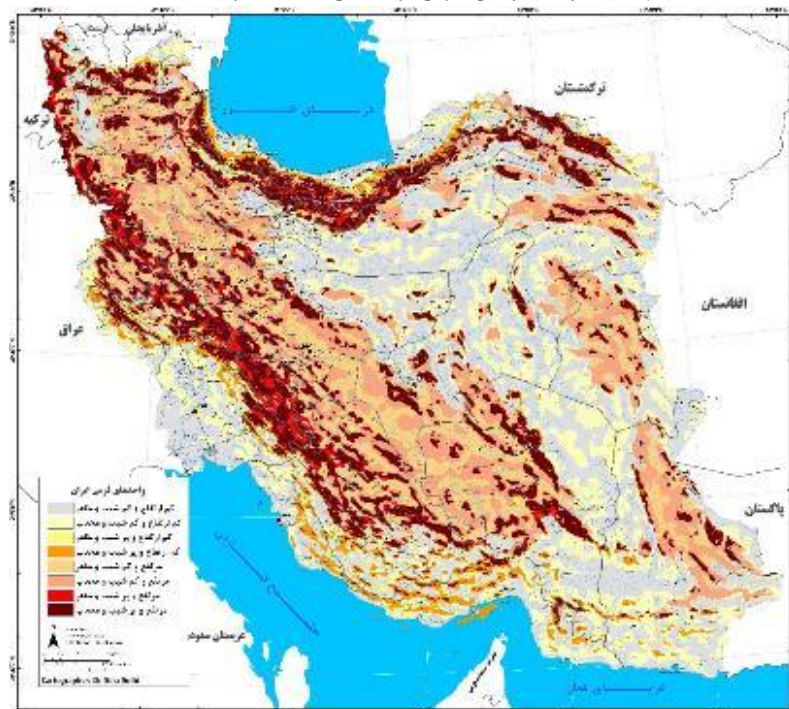
شکل ۱۱. فلوچارت مراحل پژوهش

بحث و یافته‌ها

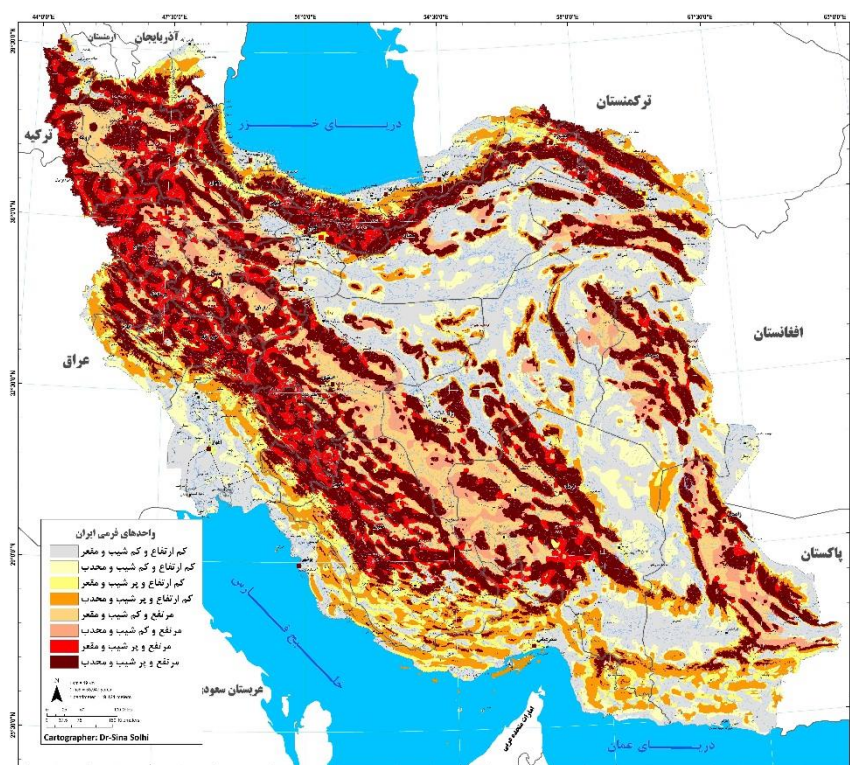
با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش روش پژوهش، ۸ نقشه طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی کشور ایران در قالب نقشه پهنه‌ای ارائه گردید که در ۱ شکل (۱۲ تا ۱۸) نمایش داده شده است. هر نقشه شامل ۸ واحد چشم‌انداز ارضی می‌گردد که از ترکیب ۳ فاکتور فرمی شامل: ارتفاع، شیب و انحنای متوسط تشکیل شده‌اند. اختلاف بین هر سیستم طبقه‌بندی، مربوط به روشی است که در آستانه‌گذاری این ۳ فاکتور فرمی انجام گرفته است.



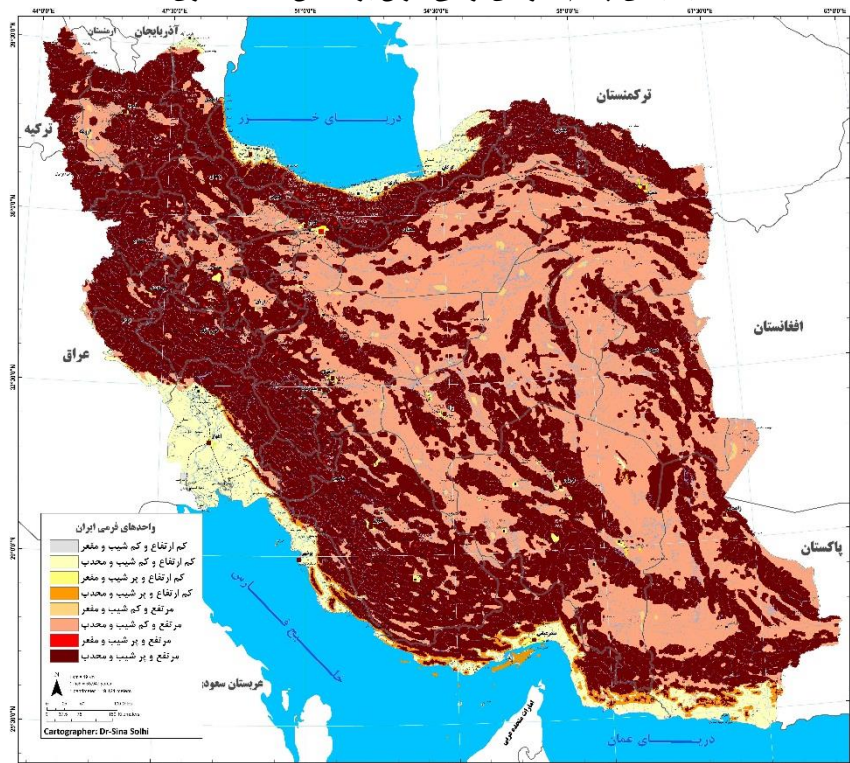
شکل ۱۲. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری Geometrical Interval



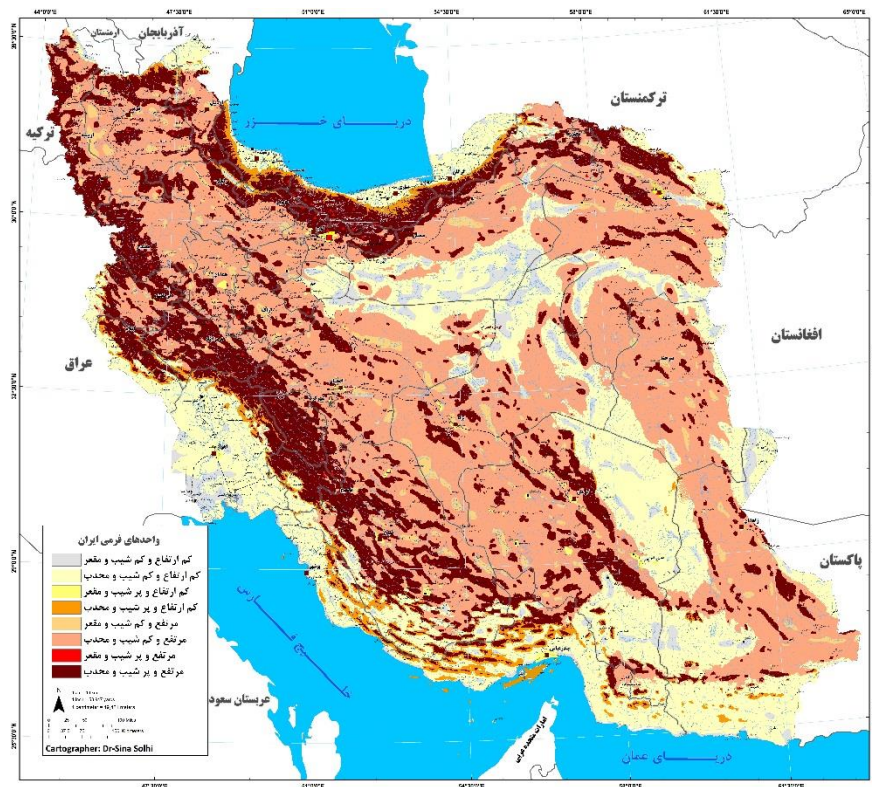
شکل ۱۳. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری Natural Break



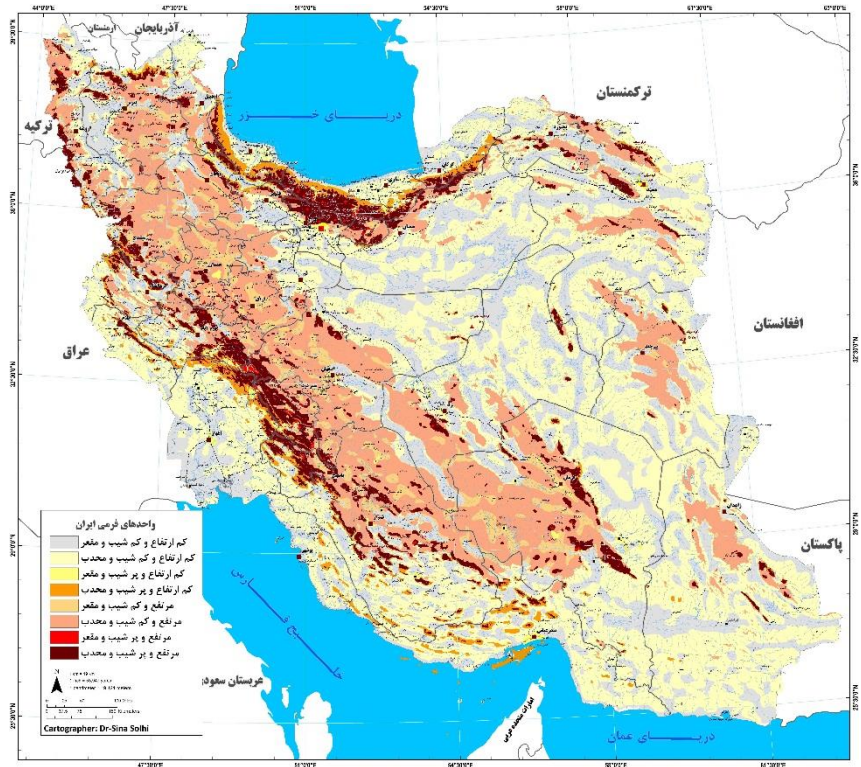
شکل ۱۴. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری کوانتیل



شکل ۱۵. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری Standard Deviation اول



شکل ۱۶. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری Standard Deviation دوم



شکل ۱۷. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی ایران بر اساس آستانه‌گذاری Standard Deviation سوم

انحراف معیار نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد. روش آستانه‌گذاری شکست‌های طبیعی به نسبت فواصل هندسی، در بخش بالای دامنه عددی سختگیرانه‌تر عمل می‌کند که در نتایج به خوبی این موضوع قابل ملاحظه می‌باشد (شکل ۱۲ و ۱۳). روش چارکی نتایجی مشابه روش فواصل هندسی ارائه می‌دهد با این تفاوت که روش فواصل هندسی در دامنه تغییرات بالا، سختگیرانه‌تر عمل می‌کند. روش‌های انحراف معیار در کل کارایی خوبی در تفکیک طبقات و واحدهای چشم‌انداز ارضی نشان نمی‌دهند ولی در کل باند انحراف معیار دوم و سوم، به نسبت نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌دهد. در نهایت نتایج به دست آمده از روش میانگین وزنی، عملکرد قابل قبولی داشته و عملکردی در میانه روش‌های فواصل هندسی و شکست‌های طبیعی دارد. جداول (۱) و (۲) نحوه عملکرد هر یک از سیستم‌های پیشنهادی را نشان می‌دهد. جدول (۳) کد و علائم اختصاری کلاس‌های چشم‌انداز را نمایش می‌دهد و جدول (۴) کاربردهای عمومی و اختصاصی هر یک از سیستم‌های ارضی را به طور فهرستی ارائه می‌کند.

جدول ۱. معرفی و توضیح در مورد هر یک از روش‌های طبقه‌بندی چشم‌انداز پیشنهادی

سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز	نام لاتین	نام اختصاری	کلاس چشم‌انداز ارضی	کد کلاس چشم‌انداز	نحوه عملکرد
سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش میانگین وزنی	Weighted Mean Landform Classification System	WMLCS	LH-LS-CC	۱۱۱	این روش با استفاده از میانگین وزنی آستانه طبقه‌بندی برای مولفه‌های شیب، ارتفاع و انحنای زمین را تعیین می‌کند. به دلیل تمایلی که این روش به بخش با فراوانی بالاتر داده‌ها دارد، از لحاظ سطحی، نتایج مطلوبی در بر دارد.
			LH-LS-CV	۱۱۲	
			LH-HS-CC	۱۲۱	
			LH-HS-CV	۱۲۲	
			HH-LS-CC	۲۱۱	
			HH-LS-CV	۲۱۲	
			HH-HS-CC	۲۲۱	
			HH-HS-CV	۲۲۲	
سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از باند انحراف معیار	Standard Deviation Landform Classification System	SDLCS1,2,3,4	LH-LS-CC	۱۱۱	روش طبقه‌بندی انحراف معیار ابتدا متوسط مشاهدات را محاسبه نموده و سپس ۰/۲۵، ۰/۵ و ۱ انحراف معیار بالاتر و پائین‌تر از میانگین داده‌ها را به عنوان آستانه طبقه‌بندی مد نظر قرار می‌دهد. در این بخش هر چهار باند انحراف معیار به عنوان آستانه طبقه‌بندی در مورد هر یک از پارامترهای ارتفاع، شیب و انحنای مورد استفاده قرار می‌گیرد.
			LH-LS-CV	۱۱۲	
			LH-HS-CC	۱۲۱	
			LH-HS-CV	۱۲۲	
			HH-LS-CC	۲۱۱	
			HH-LS-CV	۲۱۲	
			HH-HS-CC	۲۲۱	
			HH-HS-CV	۲۲۲	
			LH-LS-CV	۱۱۲	

جدول ۲. معرفی و توضیح در مورد هر یک از روش‌های پیشنهادی طبقه‌بندی چشم‌انداز

سیستم طبقه- بندی چشم- انداز	نام لاتین	اختصاری	کلاس چشم انداز ارضی	چشم‌انداز کلاس	نحوه عملکرد
سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش چارکی	Quantile Landform Classification System	QLCS	LH-LS-CC	۱۱۱	در روش چارکی تعداد پیکسل‌هایی که در هر گروه قرار می‌گیرد با یکدیگر برابر می‌باشد در نتیجه منجر به توزیع مطلوب اراضی در کلاس‌ها می‌گردد.
			LH-LS-CV	۱۱۲	
			LH-HS-CC	۱۲۱	
			LH-HS-CV	۱۲۲	
			HH-LS-CC	۲۱۱	
			HH-LS-CV	۲۱۲	
			HH-HS-CC	۲۲۱	
			HH-HS-CV	۲۲۲	
سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش شکست‌های طبیعی	Natural Break Classification System	NBLCS	LH-LS-CC	۱۱۱	در این روش، واریانس درون-گروهی مینیمم و واریانس بین گروهی ماکزیمم می‌گردد. در نتیجه آستانه طبقه‌بندی در موقعیتی تعیین می‌شود که بیشترین شباهت درون گروهی و بیشترین عدم شباهت بین گروهی ایجادگردد. این موضوع به خوبی در تفکیک چشم‌اندازها موثر و مفید است و نتایج مطلوبی از این سیستم حاصل می‌شود.
			LH-LS-CV	۱۱۲	
			LH-HS-CC	۱۲۱	
			LH-HS-CV	۱۲۲	
			HH-LS-CC	۲۱۱	
			HH-LS-CV	۲۱۲	
			HH-HS-CC	۲۲۱	
			HH-HS-CV	۲۲۲	
سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از فواصل هندسی	Geometrical Interval Classification System	GILCS	LH-LS-CC	۱۱۱	روش طبقه‌بندی فواصل هندسی، نوعی الگوی طبقه‌بندی توزیع مقادیر عددی، بر اساس سری هندسی است. در این طرح طبقه‌بندی، آستانه‌های طبقه‌بندی یا حد بین کلاس‌ها، بر اساس فواصل پی در پی به دست آمده از سری هندسی می‌باشند. این روش طبقه‌بندی، برای نمایش داده‌هایی که کاملاً به صورت نرمال توزیع نشده‌اند مناسب است و یا زمانی که توزیع داده‌ها به شدت دارای چولگی می‌باشند.
			LH-LS-CV	۱۱۲	
			LH-HS-CC	۱۲۱	
			LH-HS-CV	۱۲۲	
			HH-LS-CC	۲۱۱	
			HH-LS-CV	۲۱۲	
			HH-HS-CC	۲۲۱	
			HH-HS-CV	۲۲۲	

جدول ۳. نام، نام اختصاری و کد کلاس‌های چشم‌انداز ارضی

نام کلاس‌های چشم‌انداز ارضی	نام اختصاری کلاس چشم- انداز	کد کلاس چشم‌انداز ارضی
کم ارتفاع و کم شیب و مقعر	LH-LS-CC	۱۱۱
کم ارتفاع و کم شیب و محدب	LH-LS-CV	۱۱۲
کم ارتفاع و پر شیب و مقعر	LH-HS-CC	۱۲۱
کم ارتفاع و پر شیب و محدب	LH-HS-CV	۱۲۲
مرتفع و کم شیب و مقعر	HH-LS-CC	۲۱۱
مرتفع و کم شیب و محدب	HH-LS-CV	۲۱۲
مرتفع و پر شیب و مقعر	HH-HS-CC	۲۲۱
مرتفع و پر شیب و محدب	HH-HS-CV	۲۲۲

جدول ۴. کاربردهای عمومی و اختصاصی روش‌های پیشنهادی طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی

کاربردهای مشترک یا عمومی	کاربردهای اختصاصی	نام اختصاری	نام لاتین	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز
۱- مدیریت مراتع و آبخیزداری ۲- تعیین مراتع بیابانی و قشلاقی، اعلام مراتع ممنوعه و محدودیت‌های مربوط به قرق سراب رودخانه‌ها ۳- طرح‌های حفظ و نگهداری و حراست از میراث و منابع طبیعی، مناسب به منظور استفاده در مدیریت حوضه‌های کوهستانی، دشتی و پایکوهی و حوضه‌های انتهایی و پست و ساحلی ۴- تعریف و تعیین توان اکولوژی یک بر مبنای مولفه‌های ژئومورفولوژی در بخش ژئومورفولوژی و مدیریت محیطی	۱- مدیریت یک‌چار چه در بخش‌های سراب، پایاب و حوضه‌های انتهایی ۲- تعیین سیاست‌های زمین در تمامی واحدهای ژئومورفیک	WMLCS	Weighted Mean Landform Classification System	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش میانگین وزنی
۵- تعیین توان محیطی ژئوتوریستی طبقات چشم‌انداز ارضی ایران و تدوین برنامه جامع مدیریت گردشگری طبیعی ۶- مدیریت منابع آب‌های سطحی و زیرسطحی ۷- مدیریت انرژی و تدوین نظام قیمت‌گذاری انرژی بر مبنای طبقات چشم‌انداز ارضی ۸- طرح‌های آمایش کشاورزی و تعیین الگوی کشت بر مبنای طبقات چشم‌انداز ارضی ایران ۹- تعریف سند آمایش چشم‌انداز-های ارضی ۱۰- مطالعات مربوط به طبقه‌بندی لندفرم‌ها در هر یک از چشم‌اندازهای ارضی ۱۱- مدیریت ریسک مخاطرات طبیعی	۱- استفاده از باند انحراف معیار ۱ به منظور تعیین سیاست‌های ارضی با تاکید بر واحد ژئومورفیک کوهستان ۲- باند دوم و سوم مطابق با توضیحات روش WMLCS و باند چهارم با تاکید بر سایت‌های کوهستانی خاص و سراب رودخانه‌های اصلی	SDLCS ^{1,2,3,4}	Standard Deviation Landform Classification System	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از باند انحراف معیار
۱- مطابق با توضیحات روش WMLCS و دارای قابلیت بیشتر در تمرکز بر چشم‌اندازهای ارضی واحد ژئومورفیک کوهستان ۲- توزیع متناسب واحدهای چشم‌انداز در واحدهای ژئومورفیک و قابلیت مدیریت همگن در بخش مدیریت یک‌چارچه	۱- مطابق با کاربردهای ارائه شده در مورد روش WMLCS ۲- دارای کاربردهای بینابینی روش QLCS و GILCS ۳- تمرکز کمتر بر کلاس‌های چشم‌انداز ارضی واحد ژئومورفیک کوهستان و تمرکز بیشتر بر کلاس‌های چشم‌انداز ارضی واحد ژئومورفیک دشت‌سر و دشت و دشت‌های میانکوهی و تناسب بیشتر در مدیریت آبخوان	QLCS	Quantile Landform Classification System	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش چارکی
۱- مطابق با کاربردهای مطرح شده در مورد روش‌های QLCS و WMLCS تا حدودی NBLCS ۲- کارکرد و کاربرد متناسب در مطالعات سراب و پایاب ۳- کاربرد مطلوب در تفکیک مناطق ممنوعه و اراضی ملی و حفاظت شده	۱- منطبق با کاربردهای ارائه شده در مورد روش WMLCS ۲- دارای کاربردهای بینابینی روش QLCS و GILCS ۳- تمرکز کمتر بر کلاس‌های چشم‌انداز ارضی واحد ژئومورفیک کوهستان و تمرکز بیشتر بر کلاس‌های چشم‌انداز ارضی واحد ژئومورفیک دشت‌سر و دشت و دشت‌های میانکوهی و تناسب بیشتر در مدیریت آبخوان	NBLCS	Natural Break Classification System	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش شکست‌های طبیعی
	۱- دارای کاربردهای مطرح شده در مورد روش‌های QLCS و WMLCS و تا حدودی NBLCS ۲- کارکرد و کاربرد متناسب در مطالعات سراب و پایاب ۳- کاربرد مطلوب در تفکیک مناطق ممنوعه و اراضی ملی و حفاظت شده	GILCS	Geometrical Interval Classification System	سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش فواصل هندسی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با روشی نوین به طبقه‌بندی چشم‌اندازهای زمین پرداخته شد. در سیستم تدوین شده از مولفه‌های موثر و تاثیرگذار فرم‌شناسی استفاده شد. از روش‌های آستانه‌گذاری زمین‌آماری شامل روش‌های میانگین وزنی، باندهای انحراف معیار، روش چارکی، روش شکست‌های طبیعی و فواصل هندسی در تعیین آستانه مناسب استفاده شد و نتایج به دست آمده از هر روش ترسیم و مورد بررسی قرار گرفت. در نتیجه ۵ سیستم طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی شامل سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش میانگین وزنی (WMLCS)^(۱)، سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از باندهای انحراف معیار اول تا چهارم، (SDLCS)^(۲)، سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش چارکی (QLCS)^(۳)، سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از روش شکست‌های طبیعی (NBLCS)^(۴) و سیستم طبقه‌بندی چشم‌انداز با استفاده از فواصل هندسی (GILCS)^(۵)، پیکربندی، طراحی و ارائه گردید نحوه عملکرد هر یک از روش‌ها و سپس برخی از کاربردهای عمومی و اختصاصی روش‌های پیشنهادی مطرح شدند و به ازای هر روش پیشنهادی نقشه طبقات چشم‌اندازهای ارضی ایران تهیه و ترسیم و ارائه گردید. سیستم‌های طبقه‌بندی چشم‌اندازهای زمین با سیستم ترکیبی ارائه شده در این پژوهش که بر یک ساختار کاملاً فرم‌شناسی قرار دارد، به ارتقای روش‌های طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی در ژئومورفولوژی کمک می‌نماید و نتایج به دست آمده در بخش‌های متنوعی همچون برنامه‌ریزی محیطی و برنامه‌های آمایش سرزمین و سند چشم‌انداز، قابلیت استفاده خواهند داشت. طبقه‌بندی چشم‌اندازهای ارضی از دیدگاه فرم‌شناسی، در ارزیابی توان‌های محیطی، مدیریت محیط‌های ژئومورفولوژیک و بهره‌برداری از توان‌های اکولوژیک هر چشم‌انداز، کاربرد داشته و می‌تواند به ارتقای توان کارکردی علم ژئومورفولوژی در این زمینه بیاورد. به پژوهشگرانی که در آینده قصد پژوهش در این زمینه را دارند، پیشنهاد می‌شود که به تفکیک زیرطبقات و کلاس‌های فرعی هر یک از محیط‌های معرفی شده بپردازند و توان اکولوژیک هر یک از طبقات را بررسی و تحلیل نموده و نیز به معرفی پتانسیل‌ها و محدودیت‌هایی که در هر کلاس وجود دارد، بپردازند که به کاربردی نمودن و تبیین بیشتر موضوع کمک می‌نماید. از طرف دیگر با جایگزینی روش‌های آماری دیگر، به شکوفایی بیشتر این مبحث علمی مبادرت ورزند.

منابع

- احمد آبادی، ع، ۱۳۹۷، استخراج و مشخصه سازی لندفرم‌ها با استفاده از تحلیل‌های چندمقیاسه و شی گرا: منطقه مورد مطالعه دامنه‌های شمالی سبلان، پایان نامه دکتری، به راهنمایی فریبا اسفندیاری درآباد و شهرام روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- بهرامی، م، ۱۳۹۶، کاربرد تکنیک‌های شی‌گرایی پردازش تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی و طبقه‌بندی نیمه اتوماتیک لندفرم‌های آتشفشانی و یخچالی (مطالعه موردی: کوهستان سه‌هند)، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، به راهنمایی بختیار فیضی زاده و مشاوره معصومه رجبی، دانشگاه تبریز، تبریز.
- بهشتی جاوید، ا، ۱۳۹۷، استخراج و مشخصه سازی لندفرم‌ها با استفاده از تحلیل‌های چندمقیاسه و شی گرا: منطقه مورد مطالعه دامنه‌های شمالی سبلان، پایان نامه دکتری، به راهنمایی فریبا اسفندیاری درآباد و شهرام روستایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

1. Weighted Mean Landform Classification System
2. Standard Deviation Landform Classification System
3. Quantile Landform Classification System
4. Natural Break Classification System
5. Geometrical Interval Classification System

- حسنی تبار، م، ۱۳۹۴، کاربرد پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای در طبقه‌بندی خودکار اشکال ناهمواری‌ها (مطالعه موردی: حوضه آبریز شرق دریاچه ارومیه)، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته جغرافیای طبیعی، به راهنمایی خلیل ولی‌زاده کامران و میر اسدالله حجازی و مشاوره محمد حسین رضایی مقدم، دانشاه تبریز، تبریز.
- رحمتی، ا، ۱۳۹۵، ارزیابی کارایی الگوریتم شیء‌گرا در طبقه‌بندی لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی و مدل‌سازی استعداد وقوع آب‌کندها بر اساس تکنیک‌های داده‌کاوی *RF*، *SVM*، *ME* و *BRT* در حوزه آبخیز کشکان-پلدختر، پایان نامه دکتری مهندسی منابع طبیعی - آبخیزداری، به راهنمایی ناصر طهماسبی‌پور و علی حقی زاده، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد.
- مکرم، م، نگهبان، س، ۱۳۹۳. طبقه‌بندی لندفرم‌های زمین با استفاده از شاخص موقعیت توگرافی (*TPI*)، مطالعه موردی: منطقه جنوبی شهرستان داراب، اطلاعات جغرافیایی سپهر، دوره ۲۳، شماره ۹۲، صص ۵۷-۶۵.
- مکرم، م، ۱۳۹۳. استفاده از روش فازی به منظور طبقه‌بندی لندفرم‌ها در ارتفاعات زاگرس، پایان نامه دکتری به راهنمایی عبدالله سیف و مشاوره دینش سازیمورثی، دانشگاه اصفهان، اصفهان.
- Banaei, M.H., 1993. *A report on soil survey, Land classification and irrigation capability for a region located south of the Gorgan River. Tehran.*
- Burrough, P.A., Van Gaans, P.F.M. and MacMillan, R.A., 2000. High-resolution landform classification using fuzzy k-means, *Fuzzy Sets and Systems*, 113(1), pp.37-52.
- Burrough, P.A., Wilson, J.P., Van Gaans, P.F.M. and Hansen, A.J., 2001. Fuzzy k-means classification of topo-climatic data as an aid to forest mapping in the Greater Yellowstone Area, USA, *Landscape Ecology*, 16, pp.523-546.
- Chorley, R.J., Dunn, A.J. and Beckinsale, R.P., 1964. *The History of the Study of Landforms. London.*
- Clarke, K.C., 1988. Scale-based simulation of topographic relief, *American Cartographer*, 15, pp.173-181.
- Conacher, A.J. and Dalrymple, J.B., 1977. The nine-unit land surface model: An approach to pedogeomorphic research, *Geoderma*, 18, pp.1-154.
- Dehn, M., Gartner, H. and Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures, *Computers and Geosciences*, 27, pp.1005-1010.
- Dikau, R., 1989. The application of a digital relief model to landform analysis. In: Raper, J.F. (Ed.), *Three Dimensional Applications in Geographical Information Systems*, Taylor & Francis, London, pp.51-77.
- Dikau, R., 1990. Geomorphic landform modeling based on hierarchy theory. In: Brassel, K., Kishimoto, H. (Eds.), *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling, Department of Geography, University of Zürich, Zürich, Switzerland*, pp.230-239.
- Dikau, R., Brabb, E.E., Mark, R.M. and Pike, R.J., 1995. Morphometric landform analysis of New Mexico. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 101, pp.109-126.
- Drăguț, L. and Eisank, C., 2012. Automated object-based classification of topography from SRTM data, *Geomorphology*, 141, pp.21-33.
- Etzelmüller, B. and Sulebak, J.S., 2000. Developments in the use of digital elevation models in periglacial geomorphology and glaciology, *Physische Geographie*, 41, pp.35-58.
- Fels, J.E. and Matson, K.C., 1996. A cognitively based approach for hydro-geomorphic land classification using digital terrain models, In: *Proceedings of the 3rd International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, NM, January 21-25, 1996, National Centre for Geographic Information and Analysis, Santa Barbara, CA, USA.*
- Gallant, A.L., Douglas, D.B. and Hoffer, R.M., 2005. Automated mapping of Hammond's landforms, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2, pp.384-388.
- Guzzetti, F. and Reichenbach, P., 1994. Toward the definition of topographic divisions for Italy, *Geomorphology*, 11, pp.57-75.
- 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*, 54, pp.11-19.
- Hrvatin, M. and Perko, D., 2009. Suitability of Hammond's method for determining landform units in Slovenia, *Acta Geographica Slovenica*, 49, pp.343-366.
- Huggett, R., 1975. Soil landscape systems: A model of soil genesis, *Geoderma*, 13, pp.1-22.
- Irvin, B.J., Ventura, S.J. and Slater, B.K., 1997. Fuzzy and isodata classification of landform elements from digital terrain data in Pleasant Valley, Wisconsin, *Geoderma*, 77, pp.137-154.

- Jenks, George F, and Fred Caspall., 1971. *Error on Chloroplethic Maps: Definition, Measurement, and Reduction*. *Annals of the Association of American Geographers*, 61(2), pp.217-244.
- Jenks, George F., 1967. *The Data Model Concept in Statistical Mapping*, *International Yearbook of Cartography*, 7, pp.186-190.
- Karagulle, D., Frye, C., Sayre, R., Breyer, S., Aniello, P., Vaughan, R. and Wright, D., 2017. *Modeling global Hammond landform regions from 250 m elevation data*, *Transactions in GIS*, 21, pp.1040-1060.
- Leighty, R.D., 2001. *Automated IFSAR Terrain Analysis System: Final Report*, U.S. Army Aviation & Missile Command, Defense Advanced Research Projects Agency (DoD) Information Sciences Office, Arlington, VA, 59 pp.
- Lloyd, C.D. and Atkinson, P.M., 1998. *Scale and the spatial structure of landform: optimizing sampling strategies with geostatistics*. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation*, University of Bristol, United Kingdom, 17-19 September 1998, University of Bristol, Bristol, UK, 16 pp.
- Lobeck, A.K., 1939. *Geomorphology*, McGraw-Hill. New York.
- Lucieer, A., Fisher, P. and Stein, A., 2003. *Texture-based segmentation of high-resolution remotely sensed imagery for identification of fuzzy objects*, In: *Proceedings of the Seventh International Conference on Geocomputation*, University of Southampton, Southampton, UK, 9 pp.
- Mackay, D.S., Samanta, S., Ahl, D.E., Ewers, B.E., Gower, S.T. and Burrows, S.N., 2003. *Automated parameterization of land surface process models using fuzzy logic*, *Transactions in GIS*, 7, pp.139-153.
- MacMillan, R.A. and Shary, P.A., 2009. *Landforms and landform elements in geomorphometry*. In: T. Hengl and H.I., Reuter (eds) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*, pp.227-254. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- MacMillan, R.A. and Shary, P.A., 2009. *Landforms and Landform Elements in Geomorphometry*. In: T. Hengl H.I., Reuter (Ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, and Applications*. Elsevier, Amsterdam, pp.227-254.
- Meijerink, A.M.J., 1988. *Data acquisition and data capture through terrain mapping units*, *ITC Journal*, 1, pp.23-44.
- Milne, G., 1935. *Some suggested units of classification and mapping particularly for East Africa soils*, *Soil Research*, 4, pp.183-198.
- Minar, J. and Evans, I.S., 2008. *Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping*, *Geomorphology*, 95(3-4), pp.236-259.
- Mousavi, SR., Pirasteh, S., Pradhan, B., Mansor, SH. And Mahmud A.R., 2011. *The Aster DEM Generation for geomorphometric analysis of central alborz mountains*, *Pertanika J. Sci. & Technol.* 19 (S), pp.115 -124.
- Mulla, D.J., 1988. *Using geostatistics and spectral analysis to study spatial patterns in the topography of southeastern Washington State, USA*, *Earth Surface Processes and Landforms*, 13, pp.389-405.
- Nonja, P., Rex, C. and Lergessner, D., 2014. *Geography for the Australian Curriculum Year 8*, Cambridge University Press, ISBN 978-1-107-66606-1.
- Pennock, D.J., Zebarth, B.J. and De Jong, E., 1987. *Landform classification and soil distribution in hummocky terrain, Saskatchewan, Canada*, *Geoderma*, 40, pp.297-315.
- Pike, R.J., 1988. *The geometric signature: quantifying landslide-terrain types from Digital Elevation Models*, *Mathematical Geology*, 20, pp.491-511.
- Piloyan A. and Konečný. M., 2017. *Semi-automated classification of landform elements in armenia based on srtm dem using k-means unsupervised classification*, *Quaestiones Geographicae*, 36(1).
- Romstad B. and Etzelmüller B., 2009. *Structuring the digital elevation model into landform elements through watershed segmentation of curvature*. In: R. Purves, S., Gruber, R., Straumann and Hengl, T., (eds) *Proceedings of Geomorphometry 2009*, pp.55-60. Zurich, Switzerland: University of Zurich.
- Romstad, B. and Etzelmüller, B., 2012. *Mean-curvature watersheds: A simple method for segmentation of a digital elevation model into terrain units*, *Geomorphology*, 139(140), pp.293-302.

- Ruhl, R.V. and Walker, P.H., 1968. Hillslope models and soil formation II: Open systems, In: *Proceedings of the 9th Congress of the International Soil Science Society, Adelaide, Australia*, pp.551-560.
- Ruhl, R.V., 1960. Elements of the soil landscape, In: *Proceedings of the 7th Congress of the International Society of Soil Science, Madison, WI*, pp.32-40.
- Saadat, H., Robert, B., Sharifi, F., Guy, M., Namdar, M. and Ale-Ebrahim, S., 2008. Landform classification from a digital elevation model and satellite imagery, *Geomorphology*, 100, pp.453-464.
- Schmidt, J. and Dikau, R., 1999. Extracting geomorphometric attributes and objects from digital elevation models: Semantics, methods, future needs. In: Dikau, R., Saurer, H., (eds) *GIS for Earth Surface Systems: Analysis a Modeling of the Natural Environment*, Berlin, Germany: Schweizbart'sche Verlagbuchhandlung, pp.153-173.
- Schmidt, J. and Hewitt, A., 2004. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position, *Geoderma*, 121(3-4), pp.243-256.
- Schmidt, J., Hennrich, K. and Dikau, R., 1998. Scales and similarities in runoff processes with respect to geomorphometry, In: *Geocomputation (1998). Proceedings of the 3rd International Conference on GeoComputation, University of Bristol, United Kingdom, 17-19 September 1998*, University of Bristol, Bristol, UK, 20 pp.
- Schmidt, J., Merz, B. and Dikau, R., 1998. Morphological structure and hydrological process modelling, *Zeitschrift für Geomorphologie NF*, 112, pp.55-66.
- Schneevoigt, N.J., Sebastian, V.D.L., Thamm, H.P. and Schrott, L., 2008. Detecting Alpine landforms from remotely sensed imagery, a pilot study in the Bavarian Alps, *Geomorphology*, 93, pp.104-119.
- Shary, P.A., Sharaya, L.S. and Mitusov, A.V., 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis, *Geoderma*, 107, pp.1-32.
- Skidmore, A.K., Ryan, P.J., Dawes, W., Short, D. and O'Loughlin, E., 1991. Use of an expert system to map forest soils from a geographical information system, *International Journal of Geographical Information Systems*, 5, pp.431-444.
- Speight, J.G., 1968. Parametric description of land form, In: Stewart, G.A., (ed.), *Land Evaluation: Papers of a CSIRO Symposium*, Melbourne, Australia, pp. 239-250.
- Speight, J.G., 1990. Landforms, In: MacDonald, R.C., Isbell, R.F., Speight, J.G., Walker, J., Hop, M.S., (eds) *Australian Soil and Land Survey Field Handbook*, pp. 9-57. Melbourne, Australia: Inkata Press.
- Summerfield, M.A., 1991. *Global Geomorphology*, Longman, Harlow, 537 pp.
- Suryana, N. and de Hoop, S., 1994. Hierarchical structuring of terrain mapping units. In: *Proceedings of the Fifth European Conference and Exhibition on Geographic Information Systems, EGIS 94, EGIS Foundation, Utrecht, the Netherlands*, 1, pp.869-877.
- Tadono, T., Ishida, H., Oda, F., Naito, S., Minakawa, K. and Iwamoto, H., 2014. Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Journal of Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2(4), pp.71-76.
- Takaku, J., Tadono, T. and Tsutsui, K., 2014. Generation of High-Resolution Global DSM from ALOS PRISM, *The International Archives of the Photogrammetry, Journal of Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL (4), pp.243-248.
- Tomer, M.D. and Anderson, J.L., 1995. Variation in soil water storage across a sand plain hillslope, *Soil Science Society of America Proceedings*, 54, pp.1091-1100.
- Weibel, R. and DeLotto, J.S., 1988. Automated terrain classification for GIS modeling, In: *Proceedings of GIS/LIS, San Antonio, NM*, pp.618-627.