

جغرافیا و توسعه - شماره ۱۴ - تابستان ۱۳۸۸  
وصول مقاله : ۱۳۸۶/۳/۲  
تأیید نهایی : ۱۳۸۷/۴/۱۱  
صفحات : ۱۰۰ - ۸۳

## طبقه‌بندی زمین‌منظرهای ژئومورفولوژیکی بر اساس

### پارامترهای توپوگرافیکی در محیط GIS

مطالعه‌ی موردی : شمال غرب شهر شیراز

دکتر امیر کرم<sup>۱</sup>

استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت معلم تهران

#### چکیده

پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM)، داده‌های بارزشی در مورد خصوصیات سطحی زمین فراهم می‌آورند. از این پارامترها به عنوان داده‌هایی برای تحلیل زمین در ژئومورفولوژی کمی استفاده می‌شود. با بهره‌گیری از پارامترهای توپوگرافیکی در کنار استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فناوری رایانه‌ای، امکان‌پذیری طبقه‌بندی، ترسیم و تشریح هندسی اشکال ژئومورفولوژیکی فراهم می‌شود. در این بررسی با استفاده از چهار پارامتر توپوگرافیکی (ارتفاع، شیب زمین، انحنای پروفیل و انحنای پلانی متریک) مستخرج از مدل رقومی ارتفاعی زمین و سیستم اطلاعات جغرافیایی و از طریق تکنیک تحلیل داده‌های خود سازمان‌یابنده‌ی تکراری (ISODAT) بخشی از زمین‌منظرهای شمال غرب شهر شیراز از نظر واحدهای ژئومورفولوژیکی طبقه‌بندی شده‌اند. نتایج طبقه‌بندی شامل پنج طبقه (و هفت زمین‌منظر اصلی) یعنی: ۱- کوهستان‌های نسبتاً مرتفع، ۲- مخروطه‌افکنه‌ها و پیکوه‌های مرتفع، ۳- تپه‌های کم‌ارتفاع، ۴- دشت وسطوح هموار و ۵- کوه‌های کم‌ارتفاع و تپه‌های مرتفع است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی مذکور با نقشه‌ی تپه‌های ارضی منطقه‌ی شیراز مقایسه شد و تحلیل نتایج نشان داد که استفاده از پارامترهای توپوگرافیکی و روش تحلیل داده‌های خود سازمان‌یابنده‌ی تکراری (ISODAT) تکنیکی نسبتاً کارآمد و مناسب برای طبقه‌بندی زمین است. این روش آسان، کم‌هزینه، سریع و نسبتاً دقیق است و در اغلب بسته‌های نرم‌افزاری سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی قابل استفاده می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی زمین‌منظر، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ژئومورفولوژی کمی، مدل رقومی ارتفاعی زمین، تحلیل سرزمین، تکنیک تحلیل داده‌های خود سازمان‌یابنده‌ی تکراری، شیراز.

مقدمه

1-Email: aa\_karam@yahoo.com \*\*\* karam@tmu.ac.ir

زمین به عنوان بخشی از سطح تماس، حیطة اصلی مطالعات ژئومورفولوژیکی است و بدیهی است که شناخت و بررسی دقیق آن، در تحلیل و مدل سازی فرم‌ها و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی نقش بسزایی دارد. یکی از وظایف، اهداف ودلمشغولی- های ژئومورفولوژیست‌ها طبقه‌بندی زمین<sup>۱</sup> و تقسیم آن به اشکال ویژه است. بدین منظور سعی می‌شود که سطح پیوستاری زمین به واحدهای فضایی مجزایی با شکل، حجم و توپوگرافی خاص طبقه‌بندی شود. کمی سازی این واحدها نه تنها به عنوان یک هدف (در دهه‌های اخیر) برای توصیف چشم‌انداز، بلکه به عنوان بخشی از مدل سازی فضایی فرآیندهای ژئومورفولوژیکی مورد توجه قرار گرفته است. امروزه نمایش رقومی ارتفاع زمین، چشم‌انداز جدیدی در ژئومورفولوژی کمی<sup>۲</sup> برای شناخت و تبیین تحول ناهمواری‌ها باز نموده و جایگاه و کاربرد ویژه‌ای در تحلیل زمین<sup>۳</sup> جهت درک فرآیندهای شکل‌زایی به خود اختصاص داده است. از دیدگاه ژئومورفولوژیکی سطح زمین را می‌توان حداقل در چهار واحد فرمی یا شکلی به ترتیب از کلان تا خرد شامل چشم‌انداز<sup>۴</sup>، زمین‌منظر<sup>۵</sup>، زمین نما<sup>۶</sup> و فرم ارضی<sup>۷</sup> تقسیم‌بندی نمود و برای این تقسیم‌بندی از داده‌های توپوگرافیکی بهره‌گرفت (رامشت، ۱۳۸۴: ۱۴). پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از مدل رقومی ارتفاعی<sup>۸</sup> زمین (DEM)، اطلاعات با ارزشی را در مورد خصوصیات سطحی زمین فراهم می‌آورند. از جمله پارامترهای توپوگرافیکی مؤثر در شناخت فرم و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی می‌توان به ارتفاع، شیب دامنه، جهت دامنه، انحنای پروفیل<sup>۹</sup> و انحنای پلانی متریک<sup>۱۰</sup> اشاره کرد. جدول (۱) برخی پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از مدل رقومی ارتفاعی زمین را نشان می‌دهد. پارامترهای توپوگرافیکی به عنوان داده‌هایی برای تحلیل و طبقه‌بندی زمین به کار می‌روند. دامنه‌ی کاربرد این داده‌ها وسیع بوده و علاوه بر ژئومورفولوژی، در خاکشناسی، هیدرولوژی، اکولوژی چشم-

- 
- 1- land classification
  - 2- Quantitative geomorphology
  - 3- Terrain analysis
  - 4- Landscape
  - 5- Landview
  - 6- Landfeature
  - 7- Landform
  - 8- Digital elevation model ( DEM )
  - 9- Profile curvature
  - 10- Planimetric curvature

انداز، مسایل نظامی و سایر جنبه‌های علوم زمین نیز کاربرد دارند (گالانت و ویلسون، ۱۹۹۶: ۷۱۴).

جدول ۱: برخی پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از مدل رقومی ارتفاعی

پارامتر (خصیصه)	تعریف	اهمیت و کاربرد
ارتفاع	بلندی از سطح دریا	اقلیم، پوشش گیاهی، پتانسیل انرژی
شیب	گرادیان شیب دامنه	شدت جریان سطحی و زیرسطحی، میزان رواناب، پوشش گیاهی، حجم آب خاک، ژئومورفولوژی، قابلیت زمین
جهت دامنه	امتداد و جهت دامنه نسبت به جهت‌های جغرافیایی	اقلیم، پوشش گیاهی، حجم آب خاک
شیب بالای دامنه	میانگین شیب بخش بالایی دامنه	شدت رواناب
طول مسیر جریان	حداکثر فاصله ی جریان آب از یک نقطه در آبخیز	میزان فرسایش، میزان رسوب‌دهی، زمان تمرکز جریان سطحی
طول حوضه‌ی آبخیز	فاصله‌ی بلندترین نقطه‌ی آبخیز تا خروجی حوضه	وضعیت رواناب سطحی، خصوصیات هیدرولوژیکی
انحنای پروفیل	خمیدگی و انحنای پروفیل دامنه	تمرکز جریان، نرخ فرسایش و رسوب-گذاری، ژئومورفولوژی
انحنای پلانی متریک	خمیدگی و انحنای منحنی میزان	همگرایی و واگرایی جریان آب، حجم آب خاک، خصوصیات خاک

گالانت و ویلسون (۲۰۰۰: ۷) (با تخلص)

امروزه استفاده از مدل رقومی ارتفاعی در قالب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup> (GIS) در کنار پیشرفت فناوری رایانه‌ای، عرصه‌های جدیدی را در ژئومورفولوژی و

1- geographic information system ( GIS )

تحلیل زمین باز نموده. برخی از نرم‌افزارهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی که قابلیت تحلیل زمین بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی زمین را دارند عبارتند از: آرک اینفو<sup>۱</sup>، ایدریسی<sup>۲</sup>، ژئومدیا<sup>۳</sup> و ساگا<sup>۴</sup>. هم‌اکنون در ژئومورفولوژی کمی از مدل رقومی ارتفاعی زمین و پارامترهای توپوگرافیکی استفاده‌های زیادی به عمل می‌آید. در واقع ژئومورفولوژی کمی یا ژئومورفومتری<sup>۵</sup> پلی بین توصیف کیفی اشکال زمین و تحلیل اتوماتیک چشم‌انداز با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی است.

مفهوم توصیف یک چشم‌انداز بر پایه‌ی شاخص‌های هندسی را برای اولین بار پایک<sup>۶</sup> بنا نهاد (پایک، ۱۹۸۸: ۴۹۲). او نشان داد که با یکسری مجموعه اندازه‌گیری‌هایی که فرم توپوگرافیکی زمین را بیان می‌کنند می‌توان چشم‌اندازهای متفاوت را از هم تفکیک کرد. این مفهوم بعداً در عرصه‌ی ژئومورفولوژی توسعه‌ی بیشتری پیدا کرد (گالانت و ویلسون، ۱۹۹۶: ۷۲۲-۷۱۳).

در رابطه با کارهای اولیه، اوانز<sup>۷</sup> سیستم یکپارچه‌ای از تحلیل زمین و نقشه‌کشی شیب دامنه‌ها ارائه نمود (اوانز، ۱۹۸۰: ۲۹۵-۲۷۴). زونبرگن و تورن<sup>۸</sup> یک تحلیل کمی از توپوگرافی سطح زمین ارائه کردند (زونبرگن و تورن، ۱۹۸۷: ۵۶-۴۵). مور<sup>۹</sup> کاربرد مدل‌سازی رقومی زمین در ژئومورفولوژی، هیدرولوژی و بیولوژی را نشان داد (مور، ۱۹۹۱: ۲۰-۱). گالانت و ویلسون برای تحلیل زمین در علوم زیست محیطی یک برنامه‌ی نرم‌افزاری طراحی و پیشنهاد دادند (گالانت و ویلسون، ۱۹۹۶: ۷۲۲-۷۱۳). فردریکسون و دیگران<sup>۱۰</sup> مروری بر روندهای جاری در مدل‌سازی زمینی داشته‌اند (فردریکسون و دیگران، ۱۹۸۵: ۱۰۶-۱۰۱). کوپین<sup>۱۱</sup> با استفاده از مدل رقومی زمینی مسیرهای حرکت آب بر روی دامنه‌ها را پیش‌بینی کرد (کوپین، ۱۹۹۱: ۷۹-۵۹).

2- Arcinfo

3- Idrisi

4- Geomedia

5- Saga

1- Geomorphometry

2- Pike

3- Evans

4- Zevenbergen &amp; Thorne

5- Moore

6- Frederikson, et al

7- Quinn

(. ژانگ و مونتگومری<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به شبیه‌سازی هیدرولوژیکی پرداختند (ژانگ و مونتگومری، ۱۹۹۴: ۱۰۲۸-۱۰۱۹). ایروین<sup>۲</sup> از روش فازی فازی برای طبقه‌بندی زمین بهره گرفت (ایروین، ۱۹۹۷: ۱۵۴-۱۳۷). گیلز<sup>۳</sup> مدل رقومی ارتفاعی را برای طبقه‌بندی شیب‌ها به کار گرفت (گیلز، ۱۹۹۸: ۵۹۴-۵۸۱).

مک‌میلان<sup>۴</sup> لندفرم‌ها را با استفاده از تکنیک فازی طبقه‌بندی کرد (مک‌میلان، ۲۰۰۰: ۳۷-۵۲). کلینگ‌سینز<sup>۵</sup> نیز با استفاده از پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از مدل-رقومی ارتفاعی به طبقه‌بندی اشکال زمین پرداخت (کلینگ‌سینز، ۲۰۰۴: ۹۱-۷۶).

فرض بنیادین ژئومورفولوژی این است که بین فرآیندهای سطحی و خصایص سطحی زمین روابط نزدیکی وجود دارد و این روابط از طریق پارامترهای توپوگرافیکی قابل بیان و تشریح است. لذا به وسیله ترکیب پارامترهای توپوگرافیکی پس از یک فرآیند طبقه‌بندی (طبقه‌بندی ناهمواری‌ها) می‌توان مناطق توپوگرافیکی (واحدهای ناهمواری) را تعریف و استخراج نمود. این تعریف و استخراج از طریق مدل‌سازی فضایی و برقراری روابط فیزیکی یا تجربی بین پارامترهای توپوگرافیکی و فرآیندهای سطحی اعمال می‌شود.

طبقه‌بندی اشکال ژئومورفولوژیکی به‌طور سنتی از طریق بررسی‌های میدانی و یا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی انجام می‌شود (مثلاً روش طبقه‌بندی سیستم‌های ارضی<sup>۶</sup> یا ترسیم نقشه‌های ژئومورفولوژیکی)، این روش‌ها علی‌رغم مزایا مزایا و کاربردهای خاص، هم‌زمان بر و هم وابسته به تفسیر مفسر و دانسته‌های اوست. امروزه توصیف رقومی خصوصیات توپوگرافیکی یا هندسی زمین (در رابطه با توپوگرافی، شکل زمین و فرآیند) در کنار فناوری رایانه‌ای و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی؛ امکان‌پذیری / تشریح و تبیین / قواعد مرتبط با طبقه‌بندی، ترسیم و شرح جزییات زمین را بیشتر فراهم کرده است. گرچه کتابشناسی علمی این عرصه‌ی جدید در سطح جهانی نسبتاً غنی است و به سرعت توسعه می‌یابد اما در کشور ما

8- Zhang & Montgomery

9-Irvin

10-Giles

1-McMillan

2- Klingseisen

3- land systems

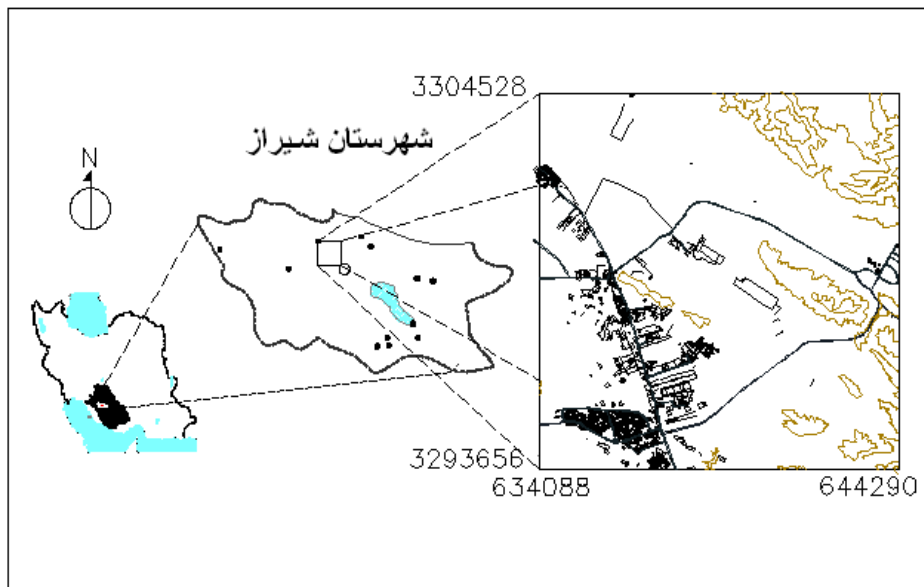
به‌ویژه از نظر ژئومورفولوژی کمتر بدان توجه شده است. با توجه به کاربردهای تحلیل زمین چه در ژئومورفولوژی و چه در سایر علوم زمین جا دارد که دانش‌پژوهان و محققان علوم زمین در کشور ما بیشتر به این موضوع پرداخته و آن را غنا بخشند. هدف از بررسی حاضر آن است که با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی زمین و برخی پارامترهای توپوگرافیکی حاصل از آن، زمین‌منظرها یا اشکال کلان ژئومورفولوژیکی بخشی از ناهمواری‌های شمال غرب شهر شیراز طبقه‌بندی شود، برای طبقه‌بندی از تکنیک تحلیل داده‌های خودسازمان‌یابنده‌ی تکراری<sup>۱</sup> (ISODAT) استفاده خواهد شد و نهایتاً نتیجه‌ی این طبقه‌بندی با نقشه‌ی طبقه‌بندی تیپ‌های ارضی<sup>۲</sup> ناحیه مقایسه و تطبیق داده خواهد شد.

موقعیت محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد بررسی از نظر موقعیت در شهرستان شیراز از استان فارس و در شمال غرب شهر شیراز قرار دارد (شکل ۱) و تقریباً منطبق بر یک برگ نقشه‌ی توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به شماره‌ی EA ۶۴۴۹۱ است. این محدوده در مختصات ۶۳۴۰۸۸/۵ تا ۶۴۴۲۹۰ طول جغرافیایی و ۳۲۹۳۶۵۶/۷ تا ۳۳۰۴۵۲۸ عرض جغرافیایی در سیستم تصویر UTM واقع بوده و مساحتی حدود ۱۱۰ کیلومتر مربع دارد. جاده‌ی ارتباطی شیراز - یاسوج از این محدوده عبور می‌کند و علاوه بر چندین شهرک و روستا، شهر جدید صدرا نیز در این ناحیه احداث شده است. منطقه‌ی مورد مطالعه از کوهستان‌ها و ناهمواری‌هایی تشکیل شده که به تبعیت از روند عمومی زاگرس، جهتی شمال غربی - جنوب شرقی داشته و در بین آنها دشت‌های میانکوهی کوچک و بزرگی شکل گرفته است. حداکثر ارتفاع کوهستان‌ها در این محدوده ۲۳۰۰ متر و حداقل ارتفاع در دشت به حدود ۱۶۳۰ متر می‌رسد. شیب عمومی به سمت جنوب شرق می‌باشد و محدوده‌ی مورد بررسی بخشی از حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی مهارلوست. در ادامه‌ی این محدوده به سمت جنوب شرق دشت و شهر شیراز قرار دارد.

4- Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique ( ISODAT )

5- land types



شکل ۱: موقعیت محدوده‌ی مورد بررسی  
مأخذ: نگارنده

#### مواد و داده‌ها

برای ایجاد وساخت پارامترهای توپوگرافیکی و استفاده از آنها در تحلیل و طبقه‌بندی زمین از نقشه‌ی توپوگرافی محدوده به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ به شماره‌ی SEA ۶۴۴۹۱ استفاده شد. در این نقشه‌ی اولیه با فرمت DWG، ابتدا ارتفاع منحنی میزان‌ها وارد گردید و پس از انجام اصلاحات لازم، عملیات ساخت توپولوژی در نرم‌افزار کدمپ<sup>۱</sup> انجام شد، سپس فرمت نقشه ابتدا به Shape تبدیل و از طریق نرم‌افزار آرک‌جی‌آی اس<sup>۲</sup> نقشه‌ی مذکور با فرمت بردار به نرم‌افزار ایدریسی منتقل گردید. در محیط ایدریسی فرمت نقشه به راستر<sup>۳</sup> (پیکسل) تبدیل شد و مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM) تهیه گردید (شکل ۲ و ۳). اندازه‌ی پیکسل‌ها ۱۰×۱۰متر و سیستم تصویر UTM برای نقشه انتخاب شد. سپس سایر پارامترهای توپوگرافیکی یعنی ارتفاع (متر)، شیب (درصد)، جهت دامنه (درجه)، انحنا‌ی پروفیل و انحنا‌ی پلانی متریک (هر دو به رادیان در ۱۰۰ متر) از مدل رقومی ارتفاعی زمین استخراج شد.

1- CAD Map  
2- ArcGis  
3- Raster

ارتفاع، بیانگر بلندی هر پیکسل بر حسب متر نسبت به سطح دریاست. شیب میزان میانگین شیب در هر پیکسل بر مبنای درصد و جهت دامنه بر مبنای درجه، امتداد دامنه در جهت‌های مختلف را نشان می‌دهد. انحنای پروفیل معرف اندازه‌ی تغییر شیب منحنی میزان‌ها در طول یک مسیر جریان است. این شاخص نشان‌دهنده‌ی تغییر پتانسیل گرادیان شیب بوده و تغییرات آن شدت جریان آب و فرآیندهای حمل و رسوب را کنترل می‌کند.

مقادیر منفی این شاخص، شیب‌های کوژ (محدب) و مقادیر مثبت آن شیب‌های کاو (مقعر) را نشان می‌دهد. انحنای پلانی متریک، اندازه‌ی تغییر جهت در طول یک منحنی میزان را نشان داده و بیانگر واگرایی و همگرایی توپوگرافیکی است. مقادیر منفی این پارامتر جریان‌های واگرا (ستیغ و خط‌الرأس) و مقادیر مثبت آن جریان‌های همگرا (دره‌ها) را نشان می‌دهد (گالات و ویلسون، ۲۰۰۰: ۵۶).

با توجه به اینکه هر یک از پارامترهای توپوگرافیکی و لایه‌های نقشه‌ای، ارزش‌های عددی مختلف و واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی (مثل متر، درصد، رادیان) داشتند، برای آنکه کلیه داده‌ها استاندارد و هم‌مقیاس (بی‌بعد) شوند، از روش بی‌بعدسازی فازی<sup>۱</sup> استفاده شد و مقادیر کلیه‌ی لایه‌های نقشه‌ای در دامنه‌ای بین صفر تا ۲۵۵ قرار گرفتند.

#### روش‌شناسی

پس از تهیه‌ی لایه‌های نقشه‌ای پارامترهای توپوگرافیکی، برای طبقه‌بندی زمین‌منظرها از روش تحلیل داده‌های خودسازمان‌یابنده‌ی تکراری (ISODAT) استفاده شد که یکی از رایج‌ترین الگوریتم‌های خوشه‌بندی بدون نظارت<sup>۲</sup> است. گرچه این الگوریتم معمولاً برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به کار می‌رود اما از آن برای سایر طبقه‌بندی‌ها نیز می‌توان استفاده کرد. الگوریتم مذکور برای طبقه‌بندی داده‌ها، یک فرآیند خوشه‌بندی تکراری با تعداد دفعات از پیش تعریف شده با استفاده از میانگین خوشه‌ها در یک فضای خصیصه‌ای چندبعدی را به کار می‌گیرد. همه‌ی نقاط

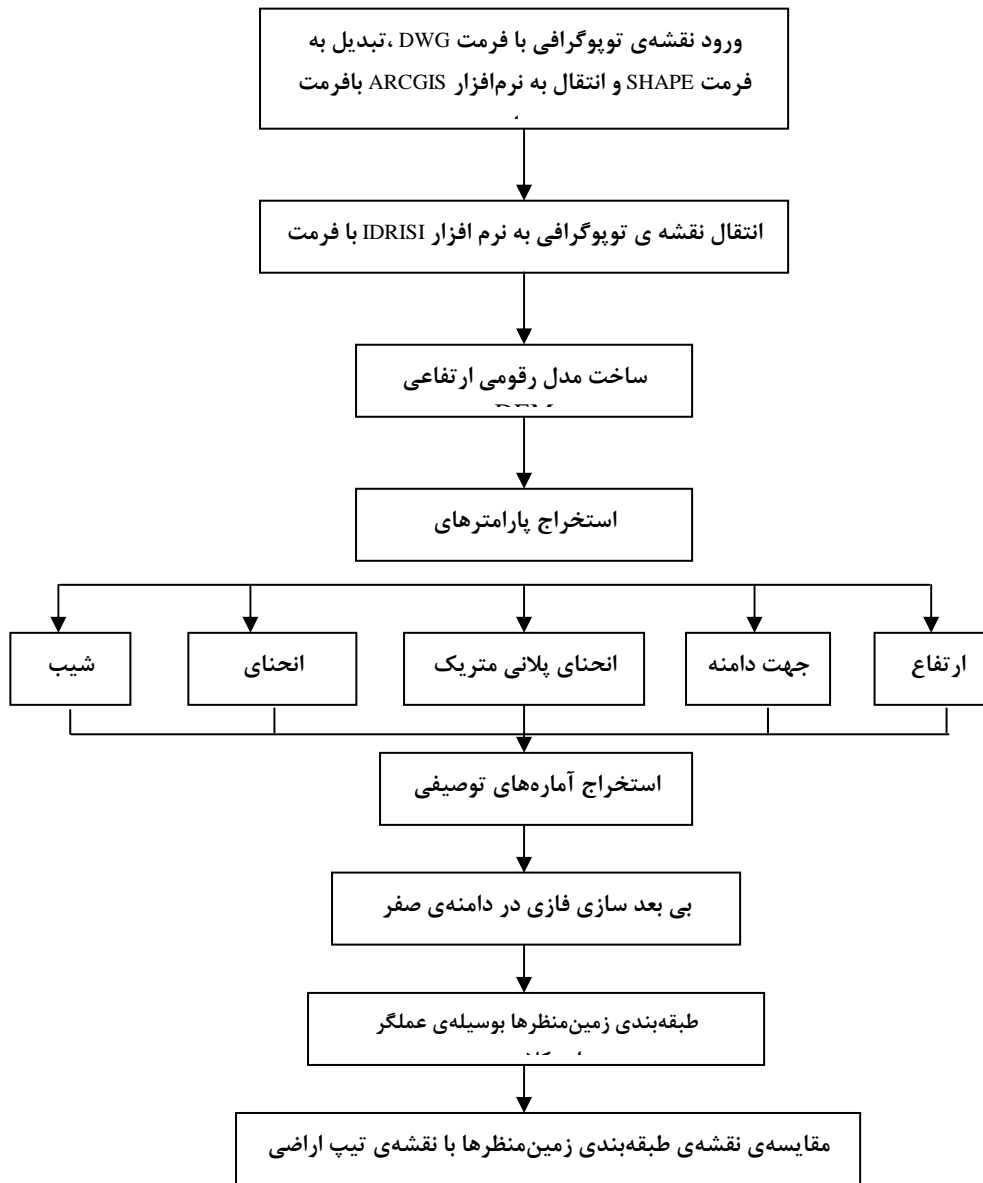
4- Fuzzy dimensionless  
1- Unsupervised clustering

...  
 (بیکسل‌ها) به چند خوشه تعلق می‌گیرند و میانگین‌گیری‌های جدید دوباره برای هر طبقه محاسبه می‌شود. داده‌ها سپس با استفاده از میانگین‌های جدید به نزدیکترین خوشه‌ها باز طبقه‌بندی می‌شوند و این فرآیند تا آنجا ادامه می‌یابد که جابجایی بین خوشه‌ها کمتر از آستانه‌ی کاربر تعریف شده یا تعداد فرآیندهای تکرار باشد. پس از انجام طبقه‌بندی، نتایج آن باید به‌وسیله‌ی کاربری که بر روی پدیده یا موضوع تحقیق شناخت دارد تحلیل شده و معنی داری و صحت خوشه‌ها تفسیر و تأیید شود. طبقه‌بندی از طریق تحلیل داده‌های خودسازمان‌یابنده‌ی تکراری (ISODAT) در برنامه‌ی نرم‌افزاری ایدریسی و آرک اینفو به‌وسیله‌ی عملگر ایزوکلست<sup>۱</sup> اجرا می‌شود. ایزوکلست برای طبقه‌بندی، یک روش خوشه‌بندی بهینه‌ساز تعدیل‌شده‌ی تکراری را به‌کار می‌گیرد که تکنیک میانگین‌های جابجا شونده<sup>۲</sup> نیز نامیده می‌شود. این روش باید چندبار تکرار شود تا طبقات و خوشه‌ها ساخته شوند. تعداد طبقات (خوشه‌ها) و تعداد مراحل تکرار الگوریتم به‌وسیله‌ی کاربر مشخص می‌شود. در این روش، فرآیند تکراری اجرای الگوریتم برای محاسبه‌ی میانگین طبقات (خوشه‌ها) از طریق کمینه کردن فواصل در فضای خصیصه‌ای چندبعدی صورت می‌گیرد.

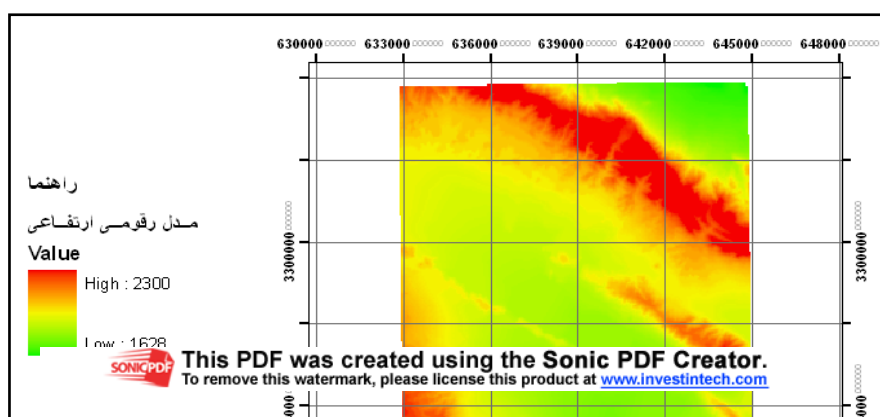
---

2- Isoclust

3- Migrating means technique



شکل ۲: نمودار مراحل و فرآیند طبقه‌بندی زمین‌منظرها



شکل ۳: بالا: مدل رقومی ارتفاعی (DEM) محدوده، پایین: طبقه‌بندی ارتفاعی محدوده  
مأخذ: نگارنده

## بحث

با اجرای روش تحلیل داده‌های خودسازمان یابندهی تکراری (ISODAT) در منطقه‌ی مورد مطالعه، پنج زمین‌منظر اصلی یا واحد شکلی کلان تعیین و طبقه‌بندی شد. نتایج طبقه‌بندی و خصوصیات میانگین پارامترهای توپوگرافیکی در هر یک از طبقات و زمین‌منظرها در جدول (۲) ارائه شده و شکل (۴) نیز نقشه‌ی طبقه‌بندی اشکال اصلی ژئومورفولوژیکی بر پایه‌ی روش مذکور را نشان می‌دهد. با مقایسه طبقه‌بندی به عمل آمده با تصویر ماهواره‌ای منطقه، مشاهدات میدانی و پارامترهای توپوگرافیکی هر یک از طبقات (جدول ۲) می‌توان هر کدام از طبقات را با واحدهای ژئومورفولوژیکی خاصی تطابق داد به طوری که در نهایت بر مبنای پنج طبقه، چند زمین‌منظر اصلی شامل ۱- کوهستان‌های نسبتاً مرتفع ۲- مخروطه‌افکنه‌ها و پایکوه-های مرتفع ۳- تپه‌های کم‌ارتفاع ۴- دشت و پهنه‌های هموار و ۵- کوه‌های کم‌ارتفاع و تپه‌های مرتفع بدین روش شناسایی و تفکیک شدند.

اولین طبقه‌ی مخروطه‌افکنه‌ها و پایکوه‌های مرتفع را نشان می‌دهد، این طبقه حدود ۱۶ درصد مساحت محدوده را در بر می‌گیرد و به صورت نواری در حاشیه‌ی کوهستان‌های نسبتاً مرتفع در بخش شمال و شمال شرق و جنوب غربی محدوده گسترش دارد. میانگین ارتفاع این طبقه ۱۹۳۱ متر و شیب متوسط آن ۱۴ درصد است. طبقه‌ی دوم شامل کوهستان‌های نسبتاً مرتفع با شیب تند است. میانگین ارتفاع در این طبقه حدود ۲۰۸۰ متر (حداکثر ۲۳۰۰ متر) و شیب متوسط آن ۴۰ درصد می‌باشد. این طبقه کوهستان‌های نسبتاً مرتفع محدوده، در شمال و شمال شرق و بخش کوچکی از شرق را در بر می‌گیرد و ۶ درصد مساحت منطقه را به خود اختصاص داده است.

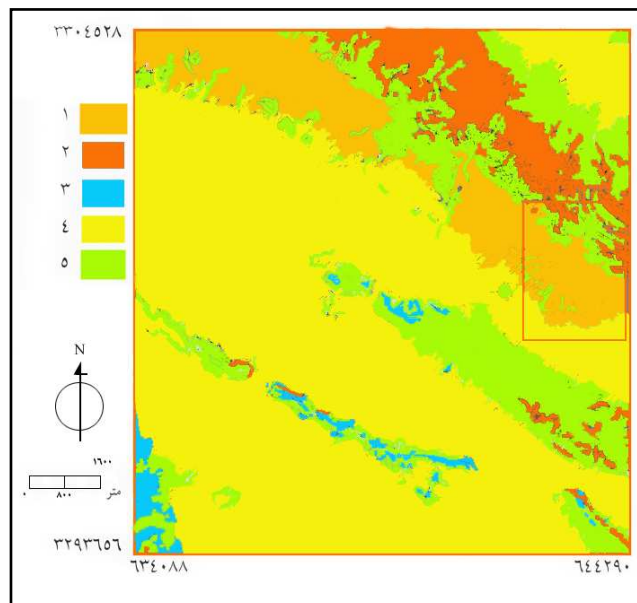
طبقه‌ی سوم دربرگیرنده‌ی تپه‌های کم‌ارتفاع اما با شیب تند است. میانگین ارتفاع این تپه‌ها ۱۸۰۰ متر و شیب متوسط آنها ۳۳ درصد می‌باشد. این طبقه که وسعت خیلی کمی (نزدیک به یک درصد) دارد پراکنش زیادی داشته و عمدتاً در حاشیه‌ی کوهستان‌ها و پایکوه‌ها دیده می‌شود.

طبقه‌ی چهارم در واقع پهنه‌ی دشت و سطوح هموار را شامل می‌شود. این طبقه کم‌ارتفاع‌ترین طبقه بوده و میانگین ارتفاع آن به ۱۷۹۵ متر می‌رسد. شیب آن بسیار کم و میانگینی برابر ۴ درصد دارد. ۵۸ درصد مساحت منطقه به وسیله‌ی این طبقه پوشیده شده و پراکنش آن بیشتر در جنوب، مرکز و شمال شرق محدود دیده می‌شود.

آخرین طبقه مشتمل بر دو نوع ناهمواری است، این طبقه کوههای کم‌ارتفاع و تپه‌های مرتفع با شیب تند را در برمی‌گیرد. میانگین ارتفاع آن ۱۹۰۹ متر و شیب متوسط آن ۳۳ درصد است. ۱۸/۵ درصد از سطح منطقه به وسیله‌ی این طبقه پوشیده شده و پراکنش آن اغلب در حاشیه‌ی کوهستان‌های نسبتاً مرتفع (طبقه‌ی دوم) و در داخل طبقه‌ی مخروطه‌افکنه و پایکوهها (طبقه‌ی اول) مشاهده می‌شود.

جدول (۲) نشان می‌دهد که دو پارامتر شیب و ارتفاع، اصلی‌ترین و مهم‌ترین پارامترهای متمایزکننده اشکال اصلی هستند به طوری که میانگین شیب بیش از ۳۰ درصد در کوهستان‌ها و تپه‌ها و شیب ۴ درصد در دشت و سطوح هموار جداکننده‌ی دو واحد اصلی ارتفاعات و دشت است. پارامتر جهت دامنه گرچه می‌تواند دامنه‌های با جهت‌های متفاوت را از هم تفکیک کند اما در طبقه‌بندی نهایی وارد نشد زیرا باعث افزایش تعداد طبقات با منظرهای یکسان می‌شد. بررسی داده‌های جهت دامنه در محدوده نشان داد که بخش اعظم دامنه‌ها جهتی به سوی جنوب و جنوب غرب دارند (۳۶ درصد مساحت دامنه‌ها) این موضوع با امتداد و جهت ناهمواری‌های منطقه همخوانی دارد. گرچه در نقشه‌های اصلی انحنای پروفیل و انحنای پلانی متریک، دامنه‌ی داده‌های این دو پارامتر از ۴- تا ۵ رادیان در ۱۰۰ متر متفاوت بود اما مقادیر میانگین آن بر حسب هر یک از طبقات تقریباً نزدیک به صفر می‌باشد. این رقم در انحنای پروفیل رقمی مثبت (متمایل به دامنه‌های کاو) و در انحنای پلانی متریک رقمی منفی (جریان‌های واگرا) را نشان می‌دهد (جدول ۲). با وجودی که نتایج طبقه‌بندی، ۵ طبقه‌ی اصلی را شناسایی کرد اما مقایسه‌ی این ۵ طبقه با واقعیات موجود یعنی مشاهدات میدانی، بررسی نقشه‌های توپوگرافی و تصویر ماهواره‌ای منطقه نشان می‌دهد که بیشتر از ۵ زمین‌منظر اصلی در محدوده قابل

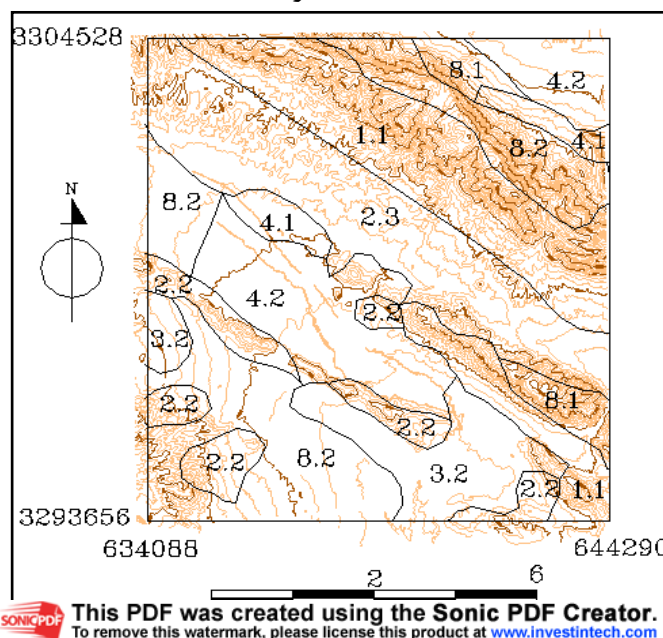
شناسایی است. به عبارت دیگر طبقه‌ی اول خود متشکل از دو زمین‌منظر یعنی مخروطه‌افکنه و پایکوه و طبقه‌ی پنجم نیز مشتمل بر دو زمین‌منظر کوهستان‌های کم‌ارتفاع و تپه‌های مرتفع می‌باشد و در واقع حداقل ۷ زمین‌منظر در این منطقه وجود دارد. این موضوع به‌وسیله‌ی بررسی نقشه‌ی تیپ‌های ارضی (تیپ-های زمین) منطقه نیز تأیید می‌شود. چنانچه نقشه‌ی تیپ‌های ارضی منطقه (نقشه‌ی ارزیابی منابع و قابلیت ارضی) به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گیرد (مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی) مشخص می‌شود که ۵ تیپ ارضی و ۷ واحدارضی در این محدوده شناسایی و تفکیک شده است (شکل شماره‌ی ۵).



شکل ۴: نتایج طبقه‌بندی زمین‌منظر به روش ISODAT

(برای راهنمای طبقات به متن و جدول ۲ مراجعه شود)

مأخذ: نگارنده



شکل ۵: نقشه‌ی تیپ و واحدهای ارضی منطقه

مأخذ: موسسه‌ی تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی

با همپوشانی و مقایسه‌ی بصری نقشه‌ی طبقه‌بندی زمین‌منظر از روش ISODAT با نقشه‌ی تیپ و واحدهای ارضی منطقه می‌توان نکاتی به شرح ذیل را برشمرد:

۱- در نقشه‌ی تیپ و واحدهای ارضی محدوده عدم دقت و خطاهای زیادی در تفکیک حدود و لبه‌های واحدهای شکلی زمین وجود دارد که این خطاها و اشکالات عمدتاً ناشی از عدم پردازش رایانه‌ای عکس هوایی، خطای اعوجاج در عکس‌های هوایی و خطای ترسیم و کارتوگرافی است.

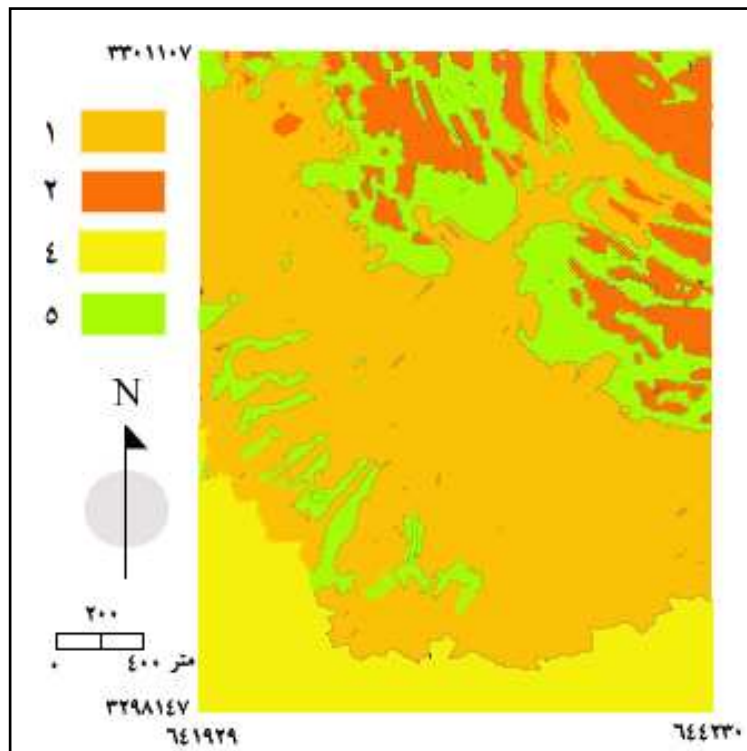
۲- گرچه طبقه‌بندی سیستم‌های ارضی (در نقشه‌ی تیپ و واحدهای ارضی) یک سیستم رایج و استاندارد در مطالعات منابع طبیعی است اما شناسایی واحدهای شکلی زمین و نام‌گذاری آنها در سیستم مذکور با روش‌شناسی مطالعات ژئومورفولوژیکی دارای تفاوت‌هایی است، مسأله‌ای که پیشتر رامشت (۱۳۷۹) نیز بدان اشاره کرده (رامشت، ۱۳۷۹: ۲۹۴-۲۹۲).

۳- مخروطه‌افکنه‌ها و پایکوه‌های مرتفع در طبقه‌بندی ISODAT که بخش‌های وسیعی از شمال محدوده درحاشیه‌ی کوهستان را در برمی‌گیرد، در نقشه‌ی تیپ‌های ارضی تحت عنوان دو تیپ تپه‌ها (در شمال) و واریزه‌های بادبزی شکل (در جنوب غرب) تفکیک شده است. در صورتی که بر روی تصویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی به وضوح مخروطه‌افکنه‌های متعدد و پایکوهها قابل شناسایی می‌باشند. لذا نقشه‌ی تیپ ارضی از این نظر دارای عدم دقت است.

۴- مقایسه‌ی دو سیستم طبقه‌بندی نشان می‌دهد که روش ISODAT دارای دقت بیشتری برای تفکیک واحدهای شکلی به لحاظ حدود و لبه‌هاست، از سویی دیگر

واحدهای کوچک و جزیره‌ای یا متداخل در یک لندفرم بزرگتر نیز به نحو بسیار دقیق و مشخصی در این روش قابل شناسایی و تفکیکند. در حالی که در روش تیپ-های ارضی، لندفرم‌های کوچک جزیره‌ای به سهولت قابل تمایز و تفکیک نیستند. این مسأله در مورد تپه‌ها در داخل مخروطه افکنه‌ای در شرق محدوده به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۶). در این محدوده گرچه واحد بزرگ و اصلی یک مخروطه-افکنه کاملاً مشخص است اما وجود آبراهه‌های گیسویی متعدد و اثر حفر آنها باعث ایجاد تپه‌هایی شده که شیب نسبتاً تندی دارند. در نقشه‌ی تیپ ارضی، این محدوده به عنوان تپه‌ها تفکیک شده در حالی که در طبقه‌بندی به روش ISODAT این محدوده مخروط‌افکنه‌ای است که تپه‌هایی به شکل متداخل و جزیره‌ای در داخل آن به وضوح شناسایی و تفکیک شده‌اند (شکل ۶).

۵- نکته‌ی دیگر قابل ذکر آن است که واحد دشت و پهنه‌های هموار در روش طبقه-بندی ISODAT تنها مشخص‌کننده‌ی واحد دشت نیست و سطوح هموار بالای کوهستان‌ها و تپه‌ها را نیز شامل می‌شود.



شکل ۶: تصویر بزرگنمایی شده‌ی مخروطه‌افکنه‌ی شرقی  
(برای راهنمای طبقات به متن و جدول ۲ مراجعه شود)  
مأخذ: نگارنده

### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از طبقه‌بندی زمین‌منظر با استفاده از مدل رقومی زمین و روش ISODAT و مقایسه‌ی آن با نقشه‌ی تیپ‌های ارضی منطقه نشان می‌دهد که روش ISODAT، روش نسبتاً دقیق، سریع و آسانی برای طبقه‌بندی واحدهای شکلی زمین است. این روش ضمن داشتن سرعت بالا در طبقه‌بندی، دارای دقت قابل قبولی با تشخیص حدود و لبه‌هاست و به سهولت می‌تواند اشکال جزیره‌ای و متداخل را نیز شناسایی کند. این روش در مقایسه با روش تفسیر عکس‌های هوایی کم‌هزینه‌تر و از نظر زمانی نیز کوتاه‌تر است. با این وجود دارای ضعف‌ها و نقایصی نیز هست (از جمله انتخاب واحدهای شکلی متعدد در یک طبقه و وجود انحراف استاندارد بالا) که می-

توان با پژوهش و تجربیات بیشتر این نقایص را به حداقل رساند. به عنوان مثال با افزایش تعداد پارامترهای توپوگرافیکی یا بهبود مقیاس نقشه‌های توپوگرافیکی، تعدیل و اصلاح تکنیک‌ها و توسعه‌ی روش‌شناسی‌های مربوطه می‌توان کارایی و دقت این نوع طبقه‌بندی را افزایش داد. مسلماً این روش باید در چشم‌اندازها و مقیاس‌های مکانی متفاوت دیگری به کار گرفته شده، تأیید یا اصلاح شود و روش‌شناسی‌های مرتبط با آن به‌ویژه در ایران توسعه یابد. ویژگی دیگر این روش طبقه‌بندی آن است که الگوریتم آن با بسته‌های نرم‌افزاری متعددی در سیستم اطلاعات جغرافیایی قابل استفاده است. در رابطه با طبقه‌بندی ژئومورفولوژیکی زمین می‌توان از تکنیک‌های دیگری نیز همچون الگوریتم فازی K-means<sup>۱</sup>، یک روش طبقه‌بندی از طریق کمینه-سازای خطاهای مجموع مربعات (مک‌برانتی ودی گروجر، ۱۹۹۲: ۱۶۰) و روش‌های فاصله-ی چندمعیاری<sup>۲</sup> یعنی یکپارچه‌سازی روش‌های فاصله‌ی متراکم با تحلیل فضایی همجواری (دیکائو<sup>۳</sup>، ۱۹۸۹: ۵۲) بهره جست.

جدول ۲: ویژگی‌های هریک از طبقات زمین منظر و میانگین پارامترهای توپوگرافیکی در هر یک از آنها

شماره طبقه	نوع زمین منظر	مساحت (هکتار)	درصد مساحت	ارتفاع (متر)	شیب (درصد)	جهت دامنه (درجه)	انحنای پروفیل (رادیان در ۱۰۰متر)	انحنای پلانی متریک (رادیان در ۱۰۰متر)
۱	مخروطه‌افکنه‌ها و پایکوه‌های مرتفع	۱۷۷۲/۴۷	۱۵/۹۸	۱۹۳۱	۱۴	۱۸۶	۰/۰۲۷	-۰/۰۲۴
۲	کوهستان‌های نسبتاً مرتفع	۶۸۹/۴۱	۶/۲۱	۲۰۷۹	۴۰	۱۶۶	۰/۰۶۷	-۰/۰۰۷
۳	تپه‌های کم ارتفاع	۱۰۰/۸۹	۰/۹	۱۸۰۰	۳۳	۱۶۵	۰/۰۵۹	-۰/۰۵۶
۴	دشت و پهنه‌های هموار	۶۴۷۴/۸۲	۵۸/۳۹	۱۷۹۵	۴/۳	۱۴۴	۰/۰۰۶۵	-۰/۰۰۶

1- Fuzzy K- means algorithm

2- Multivariate distance methods

3- Dikau

۰/۰۵۵۸ -	۰/۰۵۷	۱۷۱	۳۲/۷	۱۹۰۹	۱۸/۵۲	۲۰۴۹/۸۱	کوه‌های کم- ارتفاع و تپه‌های مرتفع	۵
-------------	-------	-----	------	------	-------	---------	--	---

مأخذ: نگارنده

## منابع و مأخذ

- ۱- رامشت، محمدحسین (۱۳۸۴). نقشه‌های ژئومورفولوژی، نمادها و مجازها، چاپ اول. تهران. انتشارات سمت.
- ۲- رامشت، محمدحسین و سیف، عبدا... (۱۳۷۹). جغرافیای خاک‌ها، ویرایش سوم. انتشارات دانشگاه اصفهان.
- ۳- نقشه‌ی توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، شماره‌ی SEa ۶۴۴۹۱. سازمان نقشه‌برداری کشور.
- ۴- نقشه‌ی ارزیابی منابع و قابلیت اراضی منطقه‌ی شیراز. (بی‌تا). مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰. مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی.
- 5- Dikau, R (1989) "The application of digital relief model to landform analysis in geomorphology in three dimensional applications in geographic information systems", edited by raper. (London:taylor & francis ).
- 6- Evans, I. S (1980) ."An integrated system of terrain analysis & slope mapping". Zeitschrift fur geomorphologie supplement band, 36.
- 7- Frederiksen,P,et al, (1985) "A review of current trends in terrain modeling". ITC Journal 2:101-106.
- 8- Gallant, J. C & Wilson, J. P (1996) "TAPES-G:a grid-based terrain analysis program for environmental sciences". computer & geosciences.22(7).
- 9- Gallant,J.C & Wilson, J. P (2000a). "terrain analysis : principles applications", edited by J.C. Gallant. (New York:John wiley & sons).
- 10- Gallant,J.C & Wilson, J. P (2000b) "Primary Topographic Attributes in terrain analysis:principles &applications".New York:John Wiley & Sons.
- 11- Giles, P. T (1988) "Geomorphological signatures :classification of aggregated slope unit objects from digital elevation & remote sensing data".Earth surface processes & landforms.20:581-594.
- 12- IDRISI for windows soafware (wersion 3.2). (2000) .help menu. ISOCLUST operation. clark university.
- 13- Irvin,B.J.et al,1997."fuzzy &isodata classification of landform elements from dijital terrain data in pleasant valley,Wisconsin .Geoderema,77:137-154.
- 14- Jenson,S.K. & Domingue,J.O,1988."Extracting topographical structure from digital elevation data for geographic information system nalysis".photogrametric engineering & remote sensing, 54 (11).
- 15- Klingseisen,B (2004) " GIS based generation of topographic attributes for landform classification". PhD Thesis, university of Applied Sciences. School of Geohnformation, Karnten,Germany.
- 16- McBratney, A.B., deGruijter, J.J., 1992. A continuum approach to soil classification by modified fuzzy k-means with extragrades. Journal of Soil Science 43, 159-175.

- 17- MacMillan, R. A. (2000a) "High - resolution landform classification using fuzzy K-means ". Journal of fuzzy sets & systems. 113: 37-52.
- 18- Moore, I. D. et al (1991) "Digital Terrain Modelling:a review of hydrological, geomorphological & biological applications".hydrological processes, 5.
- 19- Moore, I. D. et al (1993d) "Terrain attributes : estimation methods & scale effects". modelling change in environmental systems. New York: Wiley, 189 - 214.
- 20- Pike, R. J (1988) "The geometric signature,quantifying landslide-terrain types from digital elevation models".mathematical geology, 20 (5).
- 21- Pike, R. J (2000). "geomorphometry-diversity in quantitative surface analysis". progress in physical geography, 24 (1).
- 22- Quinn, P. F.et al. (1991) "The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain modeles".Hydrolojical Processes 5:59-79.
- 23- Zevenbergen, L. W.& Thorne, C. R (1987) "Quantitative Analysis of land surface topography". Earth surface processes and landforms,12.
- 24- Zhang,W.H.& Montgomery,D.R (1994)"Digital elevation model grid size, landscape representation & hydrologic simulations".Water Resources Research 30:1019-1028.