

بررسی اندازه پیکسل‌ها در مدل رقومی ارتفاع و ارتباط آن با پارامترهای ژئومورفومتری در دشت‌سرها (مطالعه موردی جنوب شرقی یزد)

مهدی تازه- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
مریم اسدی*- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان، یزد
مجید صادقی نیا- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
سعیده کلانتری- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد
زهره زهیری- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه اردکان، یزد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۲/۰۲ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۸/۱۲

چکیده

ژئومورفومتری به عنوان یک علم نوین در حوزه ژئومورفولوژی کمی می‌باشد که تلفیقی از علم ژئومورفولوژی با علم ریاضی و کامپیوتر می‌باشد. از آنجاکه محاسبات ژئومورفومتری بر روی مدل رقومی ارتفاعی انجام می‌گیرد ابعاد پیکسل مدل رقومی ارتفاعی تأثیر قابل توجهی بر روی مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری دارد. از طرفی این پارامترها تابعی از تغییرات توپوگرافی می‌باشد. دشت-سرها مناطق بیابانی را می‌توان بر مبنای وضعیت توپوگرافی طبقه‌بندی نمود. در این مطالعه اقدام به بررسی تأثیر تغییرات اندازه پیکسل مدل رقومی ارتفاعی بر روی مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری گردیده است. بدین منظور ابتدا مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد مختلف تهیه شد. سپس نقشه تمامی پارامترهای ژئومورفومتری ساخته شد. نقشه‌ای مشتمل بر ۲۰۰۰ نقطه به صورت تصادفی تهیه گردید و مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری در محل این نقاط استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این مطالعه از آزمون‌های دانکن در کنار تجزیه واریانس به منظور بررسی تغییرات استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داده در بین پارامترهای ژئومورفومتری، تنها انحنای کل در دشت‌سر آبانداژ و پوشیده در یک گروه بوده و در بقیه پارامترها و سایزها در دشت‌سرها دارای اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

واژگان کلیدی: پارامترهای مورفومتری، آزمون دانکن، تپ‌های دشت‌سر، تجزیه واریانس

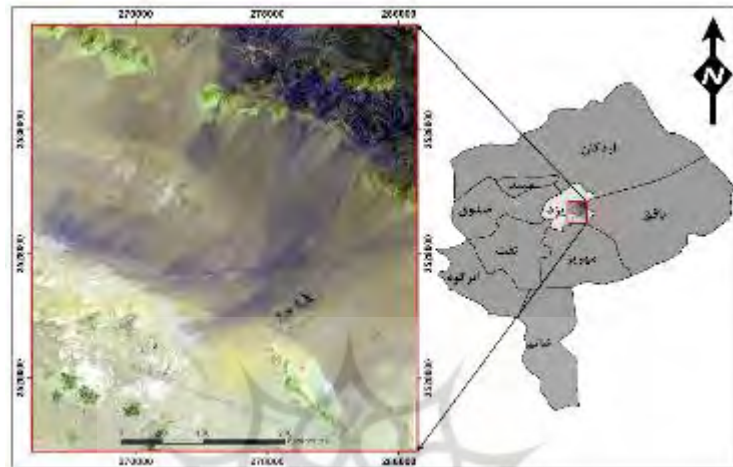
مقدمه

فرایندهای ژئومورفیک در زندگی و فعالیت‌های انسان، آثار قابل توجهی دارد و از سوی دیگر، فعالیت‌ها و رفتارهای انسان نیز خود بر واحدهای ژئومورفولوژی و فرایندهای ژئومورفیک تأثیر می‌گذارد. علم ژئومورفومتری به تجزیه و تحلیل عوارض سطح زمین می‌پردازد که یکی از اساسی‌ترین بخش‌های علم منابع طبیعی است. تاکنون فرضیه‌ها، نظریه‌ها و مدل‌های مختلفی نیز جهت شکل‌گیری و توسعه و تکوین آن‌ها ارائه شده است (پیلتر، ۲۰۱۰). ژئومورفومتری یک زیرمجموعه از ژئومورفولوژی می‌باشد که دارای رویکرد اندازه‌گیری کمی و کیفی عوارض سطح زمین می‌باشد (پیک و دیکائو، ۱۹۹۵، دهن و پیک ۲۰۰۳). مدل‌های مختلف ژئومورفومتری اولین بار توسط ایوانس (ایوانس، ۱۹۷۲) به صورت خلاصه در زمینه تحلیل ریاضی عوارض سطح زمین در حالت کلی و در تفکیک عوارض سطح زمین به صورت خاص مورد استفاده قرار گرفت. مورفومتری عوارض سطح زمین نیز در قالب ژئومورفولوژی کمی مورد بررسی قرار گرفته بود. ارائه مدل‌های عددی (لی و همکاران ۲۰۰۵)، یا در قالب مدل‌های رقومی ارتفاعی و یا تجزیه و تحلیل ارتفاع و علوم توپوگرافی مطرح می‌باشد (اسمیت، ۲۰۰۴). ژئومورفومتری علم کمی‌سازی عوارض توپوگرافی، با تمرکز بر استخراج پارامترهای عوارض سطح زمین بر اساس مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد. داده‌های ورودی در مطالعات ژئومورفومتری، مدل ارتفاعی به صورت رستری و با سلول‌های مربعی می‌باشد (تازه و همکاران ۱۳۹۲). دشت‌سرها یکی از مهم‌ترین واحدهای ژئومورفولوژی به خصوص در مناطق بیابانی به شمار می‌روند. به بخش انتهایی دامنه‌ها که به صورت کشیده بوده و دارای شیب ملایم و طولانی است دشت‌سر اطلاق می‌گردد. نیمرخ طولی دشت‌سر، در بالادست تفرع محسوسی داشته و به سمت پایین دست به سرعت از مقدار آن کاسته شده و به صورت خطی مستقیم، ظاهر می‌گردد. دشت‌سر، سطحی است با شیب ملایم بین ۱ تا ۷ درجه که گاهی تا ۱۱ درجه نیز می‌رسد. چنین سطحی غالباً در مقطع طولی خود محدب می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۸). در دشت‌سر فرسایشی، سنگ‌بستر در عمق کم قرار گرفته و یا در سطح خاک نمایان می‌باشد. ارتفاع برجستگی‌ها به چند متر می‌رسد و به صورت اینسلب‌های کوچک در سطح دشت‌سر نمایان هستند. شیب طولی دشت‌سر بین ۱۲-۸ درصد که گاهی به ۲۰ درصد نیز می‌رسد، که کمی حالت مقعر دارد. شیب عرضی آن تقریباً صفر است. دشت‌سر اپانداژ همان مشخصات دشت‌سر فرسایشی را دارا می‌باشد، با این تفاوت که ضخامت مواد زیادتر است و به چند متر می‌رسد. عناصر تشکیل‌دهنده آن کوچک‌تر و بقایای ناهمواری‌های قدیمی و یا به عبارت دیگر بیرون‌زدگی کمتر دیده می‌شود. دشت‌سر پوشیده یا دشت، شیب این تیپ بین ۳-۱ درصد تغییر می‌کند. ضخامت رسوبات بیش از صدمتر است. بنابراین این دشت با شیب کم و ضخامت قابل ملاحظه رسوبات مشخص می‌شود. خاک عمیق با بافت ریزدانه بوده به طوری که تمام اراضی کشاورزی در این مناطق بر روی این دشت‌سر قرار گرفته‌اند.

از محدود مطالعات انجام شده ناپرالکسی و همکاران (۲۰۱۰)، به تأثیر ابعاد سلول‌های مدل‌های رقومی ارتفاعی بر مورفومتری لندفرم‌های مختلف پرداخته‌اند. در زمینه تعیین اندازه پیکسل، می‌توان به مطالعه عاشورلو و همکاران (۱۳۸۷)، به منظور تأثیر ابعاد پیکسل بر روی ویژگی‌های فیزیکی حوزه آبخیز اشاره نمود. همچنین در زمینه استفاده از عوارض ژئومورفومتری نیز تازه و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی استفاده از شاخص‌های ژئومورفومتری جهت تفکیک و شناسایی تیپ‌های مختلف دشت‌سر پرداخته‌اند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد، پارامتر درصد شیب، قابلیت بسیار خوبی در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت‌سر از خود نشان داده و سایر پارامترهای ژئومورفومتری نیز به طور نسبی تفکیک‌پذیری تیپ‌های مختلف دشت‌سر را از یکدیگر نشان می‌دهد. این مطالعه بر روی واحدهای ژئومورفولوژی دشت‌سر انجام شده و هدف اصلی آن بررسی تأثیر اندازه پیکسل مدل رقومی ارتفاع بر مقدار پارامترهای ژئومورفومتری در تیپ‌های مختلف دشت‌سر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه شیت توپوگرافی فهرج، به شماره IV 6953 می‌باشد. در این مطالعه جهت تفکیک و جداسازی دشت‌سرها از روش ارائه شده توسط احمدی (۱۳۸۸) استفاده گردیده است. بر اساس این روش، واحد دشت را می‌توان به سه تیپ دشت‌سر فرسایشی، اپانداژ و پوشیده تقسیم نمود. با توجه به این تعاریف در ابتدا محدوده‌ی هریک از واحدهای دشت‌سر بر روی تصویر ماهواره‌ای GoogleEarth تعیین گردیده است.



شکل ۱: محدوده مورد مطالعه واقع در استان یزد

ابتدا مدل رقومی ارتفاعی با ابعاد پیکسل‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۱۰۰ تهیه گردید. ابعاد انتخاب شده با توجه به ابعاد تقریبی مدل‌های رقومی ارتفاعی در دسترس در ایران از منابع مختلف و همچنین استفاده از مقادیر سایر مطالعات، انتخاب شد (عاشورلو، ۱۳۸۷). از طرفی انتخاب ابعاد به گونه‌ای انتخاب شد که مقادیر رند بوده و از مدل‌های رقومی موجود با حداقل ابعاد سلول تا ابعاد نزدیک به داده‌های SRTM در نظر گرفته شود. مدل رقومی ارتفاعی یکی از مهم‌ترین داده‌ها جهت استخراج عوارض رقومی مختلف در سطح زمین می‌باشند. مدل رقومی ارتفاع (DEM) مجموعه‌ای از داده‌های رقومی می‌باشد که در تهیه مدل توپوگرافی سطح زمین به کار گرفته می‌شوند. بدین معنا که پدیده‌های سطح زمین را به صورت مدل‌های واقعی یا فرضی می‌سازد. پردازش رقومی این داده‌ها بر اساس انجام محاسبات ریاضی و اعمال معادلات عددی بر روی مدل رقومی ارتفاعی صورت می‌گیرد. ساختار ماتریس مدل‌ها امکان شبیه‌سازی اشکال هندسی متنوعی را با استفاده از این داده‌ها فراهم می‌آورد. در این مطالعه با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی با اندازه پیکسل‌های مختلف، کلیه پارامترهای ژئومورفومتری محاسبه و نقشه آن‌ها تهیه شد. پارامترهای مورفومتری بیانگر شکل سطح زمین می‌باشند. مدل‌های مختلف ژئومورفومتری اولین بار توسط ایوانس (ایوانس، ۱۹۷۲) به صورت خلاصه در زمینه تحلیل ریاضی عوارض سطح زمین در حالت کلی و در تفکیک عوارض سطح زمین به صورت خاص مورد استفاده قرار گرفت. مهم‌ترین الگوریتم‌های مورد استفاده در ژئومورفومتری شامل محاسباتی است که بر روی مشتق اول و دوم داده‌های ارتفاعی در پنجره‌ها یا فیلترهایی با ابعاد مختلف اعمال می‌شود (ایوانس، ۱۹۷۲ و شری، ۱۹۹۵). بعدها توسط ایوانس-یانگ تغییراتی بر روی آن‌ها ایجاد شد (شری و همکاران، ۲۰۰۲). الگوریتم‌های ایوانس-یانگ، شامل توابع چندجمله‌ای، بدین منظور می‌باشد (ایوانس، ۱۹۷۲ و یانگ، ۱۹۷۸).

وود (۱۹۹۶) الگوریتم‌های عددی را برای توصیف کمی ناهمواری‌ها با استفاده از تعداد محدودی عدد و رقم برای طبقات مورفومتری و اشکال آن، ارائه کرد. قواعد تعریف شده برای هر کلاس مورفومتری، بر پایه مقدار شیب و تقعر آن بنا نهاده شده است که هر دو از مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌گردد. زونبرگن و تورن در سال ۱۹۸۷، معادله چندجمله‌ای درجه دو را جهت محاسبه پارامترهای ژئومورفومتری ارائه کردند که در زیر آمده است:

Z_1	Z_2	Z_3
Z_4	Z_5	Z_6
Z_7	Z_8	Z_9

شکل ۲: پنجره نمایش ارتفاعی پیکسل مدل رقومی ارتفاعی

$$Z = AX^2Y^2 + BX^2Y + CXY^2 + DX^2 + EY^2 + FXY + GX + HY + I \quad (۱)$$

که در این معادله :

$$A = \frac{\frac{(Z_1+Z_3+Z_7+Z_9)}{4} - \frac{(Z_2+Z_4+Z_6+Z_8)}{2} + Z_5}{L^4} \quad (۲)$$

$$B = \frac{\frac{(Z_1+Z_3-Z_7-Z_9)}{4} - \frac{(Z_2-Z_8)}{2}}{L^3} \quad (۳)$$

$$C = \frac{\frac{(Z_1+Z_3-Z_7+Z_9)}{4} - \frac{(Z_4-Z_6)}{2}}{L^3} \quad (۴)$$

$$D = \frac{\frac{(Z_4+Z_6)}{2} - Z_5}{L^2} \quad (۵)$$

$$D = \frac{\frac{(Z_4+Z_6)}{2} - Z_5}{L^2} \quad (۶)$$

$$F = \frac{(-Z_1+Z_3+Z_7-Z_4)}{4L^2} \quad (۷)$$

$$G = \frac{(-Z_4+Z_6)}{2L} \quad (۸)$$

$$H = \frac{(Z_2-Z_8)}{2L} \quad (۹)$$

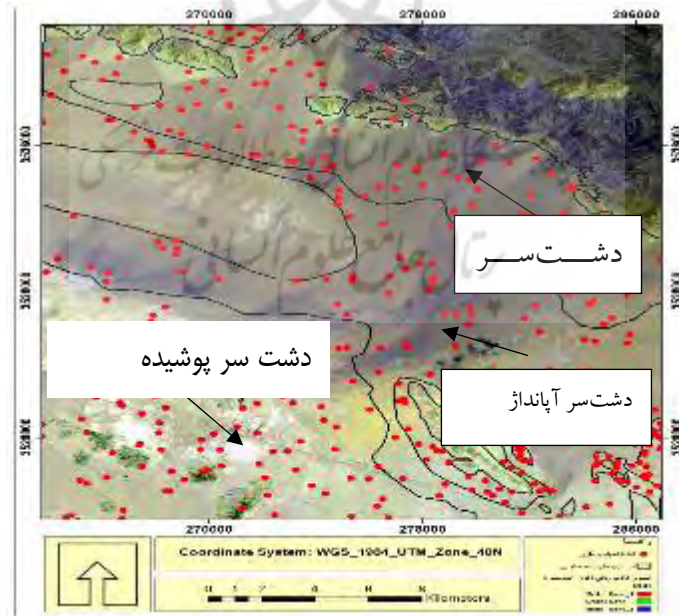
$$I = Z_5 \quad (10)$$

$$L = \text{gridcensize} \quad (11)$$

به منظور انجام این محاسبات بر روی مدل‌های رقومی ارتفاعی و استخراج پارامترهای ژئومورفومتری از ابزار Dem Surface استفاده شد. این ابزار به عنوان یک بسته الحاقی در نرم افزار ArcGIS قابل استفاده می‌باشد. سپس بر روی نقشه‌ی هر یک از پارامترها در محدوده هر سه نوع دشت سر اقدام به طراحی شبکه نمونه برداری تصادفی به تعداد بیش از ۲۰۰۰ نقطه شد. اطلاعات حاصل از این بخش با استفاده از تجزیه واریانس مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۱ نیز به منظور گروه بندی اندازه پیکسل‌های مختلف و دشت‌سره‌های مختلف در پارامترهای ژئومورفومتری استفاده شد. تحلیل‌های آماری در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Spss صورت گرفت. آزمون دانکن یکی از آزمون‌های تعقیبی آنالیز واریانس است. که هرگاه بخواهیم ببینیم که میانگین هر دو گروه با در نظر گرفتن اثرات گروه‌های دیگر باهم اختلاف معنی داری دارند یا خیر از این آزمون بعد از آنالیز واریانس استفاده می‌شود. در این آزمون در ابتدا کمترین دامنه معنی دار $(LSR)^2$ از فرمول زیر به دست می‌آید:

$$LSR_{\alpha} = S_X(SSR_{\alpha}) \quad (12)$$

که در آن $S_X = \sqrt{\frac{MSE}{r}}$ و SSR از جدول تعیین خواهد شد. در مرحله بعد برای مقایسه‌ی میانگین‌ها از روش خط-کشی یا حروف استفاده می‌شود. پس از مرتب کردن تمام میانگین‌ها از کوچک به بزرگ، بزرگ‌ترین میانگین‌ها را از میانگین قبلی کم کرده و تفاوت را با LSR برای تعداد دو میانگین مقایسه می‌کنند (بی‌همتا و همکاران، ۱۳۹۰). شکل زیر نقشه پراکنش نقاط نمونه بر روی ترکیب کاذب رنگی ۷۵۱ از ماهواره لندست ۸ را نشان می‌دهد.



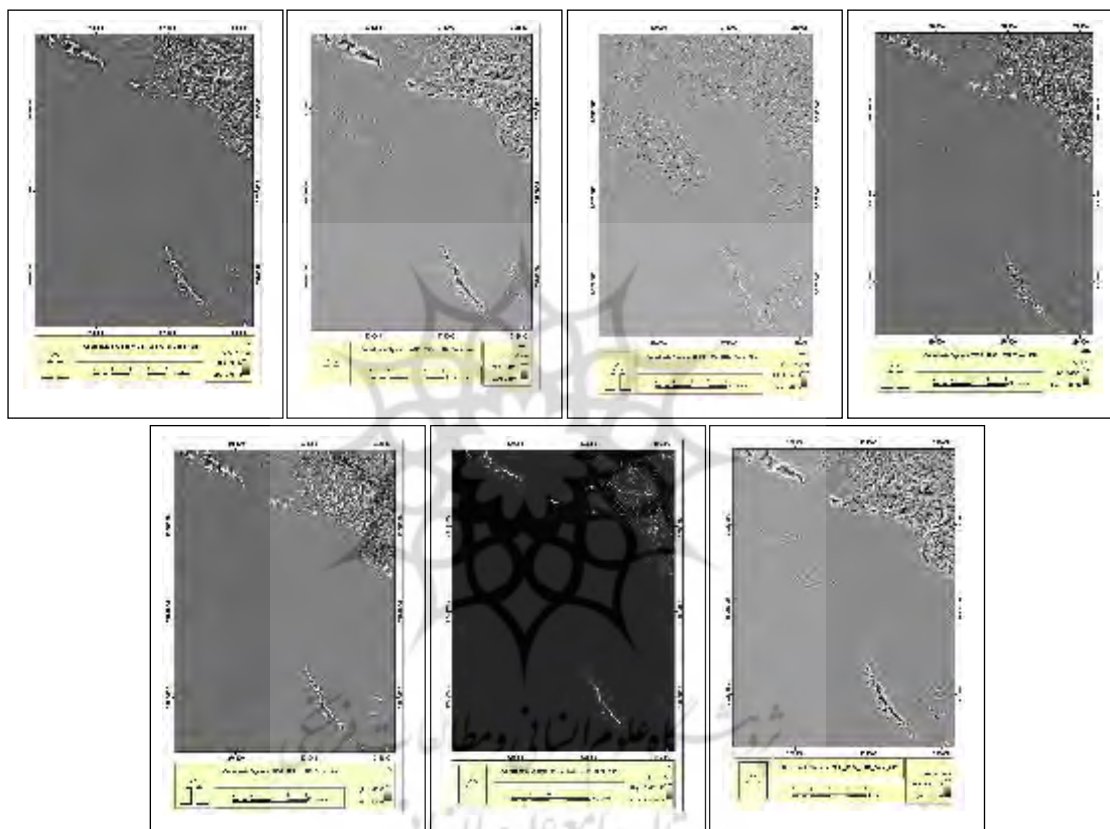
شکل ۳: موقعیت نقاط نمونه بر روی تصویر پانکروماتیک از ماهواره لندست ۸

1. Duncan multiple rangr test

2. Least significant ranges

نتایج

نتایج حاصل از اعمال مشتق دوم بر روی مدل رقومی ارتفاعی، پارامترهای مورفومتری می‌باشد که برای تمامی اندازه پیکسل‌ها و برای تمامی دشت‌سرها تهیه گردید. برای نمونه نقشه پارامترهای ژئومورفومتری با اندازه پیکسل ۵۰ در شکل ۴ آورده شده است. انتخاب این ابعاد پیکسل فقط جهت نمونه بوده است. که به علت تعداد زیاد نقشه‌ها، تنها به ارائه نقشه‌ها با همین اندازه سلول بسنده شده است.



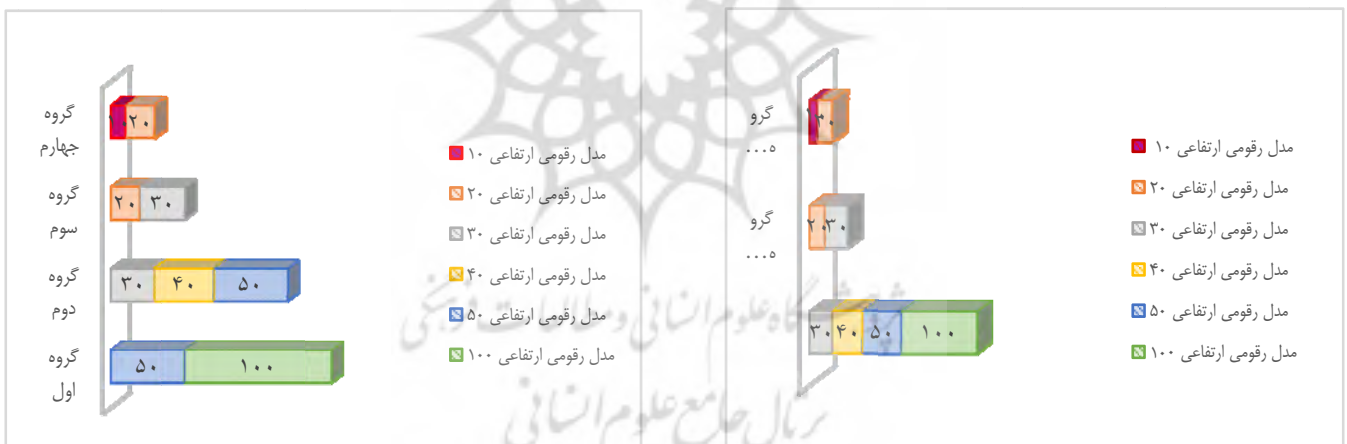
شکل ۴: نقشه پارامترهای ژئومورفومتری در منطقه مورد مطالعه با اندازه پیکسل ۵۰ متر

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که در حالت کلی بین اندازه پیکسل‌های انتخاب شده اختلاف معنی‌داری در نتایج حاصل از محاسبه پارامترهای ژئومورفومتری در سطح احتمال ۵٪ دیده می‌شود. با انجام آزمون دانکن گروه‌بندی برای اندازه پیکسل‌های مختلف در پارامترهای ژئومورفومتری صورت گرفت که نتایج آن در شکل‌های ۵ تا ۱۱ آورده شده است. نتایج نشان داد که در پارامترهای ژئومورفومتری تفاوت معنی‌داری بین هر ۶ اندازه پیکسل وجود دارد اما با توجه به نوع هر یک از پارامترهای ژئومورفومتری تفاوت بین اندازه پیکسل‌ها، متفاوت می‌باشد. برای مثال در پارامتر انحنای کل^۱ ابعاد پیکسل‌ها از نظر تفاوت در مقدار پارامتر به ۳ گروه تقسیم می‌شوند. در گروه اول اندازه پیکسل‌های ۱۰۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰ و در گروه دوم اندازه پیکسل‌های ۵۰، ۴۰، ۳۰ و ۲۰ قرار گرفته و در گروه سوم نیز اندازه پیکسل ۱۰ قرار می‌گیرد. در واقع این نتیجه نشان می‌دهد که در پارامتر انحنای کل اندازه پیکسل ۱۰ دارای تفاوت معنی‌داری با سایر

اندازه پیکسل‌ها می‌باشد اما در همین پارامتر اندازه پیکسل‌های ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ دارای تفاوت معنی‌داری نمی‌باشند. نتایج پارامترها انحنای کل، تانژانت انحنای^۱، انحنای سطح^۲، انحنای متقاطع^۳ از نظر تفاوت مقادیر پارامتر در اندازه پیکسل‌های مختلف به ۳ گروه تقسیم می‌شوند و پارامترهای انحنای مقطع^۴، انحنای طول^۵، انحنای عمومی^۶ به ۴ گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

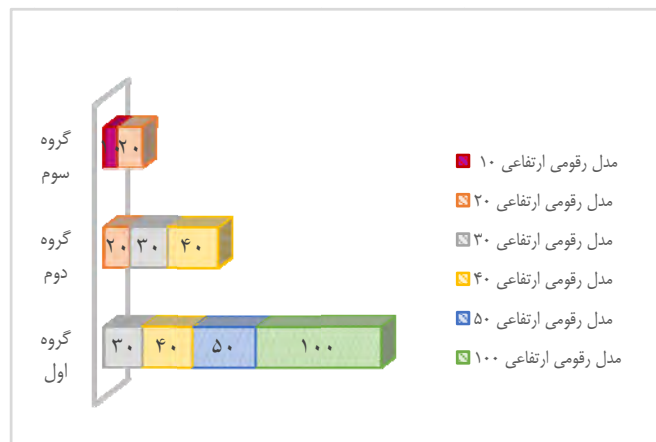
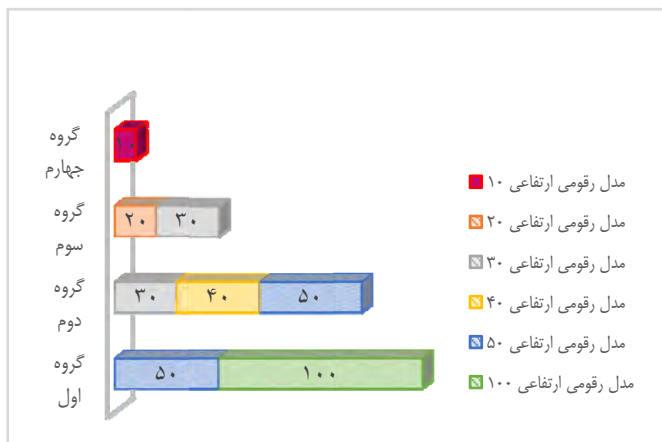


شکل ۵: نمودار گروه‌بندی مدل‌های رقومی ارتفاعی در پارامتر انحنای کل شکل ۶: نمودار گروه‌بندی مدل‌های رقومی ارتفاعی در پارامتر تانژانت انحنای

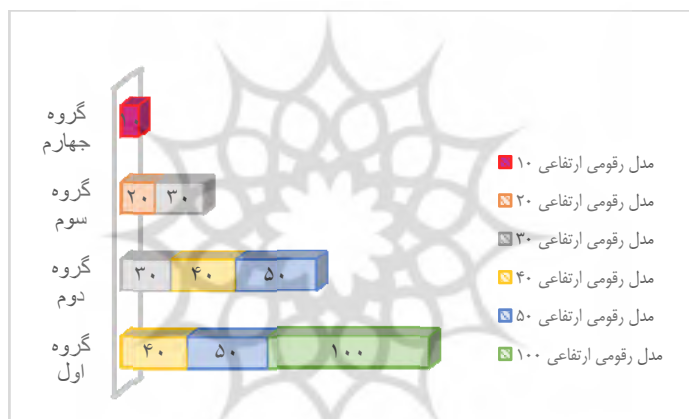


شکل ۷: نمودار گروه‌بندی مدل‌های رقومی ارتفاعی در پارامتر انحنای متقاطع شکل ۸: نمودار گروه‌بندی مدل‌های رقومی ارتفاعی در پارامتر انحنای مقطع

2. Tangential Curvature
1. Plan Curvature
2. Cross-Sectional Curvature
3. Profile Curvature
4. Longitudinal Curvature
5. General Curvature



شکل ۹: نمودار گروه‌بندی مدل‌های ارتفاعی در پارامتر انحنا سطح / شکل ۱۰: نمودار گروه‌بندی مدل‌های ارتفاعی در پارامتر انحنا طول



شکل ۱۱: نمودار گروه‌بندی مدل‌های ارتفاعی در پارامتر انحنا عمومی

نتایج حاصل از تجزیه واریانس تأثیر نوع دشت‌سر بر روی مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین نوع دشت‌سر و مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری وجود دارد. در واقع با انجام آزمون دانکن گروه‌بندی برای دشت‌سره‌های مختلف در پارامترهای ژئومورفومتری صورت‌گرفت که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: گروه‌بندی پارامترهای مختلف ژئومورفومتری در دشت‌سرهای مختلف

دشت‌سر پوشیده	دشت‌سر ابتدای	دشت‌سر لخت	اندازه پیکسل
-	*	*	گروه اول
*	-	-	گروه دوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم

ادامه جدول ۱: گروه‌بندی پارامترهای مختلف ژئومورفومتری در دشت‌سرهای مختلف

دشت‌سر پوشیده	دشت‌سر ابتدای	دشت‌سر لخت	اندازه پیکسل
-	*	*	گروه اول
*	-	-	گروه دوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم
*	-	-	گروه سوم
-	-	*	گروه اول
-	*	-	گروه دوم

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در مطالعات ژئومورفومتری، تغییر در اندازه پیکسل باعث ایجاد اختلاف معنی‌دار در نتایج و مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری می‌گردد. در نتیجه می‌توان انتظار داشت چنانچه از مدل‌های رقومی ارتفاعی با ابعاد سلول متفاوت در محاسبات استفاده شود، انتظار حصول نتایج مختلفی وجود خواهد داشت. با توجه به این که هدف از استفاده مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری در مطالعات گوناگون متفاوت است، نمی‌توان مقدار عددی را به‌عنوان ابعاد بهینه پیکسل، در مطالعات مختلف در نظر گرفت؛ به‌عنوان مثال چنانچه هدف از استخراج مقادیر، استفاده در مطالعات خاک‌شناسی باشد، انتظار متفاوتی از نتایج کمی مطالعات ژئومورفولوژی خواهد بود. همچنین تغییر در تیپ دشت‌سرها نیز موجب تغییر در مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری می‌گردد. نتایج حاصل از آزمون دانکن، نشان داد که در کلیه پارامترهای مورفومتری تفاوت معنی‌داری بین هر سه نوع تیپ دشت‌سر وجود دارد یعنی کلیه پارامترها از نظر تفاوت در دشت‌سر لخت و اپانداژ و پوشیده به ۳ گروه تقسیم می‌گردند. تنها در پارامتر انحنا (Total Curvature) بین دشت‌سر لخت و فرسایشی تفاوت معنی‌داری در مقادیر پارامتر مشاهده نمی‌گردد و به دو گروه تقسیم می‌شود. در مقادیر این پارامتر بین دشت‌سر لخت و اپانداژ تفاوتی وجود ندارد اما مقدار پارامتر در دشت‌سر پوشیده از دو نوع دشت‌سر دیگر متفاوت می‌باشد. بنابراین می‌توان از این پارامترها به‌منظور تفکیک تیپ‌های دشت‌سر استفاده نمود.

منابع

- تازه، مهدی و کلانتری، سعیده. فتحی‌زاده، حسن. تقی‌زاده مهرجردی، روح‌الله. (۱۳۹۳)، طبقه‌بندی دشت‌سره‌های مناطق بیابانی براساس پارامترهای ژئومورفومتری، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴۰
- احمدی، حسن، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲، بیابان و فرسایش بادی، چاپ سوم، ۱۳۸۸، انتشارات دانشگاه تهران.
- بی‌همتا، محمدرضا. زارع چاهوکی، محمدعلی. اصول آمار در علوم منابع طبیعی. چاپ سوم. ۱۳۹۰. انتشارات دانشگاه تهران. ص. ۱۹۸-۱۹۹.
- عاشورلو، داوود. متکان، علی‌اکبر. کاظمی، آزاده. حسینی، امین. آزاد بخت، محسن. حاجب، محمد. غلام پور، علی. (۱۳۸۷) تعیین اندازه پیکسل جهت انجام محاسبات فیزیوگرافی حوضه آبریز برای نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران. فصلنامه زمین‌شناسی، سال دوم، شماره هشتم، صفحات ۴۷-۵۴.
- Dehn, M., G7rtner, H., Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures. *Comput. Geosci.* 27 (8), 1005–1010
- Pelletier, Jon D. How do pediments form: A numerical modeling in v h comparison to pediments in southern Arizona, USA, Department of Geosciences, Geological Society of America, 2010
- Pike, R.J., Dikau, R., 1995. Advances in geomorphometry. *Z. Geomorphol N.F. Suppl Bd 101*, 238 .
- Evans, I.S., 1972. General geomorphometry, derivatives of altitude and descriptive statistics. In: Chorley, R.J. (Ed.), *Spatial Analysis in Geomorphology*. Methuen, London, pp. 17–90.
- Li, Zhilin. Zhu, Qing. Gold, Christopher, *Digital Terrain Modeling , Principles and Methodology*, CRC PRESS, 2005
- Napieralski, J., Nalepa, N., 2010, The application of control charts to determine the effect of grid cell size on landform morphometry, *Computers & Geosciences*, 36, pp. 222–230
- Schmidt, J., Hewitt, A., 2004. Fuzzy land element classification from DTMs based on geometry and terrain position. *Geoderma* 121 (3–4), 243–256.
- Shary, P.A., 1995. Land surface in gravity points classification by a complete system of curvatures. *Mathematical Geology* 27, 373–390.
- Shary, P.A., Sharayab, L.S., Mitsov, A.V., 2002. Fundamental quantitative methods of land surface analysis. *Geoderma* 107, 1–43.
- Wood, J.D., 1996. The geomorphologic characterization of digital elevation models. PhD Dissertation, University of Leicester, UK.
- Young, A., 1978. *Slopes*. Oliver & Boyd, Edinburgh. 288 pp.
- Zevenbergen, L.W. and Thorne, C.R. (1987) *Quantitative analysis of land surface topography* *Earth Surface Processes and Landforms* 12, 47 – 56.