

ارزیابی شاخص‌های ژئومرفومتري در تفکیک نیمه خودکار تیپ‌های ژئومرفولوژی مناطق بیابانی (مطالعه موردی: محدوده شمال غرب اردکان)

مهدی تازه^۱، مریم اسدی^{۲*}، روح‌الله تقی‌زاده مهرجردی^۱، سعیده کلانتری^۱ و مجید صادقی‌نیا^۱

۱- استادیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، یزد، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری آبخیزداری، گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، کرج، ایران

پست الکترونیک: m.asadi96@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲۰

چکیده

نقشه‌های ژئومرفولوژی یکی از اصلی‌ترین لایه‌های اطلاعاتی در مطالعات منابع طبیعی می‌باشد. تاکنون روش‌های مختلفی برای طبقه‌بندی و تفکیک واحدها و تیپ‌های مختلف ژئومرفولوژی ارائه شده، که اغلب آنها بر پایه اطلاعات کیفی و توصیفی می‌باشد. در این مطالعه قابلیت استفاده از پارامترهای ژئومرفومتري در تفکیک واحد کوهستان از دشت‌سر و همچنین تفکیک تیپ‌های مختلف دشت‌سر بررسی شده است. ابتدا نقشه واقعیت زمینی با استفاده از تفسیر چشمی داده‌های ماهواره‌ای و نقشه توپوگرافی تهیه و بعد شبکه نمونه‌برداری ۱۰۰۰ نقطه‌ای به صورت تصادفی طراحی شد. پارامترهای انحنای مقطع، انحنای سطح، تاوانت انحنای، انحنای متقاطع، انحنای طول و انحنای عمومی از مدل رقومی ارتفاعی و با استفاده از ابزار الحاقی DEM surface در نرم‌افزار GIS تهیه شد و بعد مقادیر آنها در تمامی نقاط شبکه نمونه‌برداری استخراج گردید. سپس از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار ۱۳-۶-۴ به منظور تفکیک تیپ‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که امکان تفکیک تیپ‌های دشت‌سر لخت از اپانداژ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی وجود داشته ولی تفکیک دشت‌سر اپانداژ از پوشیده به خوبی انجام نمی‌شود. بدین منظور برای بهبود عملکرد شبکه، اقدام به اضافه کردن ارزش رقومی داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ به مقادیر قبلی گردید. به طوری که استفاده از این شبکه با در نظر گرفتن همزمان پارامترهای ژئومرفومتري و تصاویر ماهواره‌ای، دقت تفکیک واحد کوهستان، دشت‌سر لخت، دشت‌سر اپانداژ و دشت‌سر پوشیده به ترتیب ۹۰، ۷۹، ۸۰ و ۷۶ درصد دارای صحت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای ژئومرفومتري، مناطق بیابانی، شبکه عصبی مصنوعی، تصاویر ماهواره‌ای، روش‌های نیمه خودکار.

مقدمه

مختلف به‌شمار می‌رود. عوارضی مانند یال‌ها و ستیغ‌ها و سایر عوارض ژئومرفومتري می‌توانند در تفکیک واحدهای مختلف ژئومرفومتري مورد استفاده قرار گیرند. تجزیه و تحلیل عوارض سطح زمین موضوع علم ژئومرفومتري است که تاکنون فرضیه‌ها، نظریه‌ها و مدل‌های مختلفی نیز برای

نقشه‌های ژئومرفولوژی نشانگر واحدهای ژئومرفولوژی می‌باشند و یکی از پرکاربردترین نقشه‌ها در مطالعات منابع طبیعی می‌باشند (Tazeh, 2012). تفاوت در مرفولوژی ناهمواری‌ها یکی از مهمترین عوامل در تفکیک تیپ‌های

مانند مغز انسان از تعداد زیادی نرون تشکیل شده است. از مزیت‌های عمده این سیستم‌ها این است که این شبکه‌ها مانند مغز انسان دارای قابلیت یادگیری می‌باشند. شبکه عصبی از مجموعه‌ای از نرون‌ها که به یکدیگر متصل شده‌اند و ایجاد گره کرده‌اند تشکیل شده است که مهمترین وظیفه آنها دریافت اطلاعات از نرون همسایه به‌عنوان ورودی و انتساب پارامتر وزن به هریک از ورودی‌ها و در نهایت ارسال پاسخ محاسبه شده به سایر نرون‌های شبکه به‌عنوان ورودی می‌باشد (Atkinson & Tatnall, 1977). هر شبکه از دو لایه ورودی و خروجی و چندین لایه مخفی که بین لایه‌های ورودی و خروجی قرار گرفته است تشکیل شده‌است، به این‌چنین شبکه‌ای، شبکه چند لایه‌ای پرسپترون (MLP) گفته می‌شود. تعداد نرون‌های لایه ورودی برابر با تعداد بردار ویژگی ورودی است. لایه دوم، لایه پنهان است که شامل یک یا چندین لایه است، این لایه شامل تعدادی گره‌های محاسبه‌گر می‌باشد و لایه سوم لایه خروجی است که پاسخ شبکه عصبی به بردار الگوی ورودی را فراهم می‌سازد. تعداد نرون‌ها در این متناظر برابر با تعداد کلاس‌هایی است که توسط شبکه عصبی باید متمایز شود. عملکرد کلی شبکه‌های عصبی به این ترتیب است که اطلاعات ورودی از طریق گره‌های لایه ورودی به شبکه وارد می‌شود (Ramazankhani et al., 2011).

Saif و Mohammadi (۲۰۱۳) به جداسازی واحدهای ژئومرفیک حوضه آبی میغان با استفاده از تکنیک GIS و RS پرداختند و نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق توانایی فن‌سنجش از دور و GIS برای شناسایی و تفکیک واحدهای ژئومورفولوژی را به خوبی نشان می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر Saif و Mohammadi (۲۰۱۱) به شناسایی و جداسازی رخساره‌های ژئومورفولوژی بخشی از پلاایای گاوخونی با استفاده از قابلیت RS و GIS پرداختند که نتایج آنان نیز نشان‌دهنده قابلیت فن‌سنجش از دور و GIS در تفکیک و شناسایی واحدها و تهیه نقشه ژئومورفولوژی می‌باشد. Tazeh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی و تعیین مهمترین پارامترهای گرانولومتری سنگفرش بیابان در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت‌سر پرداختند که نتایج آنان نیز

شکل‌گیری، توسعه و تکوین آنها ارائه شده است (Pelletier, 2010). ژئومرفومتری زیرمجموعه از ژئومورفولوژی است که به اندازه‌گیری کمی و کیفی عوارض سطح زمین می‌پردازد (Dehn, 2001). واحدهای ژئومورفولوژی شامل واحدهای کوهستان، دشت‌سر و پلایا می‌باشند. کوهستان یکی از سه واحد اصلی ژئومورفولوژیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. طبق تعریف کوهستان به اراضی گفته می‌شود که دارای شیب بالاتر از ۲۰ درصد و ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر می‌باشد (Ahmadi, 2009). از محل شکست شیب واحد کوهستان مرز مناطق دشتی شروع می‌شود. در میان ناهمواری‌های مناطق خشک، دشت‌سر‌ها از مهمترین واحدهای ژئومورفولوژی در این مناطق به‌شمار می‌روند، چون علاوه بر اینکه در آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق خشک نقش اساسی دارند، از نظر مطالعه آب‌های سطحی و استفاده از سیلاب‌ها و یا به‌عبارت دیگر در طرح‌های پخش سیلاب با توجه به کمبود آب در این مناطق، شناخت دشت‌سر‌ها ضروری به‌نظر می‌رسد. شیب دشت‌سر‌ها از بالا به طرف پایین کاهش می‌یابد. دشت‌سر اغلب به وسیله پوششی از مواد رسوبی پوشیده شده است که ضخامت آن متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که نزدیک کوهستان در محل برخورد با دشت‌سر و یا در محل تلاقی دره فرعی با دره‌های اصلی ضخامت نهشته‌ها افزایش می‌یابد. این واحد رسوبات آبرفتی دوره چهارم می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۷). تفکیک بصری تیپ‌های مختلف ژئومرفومتری و تعیین مرز جدایی واحدها کاری بسیار دشوار و سخت می‌باشد و با توجه به متفاوت بودن نتایج حاصل از تفکیک بصری امکان تطابق نقشه‌های حاصل از آن ناممکن می‌باشد. در این مطالعه به‌منظور تفکیک واحدهای ژئومورفومتری به وسیله پارامترهای ژئومورفومتری و باندهای داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه استفاده شده است. استفاده از شبکه عصبی امکان تفکیک دقیق واحدها و تیپ‌های مختلف را برای ما فراهم آورده است. استفاده از این روش خطای ناشی از تفکیک بصری را کاهش خواهد داد. سیستم شبکه عصبی مصنوعی از مغز و سیستم عصبی انسان الهام گرفته شده و

و مرز هریک از واحدها مشخص گردید و بعد نقشه واحدهای ژئومرفولوژی منطقه مورد مطالعه با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای در کنار سایر اطلاعات رقومی مثل نقشه‌های توپوگرافی، شیب و شبکه آبراهه‌ها تهیه گردید. نقشه به دست آمده با استفاده از مطالعات میدانی تصحیح و تکمیل شد. در این مطالعه به منظور تفکیک واحدهای ژئومرفولوژی از روش احمدی (۱۳۸۷) استفاده شده است. در این طبقه‌بندی دشت سر لخت یا فرسایشی دارای شیب ۵ تا ۲۰ درصد می‌باشد. ضخامت رسوبات آبرفتی کم و بیرون‌زدگی‌های سنگی که مربوط به سازندهای مناطق کوهستانی است فراوان دیده می‌شود. دشت سر آپانداژ نیز که محل پخش سیلاب نیز گفته می‌شود دارای شیب ۲ تا ۵ درصد با ضخامت متوسط رسوبات می‌باشد. تپ دشت سر پوشیده دارای شیب ۱ تا ۴ درصد، ضخامت رسوبات زیاد و قطر رسوبات آن کم می‌باشد. حد فاصل خط مرزی کوهستان و دشت سر توسط منحنی عطف یا خط کنیک، که به آن مرز دوران سوم و دوره چهارم نیز اطلاق می‌شود، مشخص می‌گردد.

سپس با استفاده از اعمال معادلات بر روی مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری SRTM کلیه پارامترهای ژئومرفومتری از قبیل انحنای مقطع و انحنای سطح و تاثرات انحنای و انحنای متقاطع و انحنای طول و انحنای عمومی استخراج گردید. Wood (۱۹۶۶) الگوریتم‌های عددی را برای توصیف کمی ناهمواری‌ها با استفاده از تعداد محدودی عدد و رقم برای طبقات مرفومتری و شکل‌های آن ارائه کرد. در مطالعات وی پارامترهای حداقل انحنای و حداکثر انحنای نیز ارائه گردیده است اما در این مطالعه تنها از پارامترهایی که ابزار الحاقی DEM surface قادر به ساخت آن می‌باشد استفاده شده است. قواعد تعریف شده برای هر کلاس مرفومتری، بر پایه مقدار شیب و تقعر آن بنا نهاده شده است که هر دو از مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌گردد. Zevenbergen و Thorne در سال ۱۹۸۷، رابطه چند جمله‌ای درجه دو را برای محاسبه پارامترهای ژئومرفومتری ارائه کردند.

نشان داد که شاخص قطره‌های ۲۰٪، ۲۵٪، ۵۰٪ کارایی بیشتری را نسبت به بقیه قطرها در تفکیک تپ‌های مختلف دشت سر دارد. Ehsani و Forotan (۲۰۱۴) به طبقه‌بندی نیمه اتوماتیک ژئومرفومتریکی یارادانگ‌های لوت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پرداخته‌اند که نتایج حاصل از کار آنان نیز نشان داد که پارامتر انحنای سطحی و چرخش و انتگرال ارتفاع سنجی، انحنای تجمعی، شیب و انحنای حدی و متوسط انحنای بهینه‌ترین پارامترهای مرفومتریکی برای جداسازی یارادانگ‌ها می‌باشند. هدف از این مطالعه بررسی امکان تفکیک واحدهای ژئومرفولوژی با استفاده از مقادیر کمی پارامترهای ژئومرفومتری و مقادیر DN در باندهای تصاویر ماهواره‌ای، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌باشد. در واقع کمی کردن روش تفکیک واحدها و تپ‌های ژئومرفولوژی نتیجه این مطالعه خواهد بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، در حاشیه غرب تا شمال غرب مسیر اردکان- نائین در فاصله ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری از شهر اردکان، با مساحت ۹۲۴۷۴ هکتار می‌باشد و از تنوع ژئومرفولوژیکی خوبی نیز برخوردار بوده و ۲ واحد ژئومرفولوژی کوهستان و دشت سر و همچنین انواع تپ‌های مختلف دشتی در آن وجود دارد. واحد کوهستان، دشت سر لخت، آپانداژ و پوشیده به ترتیب ۱۶/۸، ۳۶، ۳۱ و ۱۶ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شوند. آپانداژ و پوشیده به ترتیب ۱۶۰۳، ۱۲۲۴/۳۶، ۱۰۳۷/۷۷ و ۹۴۹/۳۱ متر می‌باشد.

در این مطالعه به منظور تفکیک واحدهای ژئومرفومتری از پارامترهای ژئومرفومتری مشتق شده از مدل رقومی ارتفاعی و باندهای داده‌های ماهواره‌ای لندست ۷ ETM+ استفاده شده است. در ابتدا واحد کوهستان و دشت سر و تپ‌های مختلف دشت سر که شامل دشت سر پوشیده، آپانداژ و لخت می‌باشد بر روی تصاویر Google Earth تفکیک شد

$$Z = AX^2Y^2 + BX^2Y + CXY^2 + DX^2 + EY^2 + FXY + GX + HY + I$$

که در این رابطه:

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

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

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

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

$$E = \frac{\frac{(Z_2 + Z_8)}{2} - Z_5}{L^2}$$

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

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

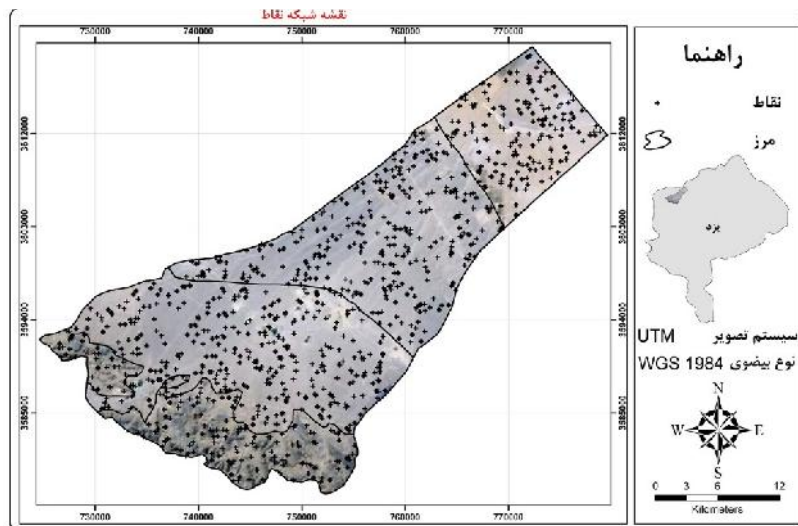
$$H = \frac{(Z_2 - Z_8)}{2L}$$

$$I = Z_5$$

L = gridsize

سپس در محدوده منطقه مورد مطالعه، اقدام به طراحی شبکه نمونه‌برداری تصادفی به تعداد ۱۰۰۰ نقطه گردید. شکل ۱ نقشه شبکه نمونه‌برداری تصادفی را بر روی تصویر Google Earth نشان می‌دهد.

در این معادلات پارامتر Z مقدار ارتفاع سلول‌ها با در نظر گرفتن یک پنجره ۳×۳ از سلول‌ها می‌باشد که مقادیر ارتفاع هریک از نه سلول به صورت Z_۱ تا Z_۹ نشان داده می‌شود.



شکل ۱- شبکه نمونه‌برداری تصادفی بر روی تصویر Google Earth

بدین منظور مقادیر DN در کلیه نقاط نمونه برای تمامی باندها استخراج گردید. داده‌ها قبل از ورود به شبکه عصبی استانداردسازی شده‌اند یعنی در دامنه ۰/۱ تا ۰/۹ قرار گرفته‌اند.

مقادیر پارامترهای ژئومرفومتری در تمامی نقاط شبکه نمونه‌برداری تصادفی استخراج گردید. همچنین در این مطالعه به منظور تفکیک بهتر تپ‌های دشت سر از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ ماهواره لندست ۷ استفاده شد.

بیشترین اثر کاهشی را دارند انتخاب می‌شوند. در واقع هدف از آنالیز حساسیت داده‌ها تعیین میزان تأثیر تغییرات موجود در پارامترهای ورودی بر تغییرات موجود در داده‌های خروجی است و از این طریق می‌توان تعیین نمود که در مورد هر یک از خروجی‌ها کدامیک از پارامترهای ورودی دارای بیشترین حساسیت و یا فاقد حساسیت می‌باشد و در این مطالعه می‌توان درصد اهمیت هر یک از پارامترهای ژئومرفومتری و همچنین باندهای داده‌های ماهواره‌ای را در کاهش خطای تفکیک تیپ‌های ژئومرفولوژی مشخص کرد.

نتایج

نتایج تجزیه و تحلیل آماری هر یک از باندها و پارامترها در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. در این جدولها ابتدا متغیرهای آماری در باندهای مختلف تصویر ماهواره‌ای در تیپ‌های مختلف محاسبه و منظور شده است. این داده‌ها شامل میانگین ارزش رقومی در هر باند و هر تیپ، مقادیر حداکثر، حداقل، انحراف معیار و ضریب تغییرات می‌باشد.

توپولوژی شبکه عامل مهم در طراحی شبکه عصبی مصنوعی است، زیرا این ساختار بر سرعت یادگیری و صحت طبقه‌بندی نهایی اثر دارد. پارامترهای شبکه عصبی با استفاده از روش سعی و خطا بهینه شدند و بر اساس آن تعداد لایه ورودی ۱۳ لایه می‌باشد، که شامل پارامترهای ژئومرفومتری انحنای مقطع، انحنای سطح، تانژانت انحنای انحنای متقاطع، انحنای طول و انحنای عمومی و باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و ۱۳ می‌باشد و لایه‌های خروجی ۴ لایه می‌باشد که شامل واحدهای کوهستان، دشت سر پوشیده، دشت سر ایپانداژ و دشت سر لخت است و همچنین تعدادی لایه مخفی نیز که بین لایه ورودی و خروجی قرار گرفته است ۶ نرون می‌باشد. بدین ترتیب شبکه دارای ساختار ۱۳_۶_۴ می‌باشد. تعداد نرون‌ها در لایه ورودی و خروجی با هم برابر می‌باشد. همچنین به منظور ارزیابی هر یک از پارامترهای ورودی در تفکیک لایه‌های خروجی از آنالیز حساسیت استفاده شد. از آنالیز حساسیت در نرم‌افزار نروسلوشین استفاده گردید. در این روش میزان تأثیر هر یک از ورودی‌ها بر روی میزان کاهش خطا مورد بررسی قرار می‌گیرد و متغیرهایی که

جدول ۱- تحلیل آماری باندهای داده‌های ماهواره‌ای

کوهستان	دشت سر لخت	دشت سر اپانداژ	دشت سر پوشیده	نوع تیپ
۱۷۴	۳۴۵	۳۰۵	۱۷۴	تعداد داده
۸۴/۲۱	۹۳/۴۸	۹۴/۰۳	۱۰۱/۱۰	میانگین
۱۸۲	۲۵۵	۱۱۱	۱۳۰	حداکثر
۴۹	۴۹	۸۶	۸۲	حداقل
۱۵/۲۹	۱۵/۴۵	۴/۰۹۱	۷/۷۲	انحراف معیار
۱۸/۱۶	۱۶/۵۳	۴/۳۵	۷/۴۵	ضریب تغییرات
۸۴/۲۱	۹۴/۴۴	۹۴/۳۲	۱۰۴/۶۵	میانگین
۱۷۱	۲۵۰	۱۱۸	۱۳۶	حداکثر
۳۸	۳۷	۸۴	۸۱	حداقل
۱۶/۲۶	۱۵/۴۹	۶/۱۷	۸/۴۳	انحراف معیار
۱۹/۳۱	۱۶/۴۰	۶/۵۵	۸/۰۶	ضریب تغییرات
۱۰۹/۵۹	۱۲۱/۶	۱۲۱/۳۸	۱۳۸/۲۸	میانگین
۲۰۲	۲۵۵	۱۶۰	۱۷۸	حداکثر
۴۰	۳۹	۱۰۵	۹۸	حداقل
۲۲/۳۴	۱۸/۰۷	۹/۹۳	۱۰/۹	انحراف معیار
۲۰/۳۹	۱۴/۸۶	۸/۱۸	۷/۸۷	ضریب تغییرات
۸۵/۰۱	۹۰/۷۷	۸۹/۵۸	۱۰۲/۷۹	میانگین
۱۴۶	۱۹۶	۱۲۰	۱۳۰	حداکثر
۲۵	۲۴	۷۵	۸۰	حداقل
۱۷/۶	۱۳/۹۹	۷/۸۶	۷/۴	انحراف معیار
۲۰/۷۱	۱۵/۴۱	۷/۷۸	۷/۱۹	ضریب تغییرات
۱۰۹/۱	۱۱۳/۲۵	۱۱۰/۸۷	۱۱۹/۸۰	میانگین
۱۷۱	۱۸۳	۱۴۹	۱۵۴	حداکثر
۲۵	۲۵	۸۹	۸۸	کمترین داده
۲۴/۳۸	۱۶/۴۱	۹/۰۹	۹/۶۶	انحراف معیار
۲۲/۳۶	۱۴/۴۹	۸/۲۰	۸/۰۶	ضریب تغییرات
۹۳/۴	۹۹/۴۱	۹۹/۱۶۷	۱۰۶/۸۴	میانگین
۱۴۷	۱۶۵	۱۳۵	۱۴۱	حداکثر
۲۲	۲۲	۷۹	۶۲	حداقل
۲۱/۳۵	۱۶/۶۳۹	۸/۱۹۳۶	۱۰/۹	انحراف معیار
۲۲/۸۶	۱۴/۷۲	۸/۲۶۲	۱۰/۲	ضریب تغییرات

جدول زیر پارامترهای آماری را در مورد پارامترهای ژئومرفومتری در تیپ‌های مختلف ژئومرفولوژی نشان می‌دهد.

جدول ۲- تحلیل آماری پارامترهای ژئومرفومتری

پارامتر	پارامتر آماری	دشت سر پوشیده	دشت سر اپانداژ	دشت سر لخت	کوهستان
شیب	میانگین	۰/۵۶	۰/۷۳۵	۲/۴۵	۲۸/۸۵
	حداکثر	۰/۹۸	۲/۴۶	۴۳/۰۱	۷۹/۹۹
	حداقل	۰/۱۱	۰/۲۲	۰/۶۰۸	۲/۴۶
	انحراف معیار	۰/۲۳	۰/۳۰	۲/۷۱	۱۹/۵۰
	ضریب تغییرات	۴۱/۵۳	۴۲/۰۰۹	۱۱۰/۶۷	۶۷/۵۹
انحنای عمومی	میانگین	-۰/۰۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۰۹۸	-۰/۰۰۰۶۵	-۰/۱۵
	حداکثر	۰/۰۰۵۵	۰/۰۷۲	۰/۵۷	۳/۰۲۵
	حداقل	-۰/۰۰۲۹	-۰/۰۶۰	-۱/۲۳	-۲/۵۹
	انحراف معیار	۰/۰۰۰۷۸۲	۰/۰۰۰۹۸۱	۰/۰۸۶	۰/۹۶۴
	ضریب تغییرات	-۲۷۲۲/۷۱	۹۹۷/۰۰۴	-۱۳۱۵/۳۸	-۶۴۱/۸۱
انحنای متقاطع	میانگین	-۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۶۲۵	-۰/۰۰۰۰۴۸	-۰/۰۷۰۳۹
	حداکثر	۰/۰۰۲۰	۰/۰۳۱	۰/۴۳۵	۲/۱۸
	حداقل	-۰/۰۰۲۲	-۰/۰۵۱۹	-۰/۳۱۲	-۲/۱۹
	انحراف معیار	۰/۰۰۰۴۰۳	۰/۰۰۰۶۶	۰/۰۳۶	۰/۶۵۵
	ضریب تغییرات	-۴۶۲/۳	۱۰۵۹/۰۸	۷۴۸۷/۷۰۳	۹۳۰/۶۱۳
انحنای طول	میانگین	-۰/۰۰۰۰۵۸	-۰/۰۰۰۰۳۵۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۷۹۸۱
	حداکثر	۰/۰۰۱۴۵	۰/۰۱۸۱	۰/۹۱۹	۱/۲۶
	حداقل	-۰/۰۰۵۴	-۰/۰۴۱	-۰/۱۴	-۳/۰۰۸
	انحراف معیار	۰/۰۰۰۶۵۵	۰/۰۰۴۸۵	۰/۰۵۷	۰/۵۰۵۴
	ضریب تغییرات	-۱۱۱۹/۹۱	-۱۳۵۲/۲۸	۹۴۷/۴۹	۶۳۳/۱۲۶
تانژانت انحنای	میانگین	-۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۰۶۲	-۰/۰۲۹۹
	حداکثر	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۸۹	۰/۲۱۶	۱/۱۱۲
	حداقل	-۰/۰۰۱۴۸	-۰/۰۰۳۶۷	-۰/۰۵۷۳	-۱/۱۲۴
	انحراف معیار	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۱۶۳	۰/۳۳
	ضریب تغییرات	-۴۶۳/۷۴	۱۱۱۶/۸۷۷	۲۶۱۵/۷۴	-۱۱۰۲/۰۷
انحنای سطح	میانگین	-۰/۰۱۱۵	۰/۰۵۲۵	-۰/۰۱۳۵	-۰/۱۶۴
	حداکثر	۰/۲۴۰	۵/۶۰۱	۲/۶۵۴	۷/۱۷
	حداقل	-۰/۴۷۹	-۳/۸۲	-۳/۰۹	-۷/۲۲۷
	انحراف معیار	۰/۰۶۹۸	۰/۵۶	۰/۴۴۸	۱/۷۱۱
	ضریب تغییرات	-۶۰۶/۶۵	۱۰۶۵/۵۷	-۳۳۰۸/۴۵	-۱۰۳۸/۷۸
انحنای مقطع	میانگین	-۰/۰۰۰۰۳۷	-۰/۰۰۰۰۱۴۴	۰/۰۰۰۳۷	۰/۰۴۰۷
	حداکثر	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۱۳۳	۰/۵۰۸	۰/۵۸۲
	حداقل	-۰/۰۰۲۹	-۰/۰۲۲۱	-۰/۰۷۰۱	-۱/۴۷
	انحراف معیار	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۰۰۲۵	۰/۰۳۲	۰/۲۵
	ضریب تغییرات	-۹۵۸/۰۸	-۱۷۷۶/۰۶	۸۶۳/۳۸	۶۱۶/۷۶

ارتفاعی پارامترهای ژئومرفومتری تهیه گردید. نقشه پارامترهای ژئومرفومتری مورد استفاده در مطالعه در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

در این مطالعه مدل رقومی با ابعاد سلول 30×30 استفاده شده است که از روی نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری تهیه شده است. با استفاده از این مدل رقومی



شکل ۲- تصاویر پارامترهای ژئومرفومتری منطقه

اپانداژ به‌خوبی وجود دارد ولی استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری در تفکیک تیپ‌های دشت‌سر اپانداژ از پوشیده دارای محدودیت می‌باشد. جدول ۳ ماتریس خطا را در هریک از واحدهای مذکور نشان می‌دهد.

استفاده پارامترهای ژئومرفومتری تفکیک واحد کوهستان از واحد دشت‌سر و همچنین تفکیک تیپ‌های مختلف دشت‌سر باشد، در چنین حالتی واحد کوهستان از دشت‌سر به‌خوبی تفکیک پذیر می‌باشد. در بین تیپ‌های مختلف واحد دشت‌سر، امکان تفکیک دشت‌سر لخت از

جدول ۳- ماتریس خطای واحدهای تفکیک شده بر اساس پارامترهای ژئومرفومتری

دقت کاربر	کوهستان	دشت‌سر لخت	دشت‌سر اپانداژ	دشت‌سر پوشیده	خروجی
۰	۰	۰	۰	۰	دشت‌سر پوشیده
۰/۵۶	۰	۲	۳۷	۲۷	دشت‌سر اپانداژ
۰/۶۶	۷	۶۹	۲۵	۳	دشت‌سر لخت
۱	۳۰	۰	۰	۰	کوهستان
دقت کل: ۰/۶۸	۰/۸۱	۰/۹۷	۰/۵۹	۰	دقت تولید کننده

با توجه به نتایج اولین شبکه عصبی، اقدام به تلفیق مقادیر اعداد رقومی (DN) داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری به منظور تفکیک بهتر تیپ‌های دشت سر گردید. بدین ترتیب که مقدار DN پیکسل‌ها در محل نقاط نمونه استخراج و دوباره وارد شبکه عصبی مصنوعی گردید. نتایج ماتریس خطای این شبکه عصبی در جدول ۴ ارائه شده است.

برای تعیین دقت طبقه‌بندی از ماتریس خطا استفاده شد. همان‌طور که در جدول بالا ملاحظه می‌شود دقت شبکه در جداسازی واحد کوهستان بسیار قابل ملاحظه می‌باشد تا جایی که دقت تولیدکننده یک می‌باشد، اما دقت در مورد تفکیک دو تیپ دشت سر اپانداز و پوشیده از هم بسیار کم می‌باشد که نشان می‌دهد مقادیر پارامترهای ژئومورفومتری در این دو تیپ تفاوت چندانی نداشته و این دو تیپ با اعمال این شبکه قابل تفکیک نمی‌باشند.

جدول ۴- ماتریس خطای واحدهای تفکیک شده بر اساس باندهای داده‌های ماهواره‌ای

خروجی	دشت سر پوشیده	دشت سر اپانداز	دشت سر لخت	کوهستان	دقت کاربر
دشت سر پوشیده	۳۲	۹	۱	۰	۰/۷۶
دشت سر اپانداز	۱	۴۸	۲۰	۰	۰/۶۹
دشت سر لخت	۴	۷	۴۶	۵	۰/۷۴
کوهستان	۰	۰	۵	۲۳	۰/۸۱
دقت تولید کننده	۰/۸۶	۰/۷۵	۰/۶۳	۰/۸۱	دقت کل: ۰/۷۴

به منظور تفکیک تیپ‌های مختلف نیز بیشتر از استفاده از پارامترهای ژئومورفومتری می‌باشد.

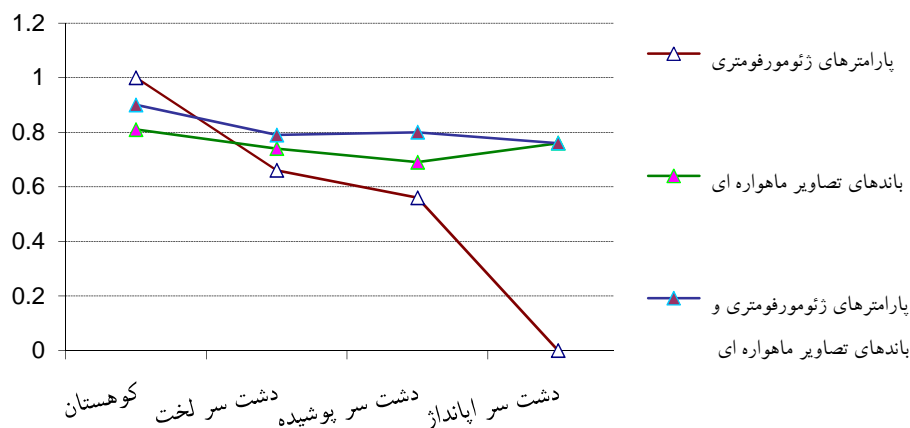
نتایج حاصل از اعمال شبکه عصبی مصنوعی سوم که بر اساس پارامترهای ژئومورفومتری و باندهای تصاویر ماهواره‌ای به طور همزمان در جدول ۵ ارائه گردیده است. با توجه به افزایش دقت تفکیک تیپ‌ها با استفاده از باندها داده‌های ماهواره‌ای در این شبکه به طور همزمان از پارامترهای ژئومورفومتری و باندهای داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد.

بررسی خطای ماتریس نشان داد که دقت تفکیک تمام تیپ‌ها بیشتر شده است. دقت کلی در این شبکه ۰/۸۰ شده است و این شبکه نسبت به دو شبکه قبلی توانایی بیشتری در تفکیک تیپ‌های ژئومورفولوژی دارد. تفاوت دقت تفکیک هر چهار تیپ در هر سه شبکه در شکل ۳ ارائه شده است.

نتایج ماتریس خطا در شبکه عصبی دوم نشان داد که دقت تفکیک تیپ‌های دشت سر پوشیده و اپانداز در این شبکه بیشتر شده است و این شبکه قادر به تفکیک این دو تیپ به خوبی می‌باشد و به طور کلی در این شبکه دقت در تیپ‌های دشت سر پوشیده و اپانداز بیشتر شده است، این امر بدین علت است که تفاوت دشت سر لخت و اپانداز به طور عمده در وضعیت توپوگرافی و ناهمواری موجود در آنها می‌باشد. ولی تفاوت موجود در دشت سر اپانداز و پوشیده به علت تغییر در بافت خاک، اندازه ذرات و در نهایت رنگ آنها می‌باشد و تفاوت خاصی در ناهمواری این دو دیده نمی‌شود. البته تفاوت رنگ و بازتابش در تیپ‌های دشت سر پوشیده و اپانداز شدید می‌باشد. به همین علت افزودن مقادیر رقومی داده‌های ماهواره‌ای موجب بهبود محسوس شبکه در تفکیک تیپ‌های دشت سر اپانداز و پوشیده گردیده است. دقت کلی استفاده از باندهای داده‌های ماهواره‌ای

جدول ۵- ماتریس خطای واحدهای تفکیک شده بر اساس پارامترهای ژئومرفومتری و باندهای تصاویر ماهواره‌ای

خروجی	دشت سر پوشیده	دشت سر ایانداز	دشت سر لخت	کوهستان	دقت کاربر
دشت سر پوشیده	۴۲	۹	۴	۰	۰/۷۶
دشت سر ایانداز	۲	۶۸	۱۴	۰	۰/۸۰
دشت سر لخت	۰	۹	۶۲	۷	۰/۷۹
کوهستان	۰	۰	۳	۳۰	۰/۹۰
دقت تولید کننده	۰/۹۵	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۸۱	دقت کل: ۰/۸۰

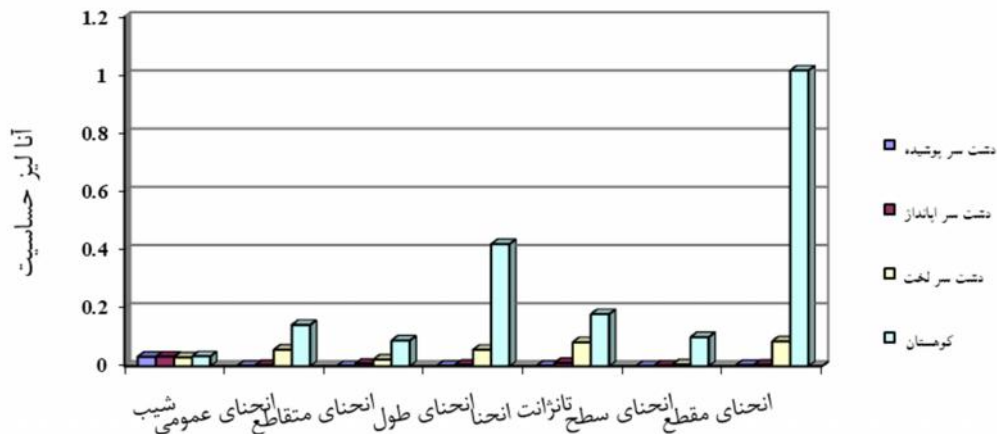


شکل ۳- بررسی دقت کاربری در هر سه شبکه عصبی مصنوعی اعمال شده

دشت‌سرهای لخت و ایانداز به‌طور عمده از سنگریزه‌های تخریب شده از مناطق کوهستانی فوقانی می‌باشد، بنابراین دارای بازتابش طیفی یکسانی بوده و افزودن آنها موجب تغییری زیادی در تفکیک‌پذیری مناطق کوهستانی نشده است.

نتایج به‌دست آمده از آنالیز حساسیت نتایج مربوط به آنالیز حساسیت پارامترهای ژئومرفومتری در تفکیک تیپ‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.

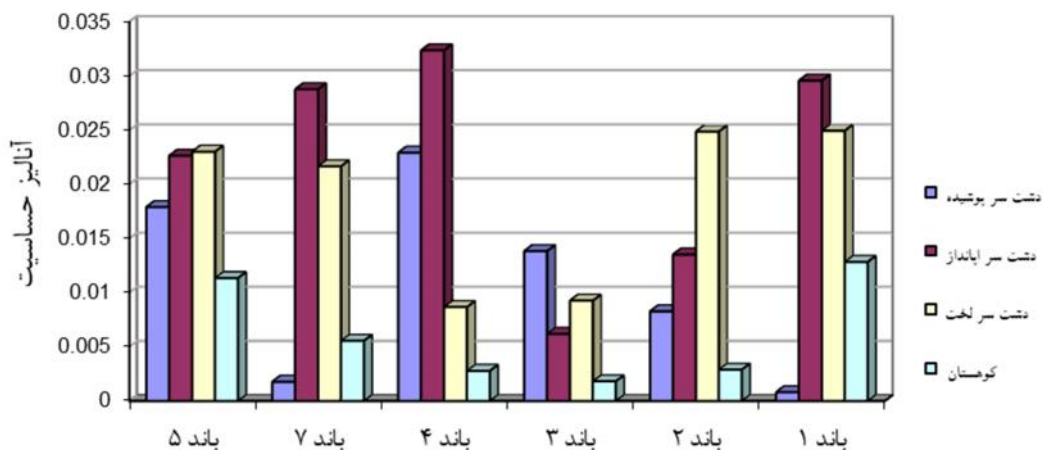
دقت در مورد واحد کوهستان در هر سه شبکه تقریباً برابر و بیشترین دقت را دارا می‌باشد که بیانگر این است که واحد کوهستان در هر دو شبکه به راحتی قابل تفکیک می‌باشد. در مورد تفکیک‌پذیری مناسب واحد کوهستان در هر سه شبکه می‌توان چنین توضیح داد که مناطق کوهستانی دارای اختلاف خاصی در ارتفاع، شیب و تمامی پارامترهای ژئومرفومتری هستند، از این‌رو استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری برای تفکیک آنها از تیپ‌های دشت‌سر کفایت می‌کند و از آنجایی که جنس ذرات تشکیل‌دهنده



شکل ۴- نمودار آنالیز حساسیت بر اساس پارامترهای ژئومرفومتری

می‌باشد و می‌تواند برای تفکیک پارامترها مورد استفاده قرار گیرند. همانطور که نتایج آنالیز حساسیت و ماتریس خطا نشان داد برای تفکیک تیپ‌های دشت‌سر پوشیده و اپانداز پارامترهای ژئومرفومتری به تنهایی کافی نمی‌باشد. نتایج حاصل از آنالیز حساسیت باندهای داده‌های ماهواره‌ای در تفکیک تیپ‌های ژئومرفولوژی در شکل ۵ آورده شده است.

باتوجه به نمودار آنالیز حساسیت این نتیجه مشخص گردید که در مورد تیپ کوهستان پارامتر انحنای مقطع دارای بیشترین حساسیت می‌باشد و می‌توان برای تفکیک این پارامتر از آن استفاده نمود و در مورد سایر تیپ‌های دشت‌سر نیز به ترتیب برای دشت‌سر پوشیده پارامتر شیب و دشت‌سر اپانداز پارامتر شیب و دشت‌سر لخت پارامترهای انحنای مقطع و تانژانت انحنای دارای بیشترین حساسیت



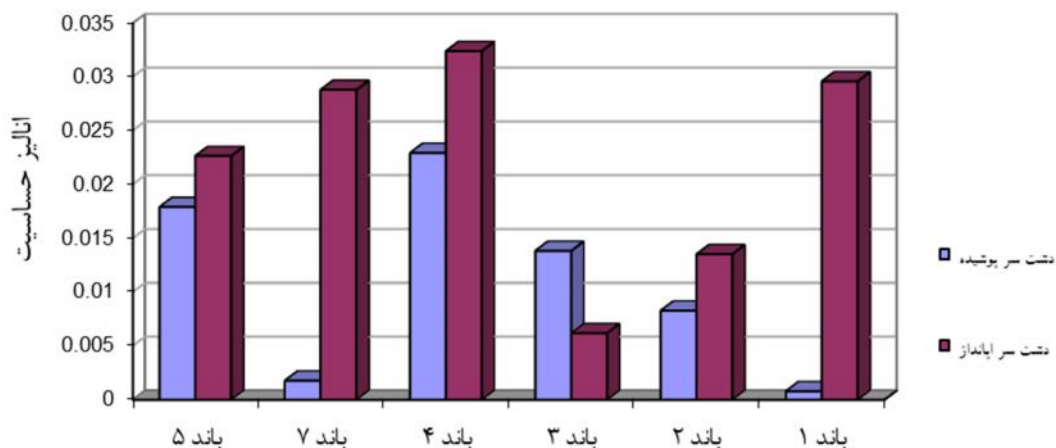
شکل ۵- نمودار آنالیز حساسیت بر اساس باندهای تصاویر ماهواره‌ای

کمترین حساسیت می‌باشند. در دشت‌سر لخت نیز باندهای ۱ و ۲ دارای بیشترین حساسیت و ۳ و ۴ دارای کمترین حساسیت هستند و در دشت‌سر پوشیده و اپانداز که در

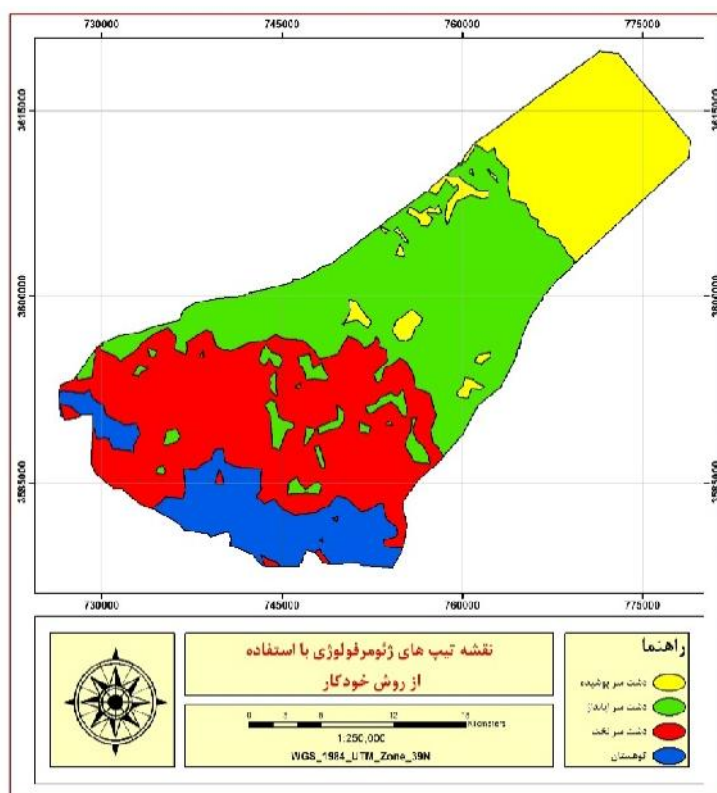
نتایج حاصل از انجام آنالیز حساسیت در مورد باندهای تصاویر ماهواره‌ای نیز نشان داد که واحد کوهستان باندهای ۱ و ۵ دارای بیشترین حساسیت و باندهای ۳ و ۴ دارای

باند‌های ۱ و ۷ دارای کمترین حساسیت است. به دلیل اهمیت باندها در تفکیک این دو تیپ دشت‌سر منحنی آنها به طور جداگانه در شکل ۶ ارائه شده است.

استفاده از پارامترهای ژئومرفومتری به راحتی قابل تفکیک نبودند، دشت‌سر اپانداز در باندهای ۴ و ۷ و ۱ دارای بیشترین حساسیت می‌باشد، در حالی که دشت‌سر پوشیده در



شکل ۶- تفاوت نتایج آنالیز دشت‌سر لخت و دشت‌سر اپانداز



شکل ۷- نقشه تیپ‌های ژئومرفومتری به روش خودکار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

به‌عنوان یک مدل نیمه خودکار در تفکیک تیپ‌های مذکور استفاده کرد. نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات Saif و Mohammadi (۲۰۱۲) که با استفاده از دورسنجی و GIS به جداسازی واحدهای ژئومرفیک دشت میغان پرداخته‌اند مطابقت دارد، هر چند که واحدهای ژئومرفیک برابر تیپ‌های ژئومرفولوژی نمی‌باشند. اما در سایر مطالعات، Taze و همکاران (۲۰۱۴) و Ehsani و Forotan (۲۰۱۴) به قابلیت استفاده از شبکه‌های عصبی در مطالعات ژئومرفولوژی اشاره کرده‌اند که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H., 2008. Applied Geomorphology. Volume 2 Wind erosion. Tehran University Press.
- Atkinson, P. M. and Tatnall, A. L., 1997. Neural Networks in Remote Sensing, Journal of Remote Sensing. 18(4): 699-709.
- Dehn, M., Gurtner, H. and Dikau, R., 2001. Principles of semantic modeling of landform structures. Comput, Journal of Geoscience. 27(8): 1005- 1010.
- Ehsani, A. H. and Forotan, M., 1393. Semi-Automatic Geometric Classification of Lut Yardangs with Artificial Neural Networks. Journal of Range and Watershed natural resources. 67(3):359-380.
- Pelletier, J. D., 2010. How do pediments form?: A numerical modeling investigation with comparison to pediments in southern Arizona, USA. Department of Geosciences, University of Arizona, Geological Society of America.
- Ramazankhani, S., Mokhtarzadeh, M. And Sahebi, M., 2011. Compare the resolution of agricultural products on the classification of multi-temporal statistical methods and artificial neural network. Eighteenth National Congress Geomatics.
- Seif, A. and Mohammadi, M., 2011. Separation and Recognition of Geomorphic Facies in Part of Gavkhouni Playa using RS and GIS Techniques, Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 63(4): 471-488.
- Saif, A. and Mohammadi, M., 2012. Identification and separation of geomorphic units of Mighan water basin using RS and GIS. Third National Conference on Desertification and Sustainable Development of Iran's Desert Lagoon.
- Tazeh, M., Zahtabian, Gh., Ahmadi, H., Nazari Samani, A. and Ehsani, A., 2014. Determining Best

در نهایت پس از آزمون شبکه، اقدام به طبقه‌بندی سایر مناطق در محدوده مورد مطالعه گردید. بدین ترتیب با وارد کردن مقادیر ارزش رقومی پیکسل‌ها و همچنین مقادیر پارامترهای ژئومرفومتري بدست آمده، در شبکه عصبی اقدام به طبقه‌بندی تمامی پیکسل‌های موجود در محدوده مورد مطالعه گردید. سپس شبکه نقاط به‌دست آمده به نقشه طبقات مختلف دشت‌سر تبدیل شد. شکل ۷ نقشه تیپ‌های مختلف ژئومرفومتري را با استفاده از طبقه‌بندی در شبکه عصبی نشان می‌دهد. دقت تفکیک در نقشه به‌دست آمده در واحد کوهستان، دشت‌سر لخت، دشت‌سر اپانداژ و پوشیده به ترتیب برابر ۹۰، ۷۹، ۸۰ و ۷۶ درصد می‌باشد.

بحث

هدف از این مطالعه دستیابی به روش‌های نیمه خودکار در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت‌سر بوده است که نتایج نشان می‌دهد استفاده همزمان از پارامترهای ژئومرفومتري به‌همراه کاربرد همزمان داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی دارای نتایج قابل قبولی می‌باشد. استفاده از پارامترهای ژئومرفومتري به تنهایی توان تفکیک تیپ‌های کوه، دشت‌سر لخت و دشت‌سر اپانداژ را دارا می‌باشد ولی قابلیت تفکیک تیپ دشت‌سر اپانداژ را از پوشیده ندارد. دلیل این امر را می‌توان در نزدیک بودن میزان ناهمواری و توپوگرافی در این دو تیپ دشت‌سر در نظر گرفت. از آنجا که پارامترهای ژئومرفومتري بطور مستقیم با وضعیت ناهمواری‌ها ارتباط دارد، با استفاده از پارامترهای ژئومرفومتري نمی‌توان این دو تیپ را از یکدیگر تفکیک نمود. ولی با توجه به اختلاف شدید در وضعیت سنگفرش و دانه‌بندی ذرات در تیپ‌های دشت‌سر اپانداژ و پوشیده، شاهد تفاوت فاحش در بازتابش طیفی در سطح این دو تیپ دشت‌سر هستیم. استفاده از داده‌های ماهواره‌ای این اختلاف در بازتابش طیفی را بخوبی نشان می‌دهد. در نهایت استفاده همزمان از پارامترهای ژئومرفومتري و تصاویر ماهواره‌ای امکان تفکیک تیپ‌های مختلف کوه، دشت‌سر لخت، اپانداژ و پوشیده را فراهم می‌آورد. از نتایج این تحقیق می‌توان

- University of Tehran.
- Wood, J. D., 1996. The geomorphologic characterization of digital elevation models. PhD Dissertation, University of Leicester, UK.
 - Zevenbergen, L. W. and Thorne, C. R., 1987. Quantitative analysis of land surface topography. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms*, 12: 47-56.
 - Tazeh, M., 2012. Desert plains classification based on morphometrical and biophysical parameters, Case study: Khezr Abad, Yazd, Phd Thesis of De-Desertification, Faculty of Natural Resources, Desert Pavement Garnulometric Parameters to Classify Pediment (Case Study: Yazd, Khezrabad), *Journal of Quantitative Geomorphology Research*, 3(2): 31-43.

Evaluation of geomorphometry indices in semi-automatic separation of the geomorphological types in desert areas (Case study: West north of Ardekan)

M. Tazeh¹, M. Asadi^{2*}, R. Taghizadeh¹, S. Kalantari¹ and M. Sadeghinia¹

1- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

2*-Corresponding author, Ph.D. Student of Watershed Management, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: m.asadi96@ut.ac.ir

Received: 8/12/2015

Accepted: 5/9/2016

Abstract

Geomorphological map is one of the main information layers in natural resources studies. So far, various methods have been proposed for the classification and separation of various units and Geomorphological types, most of which are based on qualitative and descriptive information. In this study, the ability of geomorphometry parameters in separation of mountains from pediment and also separation of different types of pediments was investigated. First, ground truth map was prepared using visual interpretation of satellite data and topographic maps. Then the 1000-point sampling grid was designed randomly. Parameters including profile curvature, plan curvature, tangential curvature, cross-sectional curvature, longitudinal curvature, and general curvature were prepared from digital elevation model in the GIS software. Then, their values were extracted at all points of the sampling network. Then, artificial neural network with structure of 13_6_4 was used to separate the units. The results showed that the erosion pediment could be separated from ependage using artificial neural network; however, the separation of ependage pediment from covered pediment was not well. For this purpose, to improve network performance, the digital value of Landsat 7 data was added to the previous values. The resolution accuracy of mountain, erosion pediment, ependage pediment, and covered pediment was calculated to be 90, 79, 80, and 76%, respectively.

Keywords: Geomorphometry parameters, artificial neural network, satellite images, semi-automated methods.