مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
ص ۲۰۶-۱۹۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۴
تاریخ تصویب: ۱۳۹۵/۰۱/۰۲

تعیین مهمترین پارامترهای ژئومرفومتری کمی در طبقه‌بندی دشت سرهای مناطق بیابانی با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و آنالیز حساسیت

❖ **غلامرضا زهتابیان؛** استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
❖ **حسن احمدی؛** استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
❖ **علی اکبر نظری سامانی؛** استادیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.
❖ **امیرهوشنگ احسانی؛** استادیار مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان، دانشگاه تهران.
❖ **مهدی تازه*؛** دانشجوی دکتری بیابانزدایی، دانشگاه تهران.

چکیده

دشت سرها ازجمله مهمترین واحدهای ژئومرفولوژی می‌باشند که به لحاظ فعالیت‌ها انسانی و بهره برداری، بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرند. تاکنون روش‌ها و عوامل مختلفی نیز جهت طبقه بندی مناطق دشتی ارائه شده است. یکی از روش‌های طبقه بندی که بیشتر در مطالعات منابع طبیعی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد، تقسیم بندی واحد دشت سر به سه تیپ دشت سرلخت، اپانداژ و پوشیده می‌باشد که عوامل مختلف کمی و کیفی جهت تفکیک آنها از یکدیگر به کار گرفته می‌شود. در این تحقیق پارامترهای ژئومرفومتری کمی موثر در تفکیک لندفرمهای مختلف به منظور طبقه بندی تیپ‌های دشت سر، با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و آنایز حساسیت، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. این پارامترها در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته و با استفاده از معادلات ریاضی و اعمال روابط مربوطه برروی مدل‌های رقومی ارتفاعی، قابل محاسبه و استخراج می‌باشد. پارامترهای ژئومرفومتری مورد استفاده در این تحقیق شامل درصد شیب، انحنای سطح (Plan Curvature)، انحنای مقطع (Profile Curvature)، انحنای حداقل (Minimum Curvature)، انحنای حداکثر (Maximum Curvature)، انحنای متقاطع (Cross sectional Curvature)، انحنای طولی (Longitudinal Curvature) و انحنای گوسی (Gaussian Curvature) می‌باشد. این پارامترها در یک منطقه‌ای به وسعت ۱۲۵۰۰۰ هکتارو در ۱۵۰۰ نقطه محاسبه و سپس نتایج با نقشه واقعیت زمینی مورد مقایسه و واسنجی قرار گرفت. روش نمونه بردای در این تحقیق از نوع ابرمکعب لاتین (Latin Hyper cube) می‌باشد که به نوعی همان روش تصادفی – طبقه بندی شده می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مهمترین پارامترهای ژئومرفومتری موثر در طبقه بندی دشتهای مناطق بیابانی شامل انحنای حداقل و انحنای مقطع می‌باشد که دارای بیشترین میزان حساسیت در بین تیپ‌های مختلف دشتی می‌باشد. از طرف دیگر هرچه از شدت توپوگرافی منطقه کاسته می‌شود، نقش و اهمیت این عوامل نیز در تفکیک تیپهای دشتی کمرنگ تر می‌شود. بطوریکه بیشترین قابلیت این پارامترها در دشت سرهای لخت و کمترین کارایی آنها در دشت سر پوشیده می‌باشد.

کلمات کلیدی: پارامترهای ژئومرفومتری کمی، طبقه بندی، دشت سر ، شبکه‌های عصبی مصنوعی، آنالیز حساسیت

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۰۰۹۸۹۱۳۳۵۱۱۹۵۳+
Email: mehditazeh@ut.ac.ir

۱. مقدمه

در میان ناهمواری‌های مناطق خشک، دشت‌سرها از مهمترین واحدهای ژئومرفولوژی این مناطق به شمار می‌روند. چون علاوه بر اینکه آب‌های سطحی و زیرزمینی مناطق خشک نقش اساسی دارند، در بیشتر نواحی نقش مهمی در اقتصاد روستاها، بویژه از نظر منابع طبیعی تجدید شونده، مانند مراتع و غیره ایفا می‌کند. از نظر مطالعه آب‌های سطحی و استفاده از سیلاب‌ها و یا به عبارت دیگر در طرح‌های پخش سیلاب با توجه به کمبود آب در این نواحی، شناخت دشت سرها ضروری به نظر می‌رسد.

دشت سرها از واحدهای اصلی بیابان محسوب می‌شوند. طبق تعریف ژئومرفولوژیست‌های آمریکایی، دشت سر عبارتست از ادامه لایه سنگ اصلی کوهستان در امتداد دشت سرها که به شکل سطح مقعری در قاعده ارتفاعات ظاهر می‌شوند. این تعریف اول بار در جنوب غربی آمریکا عنوان شده و سپس در سایر کشورها مورد مطالعه قرار گرفته است. بنابراین دشت سر سطحی است با شیب ملایم بین ۱ تا ۷ درجه که گاهی تا ۱۱ درجه هم می‌رسد. این سطح بریدگی‌های کمی دارد و خطوط کمی از جریان‌های آبی در آن دیده می‌شود . سطحی است با بیرون زدگی‌هایی از سنگ مادر اصلی. چنین سطحی غالبا در مقطع طولی خود محدب است ولی نمونه‌های سطح صاف و یا مقعر نیز از آن گزارش شده است. (Ahmadi, 2008)

مناطق دشتی دارای شیب ملایم و پستی وبلندی کمی بوده وبطور عمده از فرسایش مناطق کوهستانی بالادستی حاصل می‌شوند و برروی آنها نیز آثار و شواهد فرسایشی قابل مشاهده می‌باشد. تاکنون فرضیه‌ها ، نظریه‌ها و مدل‌های مختلفی نیز جهت شکل گیری، توسعه و تکوین آنها ارائه شده است. (Pelletier, 2010).

مطالعات مناطق دشتی دارای سابقه طولانی در مطالعات ژئومرفولوژی می‌باشند، روش‌ها و طبقه بندی‌های مختلفی نیز برای تفکیک و طبقه بندی انواع دشتها ارائه شده است. براساس یکی از آنها، دشتها را بطور کلی می‌توان به دو دسته مختلف تقسیم نمود، سطوح دشتی شکل گرفته در مناطق با مقاومت کمتر سنگ بستر در محل تماس با شیب‌های تند تر (Gilbert ,1877) و دشت‌های سنگی که دارای سنگ شناسی یکسانی بوده و معمولا از جنس گرانیت، گرانودیوریت، کوارتز .و تشکیلات سنگی دیگر می‌باشند (Oberlander, 1997).

تجزیه و تحلیل عوارض سطح زمین یکی از اساسی ترین بخش‌های علم منابع طبیعی می‌باشد. عوارض سطح زمین با مرفولوژی‌های مختلف قابل تفکیک می‌باشد. تقسیمات ژئومرفولوژی مبنای بسیاری از بخش‌های مطالعاتی منابع طبیعی از قبیل اکولوژی، خاکشناسی، ژئومرفولوژی، توابع سیستمهای اطلاعات جغرافیایی در بخش هیدرولوژی (مثل Arc Hydro)، پوشش گیاهی، فرسایش و رسوب و تخریب زمین، مدیریت و ارزیابی منابع طبیعی و مدل‌های بیابانزایی می‌باشد، که بعنوان محدوده‌های کاری در این مطالعات مورد استفاده می‌باشد. در دنیا، استفاده از لندفرمها بعنوان مبنای مطالعات، محدوده‌های استاندارد در پروژه‌ها و نقشه‌های پایه سایر بخش‌ها مطرح می‌باشد. بسیاری از مدل‌های موجود در عرصه‌های مختلف منابع طبیعی همچون مدل‌های اکولوژیک، مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، مدل‌های بیابان و... برپایه نقشه‌های لندفرم مورد ارزیابی و امتیاز دهی قرار می‌گیرند.

روش‌هایی که تاکنون برای تفکیک این واحدها مورد استفاده قرار می‌گرفته است، بطور عمده از روش‌های کیفی بوده است. بدین ترتیب که بطور عمده با استفاده از تفسیر بصری عکسهای هوایی یا نقشه‌های توپوگرافی معمولی، اقدام به تفکیک واحدها شده و در سایر مطالعات مورد استفاده قرار می‌گرفته است. استفاده از چنین روش‌هایی مستلزم صرف وقت و هزینه‌های بسیار زیادی می‌باشد. علاوه براین دقت و تجربه کارشناس مفسر، نقش مهمی در صحت و مرز بندی نقشه‌های بدست آمده ایفا می‌کند. این

امر باعث می‌شود هنگامی که دو نقشه با یک موضوع و محتوی یکسان در یک منطقه ولی توسط دو کارشناس متفاوت تهیه می‌شود، دارای مرزها و تقسیم بندی‌های متفاوتی شود. از طرفی دیگر در چنین حالتی نمی توان عددی را بعنوان میزان دقت وصحت نقشه‌های تهیه شده در مناطق مختلف و توسط کارشناسان مختلف، بیان نمود. استفاده از روش‌های عددی، بهمراه مدل‌های ریاضی، امکان ارائه روش‌های معین و دامنه‌های مشخص را با تعاریف ثابت بیان می‌کند. چنین امری باعث می‌شود، هنگامی که کارشناسان مختلف، در یک منطقه اقدام به تهیه یک نقشه با موضوع خاص می‌نمایند، به نتایج یکسانی از لحاظ صحت، دقت و محدوده‌های ترسیم شده در نقشه‌ها دست یابند.

از جمله اولین مطالعات کمی و آماری دقیق در زمینه تشخیص روابط بین مرفولوژی دشت‌ها و حوزه زهکشی کوهستان‌های بالادست آنها، توسط Cooke انجام گرفت. وی ارتباط بین طول شیب و افزایش فاصله مناطق دشتی را نسبت به مناطق بالادست کوهستانی مورد بررسی و تجزیه وتحلیل قرار داد. وی استدلال کرد که کم بودن همبستگی بین شیب و طول دشت سر می‌تواند تحت تاثیر فعالیت‌های تکتونیکی باشد.(Cooke, 1970)

مدل‌های عددی مختلفی برای کمی کردن مناطق دشتی ارائه شده است. مدل‌های عددی رویکرد جالب توجهی در جهت طبقه بندی مناطق دشتی می‌باشد. که نیازمند ارائه مدل‌های مفهومی در زمینه پدیده‌های ژئومرفیک و فرآیندهای مرتبط با آن می‌باشد. (Strudley & Murray, 2007).

کاربردهای مختلفی مدل‌های رقومی ارتفاعی درزمینه علوم زمین مطرح شده است که از آن جمله می‌توان به برنامه ریزی در بخش‌های مختلف علوم طبیعی و زمین، طراحی منظر، تجزیه و تحلیل حوزه‌های آبخیز، تجزیه و تحلیل عوارض سطح زمین و توپوگرافی آن، ژئومرفولوژی و فرسایش خاک و سایر مطالعات مرتبط با علوم زمین، اشاره نمود. (Lii & Qing, 2005).

بخشی از مطالعات مربوط به تجزیه وتحلیل کمی عوارض سطح زمین در قالب مطالعات ژئومرفومتری می‌باشد که شامل مدلسازی سطح زمین، کمی کردن عوارض سطح زمین و تجریه و تحلیل آن می‌باشد. علوم مختلف مرتبط با این مباحث، شامل علوم زمین، ریاضیات و کامپیوتر می‌باشد. در بخش علوم زمین، زیربخش‌های ژئومرفولوژی، هیدرولوژی و اکولوژی، دربخش ریاضیات، زیربخش‌های هندسه، توپولوژی، نظریه اعداد و زمین آمار، و دربخش علوم کامپیوتر، زیربخش‌های ژئوانفورماتیک، پردازش تصویر و تشخیص الگوها، مطرح می‌باشد. (Pike *et al*, 2009).

انجام نمونه برداری در نقاط مختلف زمین، در مطالعات منابع طبیعی و در حال کلی، علوم زمین، از بخش‌های اصلی می‌باشد. روش‌های مختلفی نیز بدین منظور ارائه شده است که با توجه به هدف کار، متفاوت می‌باشد. ولی معمولا نمونه‌هایی که بصورت تصادفی برداشت شده باشند، در تحلیل‌های آماری ارزشمند می‌باشند. چنانچه در انجام نمونه برداری طبقات خاصی نیز مدنظر باشد، می‌توان از روش نمونه برداری تصادفی طبقه بندی شده استفاده نمود که در این مطالعه از روش Latin Hyper cube استفاده شده که نوعی از روش تصادفی طبقه بندی شده می‌باشد (McBratney *et al*, 2006)

شبکه عصبی مصنوعی (Artificial neural networks) یک روش شبیه‌سازی می‌باشد که از مطالعه سیستم مغز و شبکه عصبی موجودات زنده الهام گرفته است. قدرت بالای عملکرد سیستم‌های بیولوژیک ناشی از طبیعت موازی برنامه‌ریزی نرون‌های آن‌ها می‌باشد. یک شبکه عصبی مصنوعی این ساختار را با توزیع شبیه‌سازی در واحدهای پردازشگر کوچک و ساده به هم پیوسته (که نرون نامیده می شود) انجام می‌دهد. مهمترین مزیت شبکه‌های عصبی مصنوعی نسبت به دیگر روش‌های ایجاد توابع انتقالی این است که آن‌ها برای پیش‌بینی پارامترهای خاک احتیاجی به یک مدل اولیه در ارتباط

دادن بین داده‌های ورودی و خروجی ندارند. مزیت دیگر شبکه‌های عصبی نسبت به سیستم‌های هوشمند دیگر قدرت یادگیری آن‌ها در مقیاس خیلی کوچک از محیط پیرامونشان و توانایی تعمیم این یادگیری می‌باشد. بطور کلی در این روش سعی می‌شود بر اساس روابط ذاتی میان داده‌ها، مدلی خطی یا غیرخطی بین متغیرهای مستقل و وابسته برقرار گردد (Rahimi *et al*, 2009).

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان بعنوان ابزاری در راستای افزایش دقت و صحت نقشه‌های مورد استفاده در علوم محیطی همچنین خاک و لندفرم مورد استفاده قرار داد. این روش‌ها در زمینه مدل‌های مورد استفاده در علوم محیطی و همچنین نقشه برداری رقومی خاک نیز مورد استفاده واقع می‌شود. (Zho, 2000)

شبکه‌های عصبی مصنوعی در قالب نقشه‌های خودسازمان ده (self-organizing map)، بصورت یک روش نیمه خودکار بمنظور تجزیه و تحلیل ویژگی‌های مرفومتری عوارض مختلف بکار برده شده است. که نمونه‌ای از این کار برروی مدل رقومی حاصل از داده‌های SRTM صورت گرفته است. (Ehsani & Quiel, 2009)، همچنین تاثیر قدرت تفکیک مکانی داده‌های SRTM نیز برروی تشخیص عوارض مرفومتریک نیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و نقشه‌های خود سازمان ده، مورد بررسی قرار گرفته است. (Ehsani, & Quiel, 2010) همچنین شبکه‌های عصبی مصنوعی و کمی کردن عوارض مرفومتری در مطالعات ژئومرفومتری نیز بکار گرفته می‌شود.(Ehsani, & Quiel, 2008)

استفاده از شبکه‌های خودسازمان ده ومدل‌های رقومی ارتفاعی در مطالعات دیگری در مناطق بیابانی مورد بررسی قرار گرفته است که میتوان به قابلیت این روش در تشخیص کلوت‌های لوت اشاره نمود. (Ehsani & Quiel, 2008).

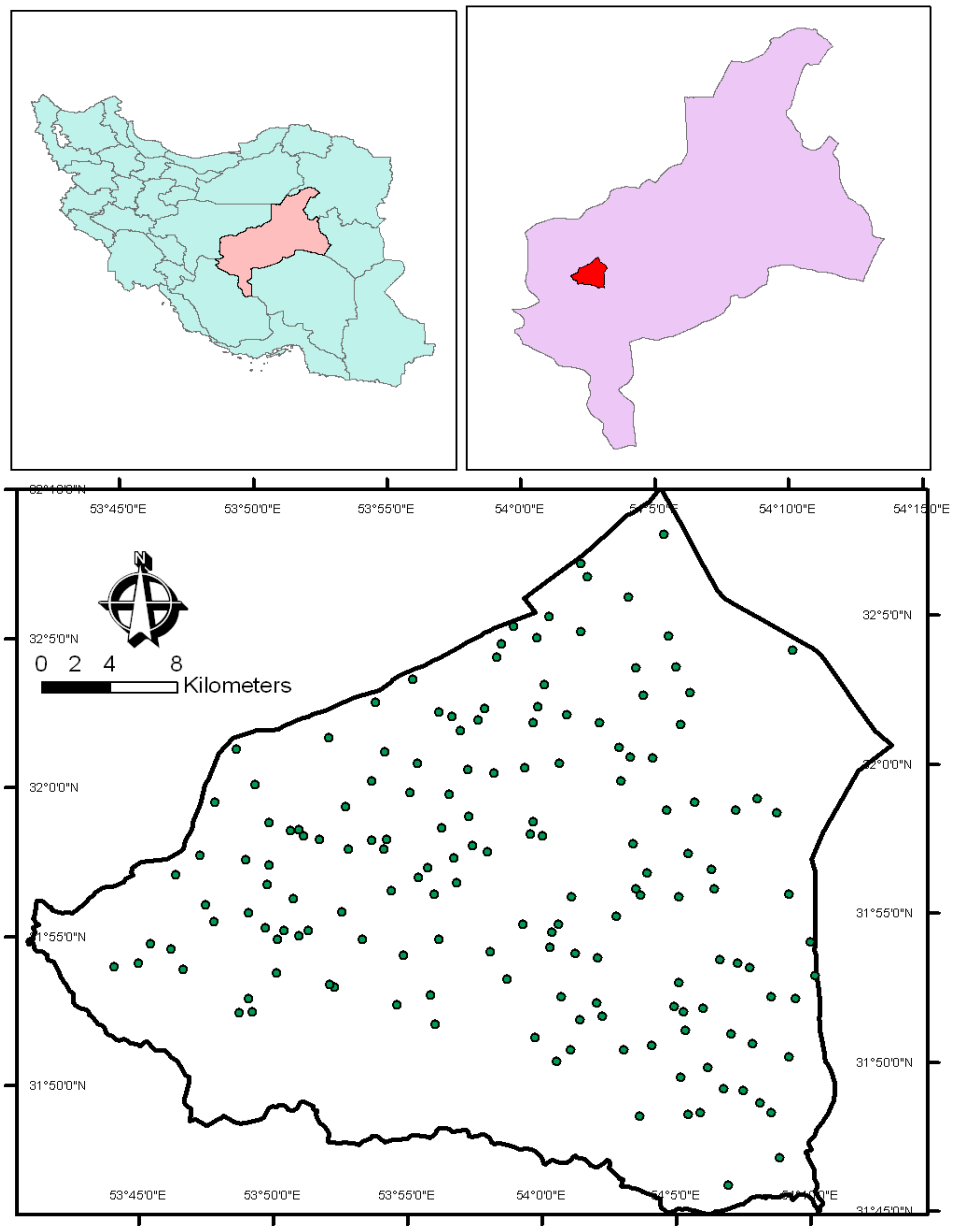
همچنین با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی می‌توان به مدل‌های نیمه خودکاری در جهت تجزیه و تحلیل عناصر مختلف عوارض سطح زمین دست یافت. نمونه‌ای از این کار، با استفاده از داده‌های SRTM و تصاویر ماهواره لندست، انجام شده است. (Ehsani, & Quiel, 2007)

مدل‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل عوارض زمین ارائه شده است که بطور عمده از مدل‌های رقومی ارتفاعی و اعمال معادلات ریاضی برروی آنها مشتق می‌شود. این پارامترها موجب شکل گیری عوارض مختلفی برروی سطح زمین شده و در تشکیل لندفرم‌ها و تنوع آنها نقش اساسی را ایفا می‌کنند (Mohammadi, 2009)

روش‌های مختلف آماری نیز جهت نمونه برای از عوارض سطح زمین ارائه شده است که در مطالعات خاکشناسی نیز کاربرد فراوانی دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش نمونه برداری ابرمکعب لاتین اشاره نمود (Mohammadi, 2007)

۲. مواد و روش‌ها

داده‌های اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ می‌باشد که تقریبا در تمام کشور قابل دسترسی می‌باشد. مدل رقومی ارتفاعی مورد استفاده نیز، از روی نقشه‌های مذکور ایجاد و سپس پارامترهای مرفومتری با استفاده از همین مدل رقومی ارتفاعی، استخراج گردید. عکسهای هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و تصویر سنجنده +ETM ماهواره لندست نیز به شماره فریم ۳۸-۱۶۲، جهت تفسیر بصری- رقومی بمنظور تفکیک تیپ‌های مختلف دشتی مورد استفاده قرار گرفت. بازدید زمینی جهت تدقیق مرز نقشه‌های تهیه شده به عنوان بخش دیگری از داده‌های مورد استفاده در نظر گرفته شد. جهت انجام این مطالعه، ابتدا شبکه نمونه برداری طراحی شده و سپس با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و نرم افزارهای مختلفی همچون ArcGIS و GRASS GIS اقدام به تهیه لایه‌های مختلف اطلاعاتی، شامل عناصر مرفومتری گردید.



شکل۱- نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه بهمره شبکه نمونه برداری

۱.۲. طراحی شبکه نمونه برداری

همانطور که اشاره شد، جهت انجام نمونه برداری از روش ابرمکعب لاتین[1] استفاده گردید که به نوعی یک روش تصادفی طبقه بندی شده است. در این روش ابتدا نقشه تیپ‌های مختلف دشتی، بعنوان طبقات مورد نظر، تهیه گردید. نقشه‌های مذکور با استفاده از تفسیر بصری- رقومی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و اصلاحات لازم در بازدیدهای میدانی برروی نقشه‌های مذکور انجام گرفت. این روش نمونه برداری، پراکنش نقاط را بصورت تصادفی، بگونه‌ای انجام می‌دهد که نقاط در مناطق با حداکثر تفاوت والبته بصورت

[1] Latin Hyper cube

تصادفی، قرار گیرند. بهمین منظور، علاوه بر نقشه تیپ‌های دشتی، لایه‌های مختلف اطلاعاتی نیز مورد استفاده قرار گرفت تا حداکثر تغییرات ممکنه در منطقه، در طراحی شبکه نمونه برداری لحاظ گردد. بعبارت دیگر، نقاط تصادفی به گونه‌ای پراکنده شوند که درعین حال تصادفی بودن، بتوانند بیشترین تنوع موجود در منطقه را نشان دهند. لایه‌های مختلف اطلاعاتی مورد استفاده، بغیر از طبقات دشتی، شامل درصد شیب[۱]، انحنای سطح[۲]، انحنای مقطع[۳]، انحنای حداقل[۴]، انحنای حداکثر[۵]، انحنای متقاطع[۶]، انحنای طولی[۷] و انحنای گوسی[۸] می‌باشند. بدین منظور ابتدا در فواصل ۹۰ متری (ابعاد داده‌های رقومی SRTM)، مقدار عددی هر پیکسل از هر کدام از لایه‌های مذکور، استخراج و بصورت جدول ارائه شد. این نقاط شامل ۱۱۳۷۴۸ نقطه بودند. لازم به ذکر است نقشه‌های مذکور در ابتدا به گونه‌ای فیلتر شدند تا نقط تصادفی برروی کاربری‌هایی که حال طبیعی و بکر نداشته و به نوعی تحت تاثیر فعالیتهای قرار گرفته است، واقع نشود. از لایه‌های مورد استفاده جهت نیل به این منظور، می‌توان به نقشه کاربری اراضی و همچنین نقشه‌های مربوط به اراضی ملی و مستثنیات، اشاره نمود. با توجه به وسعت ۱۲۵۰۰۰ هکتاری منطقه، تعداد ۱۲۵۰ نقطه تصادفی از بین نقاط مذکور انتخاب و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این تعداد به گونه‌ای انتخاب شدند که به ازای هر ۱۰۰ هکتار یک نمونه وجود دشته باشد. جهت آزمون مدل حدود ۲۰ درصد به تعداد این نقاط اضافه شد و در مجموع ۱۵۰۰ نقطه جهت ارزیابی و تجزیه و تحلیل انتخاب شد. شکل زیر، موقعیت منطقه مورد مطالعه را بهمراه شبکه نمونه برداری، نشان می‌دهد.

[1] Slope
[2] Plan Curvature
[3] Profile Curvature
[4] Minimum Curvature
[5] Maximum Curvature
[6] Cross sectional Curvature
[7] Longitudinal Curvature
[8] Gaussian Curvature

۲.۲. استخراج پارامترهای مرفومتری

پارامترهای مرفومتری مورد استفاده در این تحقیق شامل درصد شیب، انحنای سطح، انحنای مقطع، انحنای حداقل، انحنای حداکثر، انحنای متقاطع، انحنای طولی و انحنای گوسی می‌باشند. این پارامترها در تک تک نقاط نمونه برداری استخراج و بصورت جداول جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های بعدی ذخیره شدند. نرم افزارهای مورد استفاده در محاسبه پارامترهای مرفومتری شامل ArcGISو GRASS GIS بوده است.

برای محاسبه پارامترهای مرفومتری، یک پنجره محلی از روی مدل رقومی ارتفاعی عبور داده می‌شود و تغییرات گرادیان نقطه مرکزی پنجره نسبت به نقاط مجاور با استفاده از یک تابع درجه ۲ مشابه تابع زیر، محاسبه می‌شود.

$$f = ax^2 + by^2 + cxy + dx + ey + f$$

که در این معادله x , y , z مختصات محلی و مقادیر a تا f ضرایب معادله می‌باشد (Evans, 1972).

نحوه محاسبه پارامترهای مرفومتری در جدول ۱ آمده است.

تهیه نقشه طبقات دشت سر (واقعیت زمینی): جهت تهیه نقشه طبقات دشت، از روش تفسیر بصری-رقومی استفاده گردید. تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده، مربوط به سنجنده +ETM ماهواره لندست به شماره ۳۸-۱۶۲ می‌باشد. نقشه مذکور با مطالعات زمینی وهمچنین استفاده از داده‌های جانبی، همچون نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، و همچنین نقشه‌های زمین شناسی منطقه، مورد بازبینی قرار گرفت تا اشکالات احتمالی رفع شده و اصلاحات لازم جهت دستیابی به نقشه نهایی، انجام گیرد.

پس از انجام مراحل فوق، پارامترهای مرفومتری استخراج شده، به‌عنوان ورودی جهت آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی، مورد استفاده قرار گرفت و طبقات دشتی نیز به‌صورت باینری جهت تعیین طبقات هر تیپ دشتی، کدگذاری شدند. به‌طور مثال، چنانچه نقطه‌ای در تیپ دشت سر اپانداژ قرار گیرد، در جدول مربوطه در

ستون درشت سر اپانداژ، عدد ۱ و در ستون‌های مربوط به دشت سر پوشیده و لخت، عـدد صـفر بـه آن نسـبت داده شد. شایان ذکر است که داده‌های مـورد اسـتفاده در ایـن بخش ابتدا نرمال سازی و سپس مورد استفاده قرار گرفت. جهت نرمال سازی داده‌ها از فرمول زیر استفاده شد:

$$n = \left(\frac{xi - \bar{x}}{std}\right)$$

که در این رابطـه xi: متغیـر i ام پـارامتر ورودی، $\bar{x}$ و std به ترتیب، میانگین و انحراف معیار ورودی مورد نظـر می‌باشد.

جدول ۱. پارامترهای مرفومتری (Evans 1972, Wood 1996b, Shary *et al.* 2002)

پارامترمرفومتری	بعد	فرمول	توضیحات
شیب	درصد	$sqrt(d^2 + e^2)$	مقدار شیب در جهت x و y
انحنای سطح	$1/m$	$n \times g \times (b \times d^2 + a \times e^2 - c \times d \times e)/(d^2 + e^2)^{1.5}$	مولفه افقی در راستای جهت
انحنای مقطع	$1/m$	$n \times g \times (a \times d^2 + b \times e^2 + c \times d)/(d^2 + e^2)(1 + (d^2 + e^2))^{1.5}$	مولفه قائم در در راستای جهت
انحنای حداقل	$1/m$	$n \times g \times [-a - b - sqrt((a-b)^2 + c^{2)}]$	درتمام سطوح
انحنای حداکثر	$1/m$	$n \times g \times [-a - b + sqrt((a-b)^2 + c^{2)}]$	درتمام سطوح
انحنای متقاطع	$1/m$	$n \times g \times (b + d^2 + a \times e^2 - c \times d \times e)/(d^2 + e^2)$	مقدار انحنای عمود برجهت شیب به سمت پایین دامنه
انحنای طولی	$1/m$	$n \times g \times (a \times d^2 + b \times e^2 + c \times d \times e)/(d^2 + e^2)$	مقدار انحنا درجهت شیب دامنه
انحنای گوسی	$1/m^2$	انحنای حداکثر*انحنای حداقل	بیانگروجود یا عدم وجود پیچش در سطح

در این مسیر، ۲۵٪ از داده‌ها، جهت آزمون مدل کنـار گذاشته شده و مابقی داده‌ها جهت آمـوزش شـبکه مـورد استفاده قرار گرفت. تحلیل‌های مربوط به تصـادفی کـردن این اطلاعات استخراج شده در ردیف‌های مختلـف جـدول اطلاعاتی، جهت ورود به شبکه عصبی مصـنوعی، ایجـاد و آموزش یک شـبکه عصـبی مصـنوعی و سـایر آنالیزهـای مربوط به حساسیت خروجی نسبت به متغیرهـای ورودی با استفاده از نرم افزار Nero Solution انجام گرفت.

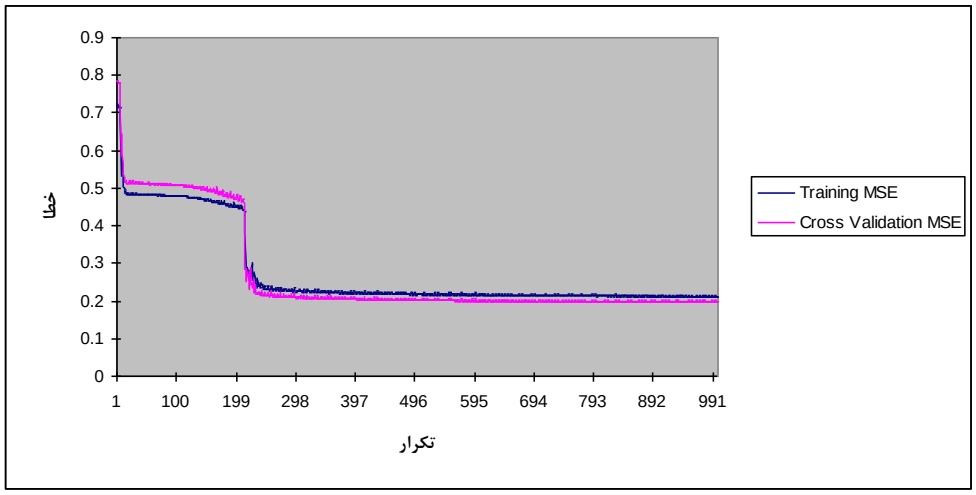
۳. نتایج

نتـایج نشـان مـی‌دهـد کـه پـس از حـدود ۲۳۰ دور آموزش شبکه، با استفاده از داده‌های موجود، مقدار خطـا، به حداقل رسیده و نوسانات مقدار خطا بـه صـفر نزدیـک می‌شود. همچنین مقدار واقعی با مقادیر برآورد شـده بـه یکدیگر، نزدیک شده است. این مورد در نمودار زیر، نشان داده شده است.

پس از طی مرحلـه فـوق، تـاثیر تغیـرات پارامترهـای مرفومتری که بعنوان ورودی مدل می‌باشند، برروی طبقـه دشت، مورد بررسی قرار گرفت. بعبارت دیگر، این مطلـب مورد ارزیابی قرار گرفت که تاثیر تغیرات کدام پـارامتر در تفکیـک نـوع یـا طبقـه دشـت مـوثرتر بـوده و نقـش تعین‌کننده‌تری دارد.

محاسبات مربـوط بـه آنـالیز حساسـیت در نـرم افـزار شبکه عصبی Nero Solution، انجام و نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

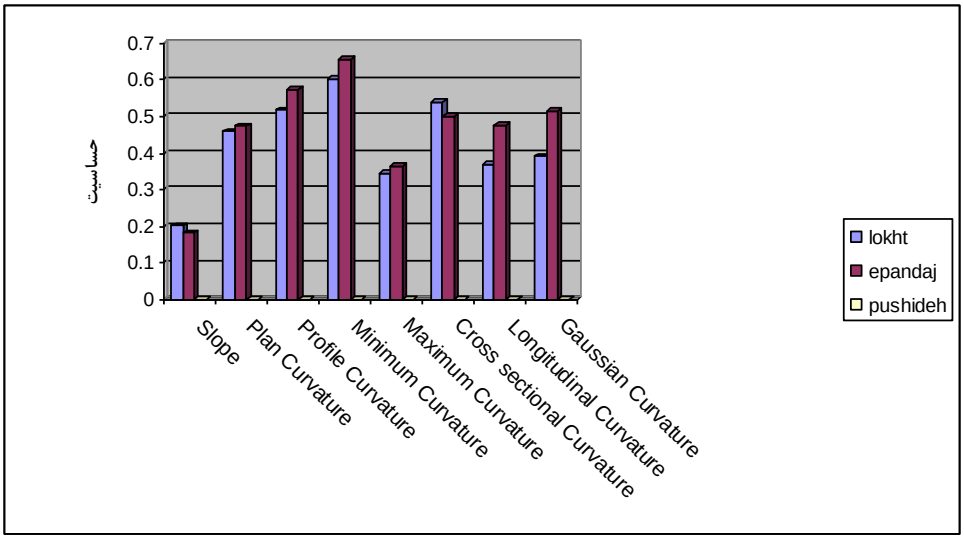
از آنجا که تعداد ارقام اعشار اغلب پارارمترهای مذکور، بسیار زیاد می‌باشد، به صورت توان منفی در جدول فـوق، ذکر شده اسن. بعنوان مثال عدد۸ -۷/۶۴۵۹۱E به معنـی ۷/۶۴۵۹۱ ضربدر ۱۰ به توان ۸- مـی‌باشـد. بـرای اینکـه بتوان نتایج را بهتر و واضح تر تفسیر کرد، نمـودار جـدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- - نمودار کاهش مقدار خطا با افزایش تعداد تکرار

جدول۲- حساسیت پارامترهای مرفومتری در تیپ‌های مختلف دشت سر

Sensitivity	*دشت سرلخت*	*دشت سراپانداژ*	*دشت سرپوشیده*
Slope	۰/۲۰۱۳۶۵۲۹۱	۰/۱۸۲۱۳۲۸۹	۱/۲۱۹۴۱E-۰۷
Plan Curvature	۰/۴۵۹۰۴۴۵۳۶	۰/۴۷۳۰۹۲۸۰۵	۸/۹۱۳۹۸E-۰۸
Profile Curvature	۰/۵۱۷۷۵۱۲۳۱	۰/۵۷۲۸۴۱۶۵۸	۱/۰۲۷۱E-۰۷
Minimum Curvature	۰/۶۰۲۵۶۸۵۳۴	۰/۶۵۴۸۲۳۴۹۴	۱/۱۵۶۴E-۰۷
Maximum Curvature	۰/۳۴۶۳۹۹۹۳۵	۰/۳۶۳۷۸۰۳۸	۴/۴۴۲۹۲E-۰۸
Cross sectional Curvature	۰/۵۳۸۴۸۳۲۸۱	۰/۴۹۸۹۰۵۲۴۸	۸/۰۳۶۲۹E-۰۸
Longitudinal Curvature	۰/۳۶۸۲۶۷۸۸۱	۰/۴۷۴۷۲۲۶۸۶	۶/۹۵۱۷۹E-۰۸
Gaussian Curvature	۰/۳۹۰۴۵۵۹۶۵	۰/۵۱۶۳۱۱۷۴۵	۷/۶۴۹۵۱E-۰۸



شکل۳- نمودار حساسیت پارامترهای مختلف مرفومتری در تیپ‌های مختلف دشت سر

۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج بدست آمده در بخش قبلی می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین حساسیت مدل، به ترتیب تابعی از انحنای حداقل و انحنای مقطع می‌باشد و پارامترهای انحنای متقاطع و انحنای سطح حائز درجه اهمیت کمتری می‌باشد. و از طرفی بیشترین اختلاف در میزان حساسیت پارامترهای مرفومتری در تیپ‌های مختلف دشتی در پارامترهای انحنای طولی و انحنای گوسی دیده می‌شود. این در حالی است که هرچند پارامترشیب در بین سایر پارامترهای مرفومتری از درجه حساسیت پایین تری برخوردار می‌باشد ولی از آنجا که این پارامتر تقریبا در تمام نرم افزارهای ژئوماتیک قابل محاسبه می‌باشد، باز هم می‌توان بعنوان یک عامل مهم در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت از آن استفاده نمود که با نتایج مطالعات Ahmadi (2008) مطابقت دارد. با توجه به نتایج بدست آمده و تفسیر جداول و نمودارهای بخش قبلی می‌توان چنین استنباط کرد که پارامترهای مرفومتری در محدوده دشت سرپوشیده، خیلی نزدیک به صفر بوده و حساسیتی در مدل ایجاد نمی‌کند. به عبارت دیگر، پارامترهای مرفومتری، نقش چندانی در تفکیک تیپ‌های مختلف دشت سر ندارند. از آنجا که پارامترهای مرفومتری بطور عمده در تفکیک تیپ‌های دشت سر لخت و اپانداژ، قابل استفاده می‌باشند، جهت تفکیک دشت سرپوشیده، می‌توان از سایر داده‌ها رقومی (همچون تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از اختلاف شدید بازتابش طیفی در محدوده دشت سر اپانداژ و لخت) استفاده نمود. همچنین پیشنهاد می‌شود چنین مطالعه‌ای در مناطق مختلف انجام و نتایج مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان از آن بعنوان یک مدل کلی در تفکیک تیپ‌های مختلف دشتی در مناطق بیابانی بصورت کمی استفاده کرد. که با نتایج مطالعات Pelletier (2010) و Strudley & Murray (2007) و Pike *et al*., (2009) انطباق دارد

باید توجه داشت تا کنون پارامترهای کیفی نقش اصلی را در زمینه شناخت و تفکیک دشت سرها و سایر تیپ‌های ژئومرفولوژی ایفا می‌کرده اند ولی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پارامترهای کمی مثل پارامترهای ژئومرفومتری نیز در این زمینه کاربرد داشته و می‌توان از آنها در تفکیک تیپ‌های مختلف ژئومرفولوژی استفاده کرد. درحال حاضر با توجه به رشد روز افزون کاربرد داده‌های رقومی و همچنین نرم افزارهای مختلف علوم محیطی در منابع طبیعی لزوم بررسی بیشتر و کاربردی شدن نتایج آنها نمایان می‌باشد. از طرفی افزایش سرعت و دقت در بدست آوردن نقشه‌های مورد نیاز در بخش‌های مختلف، موجب شده است تا توجه بیشتری به سمت پارامترهای کمی و از جمله آنها ژئومرفولوژی کمی و همچنین مباحث ژئومرفومتری معطوف گردد.

References

[1]. Ahmadi, H, 2008, Vol 2, Applied Geomorphology, University of Tehran press, Third edition.

[2]. Cooke, R.U., 1970, Morphometric analysis of pediments and associated landforms in the western Mojave Desert, California: American Journal of Science, v. 269, p. 26–38.

[3]. Ehsani, Amir Houshang, Quiel, F, 2007, A semi-automatic method for analysis of landscape elements using Shuttle Radar Topography Mission and Landsat ETM+ data, Computers & Geosciences 35 , 373–389.

[4]. Ehsani, Amir Houshang, Quiel, F, 2008, Geomorphometric feature analysis using morphometric parameterization and artificial neural networks, Geomorphology 99.

[5]. Ehsani, Amir Houshang, Quiel, F, 2008, Application of Self Organizing Map and SRTM data to characterize yardangs in the, Lut desert, Iran, Remote Sensing of Environment.

[6]. Ehsani, Amir Houshang, Quiel, F, 2009, Self-organizing maps for multi-scale morphometric feature identification using shuttle radar topography mission data, Geocarto International.
[7]. Ehsani, Amir Houshang, Quiel, F, 2010, Effect of SRTM resolution on morphometric feature identification using neural network—self organizing map, Geoinformatica.

[8]. Gilbert, G.K., 1877, Report on the Geology of the Henry Mountains, Utah: Washington, D.C., U.S. Geographical and Geological Survey of the Rocky Mountains Region, U.S. Government Printing Office ce.

[9]. Li, Zhilin. Zhu, Qing. Gold, Christopher, 2005, Digital Terrain Modeling, Principles and Methodology, CRC PRESS.

[10]. Minasny, Budiman, Alex B. Mc Bratney, 2006, A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information, Computers & Geosciences 32.

[11]. Mohammadi, j, 2007, Pedometric, vol 10, Terrain Analysis, Pelk press.
[12]. Mohammadi, j, 2009, Pedometric, vol 14, Soil digital mapping, Pelk press.

[13]. Oberlander, T.D., 1997, Slope and pediment systems, in Thomas, D.S.G., ed., Arid Zone Geomorphology: Process, Form and Change in Dry lands: John Wiley and Sons, p. 135–163.

[14]. Pelletier, Jon 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.

[15]. Pike, R.J, I.S. Evans and T. Hengl, 2009, Geomorphometry: A Brief Guide, Developments in Soil Science, Volume 33, chapture 1, Elsevier.

[16]. Rahimi Lake, H., Akbarzadeh, A. and Taghizadeh Mehrjardi, R, 2009, Development of pedo transfer functions (PTFs) to predict soil physico-chemical and hydrological characteristics in southern coastal zones of the Caspian Sea. Journal of Ecology and the Natural Environment, 1(7), 160–172.

[17]. Strudley, M.W, and Murray, A.B., 2007, Sensitivity analysis of pediment development through numerical simulation and selected geospatial query: Geomorphology, v. 88, p. 329–351, doi: 10.1016/j.geomorph.2006.12.008.

[18]. Zho, A.-Xing, 2000, Water resources research, Vol. 36, NO.3, Page 663-677.