

تعیین پتانسیل فرسایش خندقی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، مطالعه موردی: حوزه آبخیز طرود

صمد شادفر^{۱*}

^۱ دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۰/۰۹

چکیده

یکی از انواع فرسایش آبی که باعث ایجاد فرسایش و رسوب در حوزه‌های آبخیز می‌شود و خسارت‌های زیادی به اراضی کشاورزی، مرتعی و تاسیسات زیر بنایی وارد می‌نماید، فرسایش خندقی می‌باشد. در این تحقیق بررسی فرسایش خندقی با هدف تعیین پتانسیل آن با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی انجام شده است. جهت تعیین پتانسیل فرسایش خندقی از ساختار پرسپترون چندلایه و الگوریتم لونیگ مارگوت با به‌کارگیری متغیرهای خاک، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه‌ها و طبقات ارتفاعی استفاده شد. نتایج نشان داد، ساختار ۱-۱۳-۹ با تابع فعال سیگموئید در لایه پنهان برای بررسی پتانسیل فرسایش خندقی مناسب‌تر است. نتایج پهنه‌بندی فرسایش خندقی نشان داد که ۷۰/۲۶ درصد از حوزه آبخیز در طبقه خیلی کم، ۱/۷۱ درصد در طبقه کم، ۲/۴۵ درصد در طبقه متوسط، ۲/۶۵ درصد در طبقه زیاد و ۲۲/۹۳ درصد در طبقه خیلی زیاد قرار گرفته است. از سوی دیگر نتایج نشان داد که شیب کمتر از ۱۰ درصد، فاصله از آبراهه تا ۵۰ متری، واحدهای سنگ‌شناسی EM و M2 و کاربری مرتع بیشترین تاثیر را در رخداد فرسایش خندقی دارند.

واژه‌های کلیدی: پرسپترون چند لایه، خندق، سیگموئید، لایه پنهان، لونیگ مارگوت، مرتع

مقدمه

همکاران، ۲۰۰۲، Ahmadi، ۱۹۹۵). Oostwoud و wijdenes (۲۰۰۱) در بررسی انجام شده بر روی سر خندق، به این نتیجه رسیده‌اند که سنگ‌شناسی نقش مهمی در فعالیت سر خندق دارد. Viero و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی عوامل طبیعی موثر در فرسایش خندقی در جنوب برزیل به این نتیجه رسیده‌اند که شیب، ساختار زمین‌شناسی و بارندگی از عوامل طبیعی موثر در توسعه خندق‌ها هستند. استفاده از زمین و جاده‌سازی از عوامل غیرطبیعی موثر در توسعه خندق به‌شمار می‌آیند. در

فرسایش خاک یک معضل برای کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد و به‌علت اثرات درازمدت‌ش بر روی حاصلخیزی خاک و کشاورزی پایدار، از اهمیت زیادی برخوردار است (Zangiabadi و همکاران، ۲۰۱۰). در میان انواع فرسایش آبی، فرسایش خندقی یکی از مهم‌ترین رخداد‌های موثر در نابودی خاک و پسرفت اراضی می‌باشد که با تخریب افق‌های سطحی و زیرین خاک، موجب تولید رسوب در حجم زیاد و نابودی بستر تولید می‌شود (Poesen و

* مسئول مکاتبات: samad.shadfar@gmail.com

خندقی با تأکید بر شرایط توپوگرافی و پوشش زمین حوزه آبخیز کلوچه بیجار به این نتیجه رسیده است که آستانه فرسایش خندقی تحت شرایط مختلف محیطی، از جمله پوشش گیاهی، کاربری اراضی، سازند زمین‌شناسی می‌باشد.

shadfar (۲۰۱۰)، در بررسی علل گسترش فرسایش خندقی، عوامل حساسیت سازند، شیب، بارش، جهت دامنه‌ها، چرای مفرط دام، نوع خاک، جاده‌سازی، شخم در جهت شیب، تراکم و تیپ گیاهی و کاربری اراضی را از جمله عوامل تاثیرگذار در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی می‌داند. Abedini (۲۰۰۵) در بررسی فرسایش خندقی در ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی‌شهر به این نتیجه رسیده است که بیشتر خندق‌ها در سطح دشت‌ها (در شیب بسیار ملایم) شکل گرفته‌اند، به عبارتی با افزایش شیب ضخامت سازندهای سطحی سست کاهش یافته و به دنبال آن طول و تعداد خندق‌ها کاهش یافته است. این موضوع به وسیله رابطه رگرسیون خطی موجود بین شیب کف خندق‌ها با طول آن‌ها، با میزان همبستگی معکوس و معنی‌دار ۴۳ درصد برای نمونه آماری مورد بررسی منطقه، به اثبات رسیده است.

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) یکی از دستاوردهایی هستند که با الگوبرداری از شبکه عصبی مغز انسان، قادرند پدیده‌های پیچیده و ناشناخته را به خوبی بررسی نمایند (Menhaj، ۲۰۰۲؛ Misaghi، ۲۰۰۲). در رابطه با سایر روش‌ها بیشتر محققین کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی را در پیش‌بینی مورد تایید قرار داده‌اند (Kisi، ۲۰۰۹؛ Alp و Cigizoglu، ۲۰۰۹).

در جمع‌بندی باید گفت که در کشور ما با وجود وسعت زیاد مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی و با توجه به خطرات ناشی از این نوع فرسایش برای منابع خاک و آب، تاکنون برای تعیین پتانسیل مناطق به فرسایش خندقی در حوزه‌های آبخیز با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی تحقیقی صورت نگرفته است. لذا این تحقیق با هدف تعیین پتانسیل اراضی به فرسایش خندقی با مدل شبکه عصبی مصنوعی حوزه آبخیز طرود فیروزکوه در استان تهران انجام گرفته است.

بارندگی‌های شدید نوسانات جنوبی النینو (ENSO)، جریان زیر قشری عامل غالب بوده و ۹۵ درصد حجم خاک از دست رفته در زمان ENSO اتفاق افتاده است. Casali و همکاران (۲۰۰۵)، در تعیین شاخص‌های پستی و بلندی برای ارزیابی خندق غیردائم، خاک، مدیریت اراضی، اقلیم و پستی و بلندی حوزه آبخیز را از عوامل مهم کنترل‌کننده جریان متمرکز می‌دانند.

Ireneusz (۲۰۰۸)، در جنوب هند، عوامل اصلی موثر در فرسایش خندقی را زمین‌شناسی، استفاده از زمین و کمبود پوشش گیاهی ذکر کرد. Boukheir و همکاران (۲۰۰۸)، در بررسی انجام شده در مناطق مدیترانه‌ای لبنان، بارندگی و پوشش گیاهی را از عوامل موثر در ایجاد فرسایش خندقی دانسته‌اند. آن‌ها با استفاده از GIS مدلی را ارائه داده‌اند که با اندازه‌گیری خصوصیات خندق می‌توان به میزان فرسایش پی‌برد. در این بررسی عمق خندق برای صخره‌های مارنی بیشتر از خاک رندزینا بوده است و ۷۵ درصد خندق‌ها در خاک رندزینا و ۵۰ درصد فرسایش خندقی در مارن رخ داده است.

Descroix و همکاران (۲۰۰۸)، چرای بیش از حد دام و تخریب جنگل در مناطق کوهپایه‌ای را به‌عنوان عمده‌ترین عوامل به‌وجود آمدن فرسایش خندقی می‌دانند. Leyland و Darby Stephen (۲۰۰۸)، به این نتیجه رسیدند که در مناطقی که از واحدهای سنگ‌شناسی سست‌تری تشکیل شده‌اند، گسترش مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی بیشتر است. در منطقه سوق دهدشت سازندها به‌عنوان یکی از مهمترین عوامل موثر در تغییرات رشد حجم خندق‌ها شناخته شد (Sharivar، ۱۹۹۷).

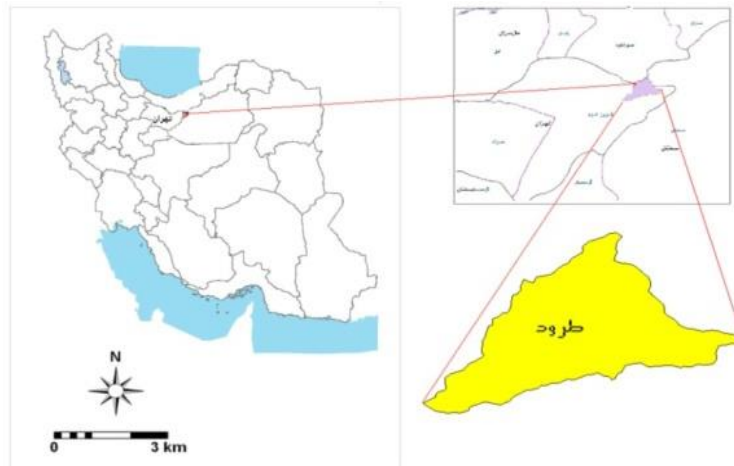
Yamani و همکاران (۲۰۱۳) مهمترین عوامل موثر در شکل‌گیری و گسترش خندق‌های منطقه دشت کهور را سنگ‌شناسی، شیب، تغییر کاربری اراضی، جاده‌سازی و احداث پل بیان کرده‌اند. برخی تغییر کاربری را در تشکیل خندق‌ها بسیار مهمتر از سایر عوامل می‌دانند (Centeri و همکاران، ۲۰۰۹؛ Galang و همکاران، ۲۰۰۷؛ Gábris و همکاران، ۲۰۰۳؛ Grace، ۲۰۰۴).

Rajabzadeh و همکاران (۲۰۱۳)، در بررسی و تحلیل عوامل و آستانه‌های محیطی مؤثر بر فرسایش

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه طرود در مختصات جغرافیایی بین "۲۸' ۴۵" ۳۵° تا "۴۶' ۵۱" ۳۵° عرض شمالی و "۳۲' ۵۳" ۵۲° الی "۴۴' ۵" ۵۳° طول شرقی در شهرستان فیروزکوه واقع شده است. بلندترین نقطه حوزه دارای ارتفاع ۳۳۶۰ متر و پایین‌ترین نقطه آن دارای ارتفاع ۲۱۲۰ متر می‌باشد. طول بزرگ‌ترین

آبراهه ۲۲ کیلومتر، محیط آن ۵۲ کیلومتر، ضریب گراویلیوس ۱/۵۶۹ و مساحت آن ۸۷۴۶ هکتار می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی قدیمی‌ترین سازند آن شمشک می‌باشد که سطح تماس آن در همه جا از نوع دگرشیبی زاویه‌دار می‌باشد (Nikbin, ۱۹۹۵; Arabghashghaie, ۲۰۱۰).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز طرود (Arabghashghaie, ۲۰۱۰)

روش پژوهش: داده‌های ورودی در این تحقیق شامل نوع خاک، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از شبکه آبراهه‌ها و طبقات ارتفاعی می‌باشند که از طریق کارهای آزمایشگاهی، مطالعات میدانی، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به شرح ذیل تهیه شدند.

-داده‌های حاصل از مدل رقومی ارتفاعی (DEM): نقشه‌های شیب، جهت شیب و هیپسومتری از نقشه مدل رقومی ارتفاع، از رقومی کردن خطوط تراز نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط GIS تهیه شدند. لایه اطلاعاتی شیب برای حوزه آبخیز مورد مطالعه در شش طبقه صفر تا پنج، پنج تا ۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۵۰، ۵۰-۳۰ و بیشتر از ۵۰ درصد با استفاده از روش Natural Break Jenks طبقه‌بندی شده است. نقشه طبقات ارتفاعی در چهار طبقه کمتر از ۲۵۰۰، ۲۵۰۰-۲۸۰۰، ۲۸۰۰-۳۰۰۰، ۳۰۰۰-۳۲۰۰ متر و بیشتر از ۳۲۰۰

متر طبقه‌بندی شده است. نقشه جهت شیب نیز در هشت جهت از مدل رقومی ارتفاعی حاصل شده است. **-داده‌های حاصل از عوارض خطی:** به منظور تهیه نقشه‌های فاصله از آبراهه و فاصله از جاده، شبکه آبراهه‌ها و جاده‌ها از روی نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی شدند. سپس لایه اطلاعاتی فاصله از آبراهه به شش طبقه و فاصله از جاده به چهار طبقه تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین فرسایش خندقی و متغیرها به کار گرفته شد. متغیر فاصله از گسل نیز به پنج طبقه با استفاده از دستور Euclidean Distance در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی طبقه‌بندی شده است.

-لایه‌های سنگ‌شناسی و کاربری اراضی: حوزه مورد بررسی از واحدهای سنگ‌شناسی متنوعی برخوردار می‌باشد. واحدهای سنگ‌شناسی Em شامل مارن، سنگ آهک، توف و واحد سنگ‌شناسی M2 شامل ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا از سازندهای دوران

به منظور ارزیابی نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، استفاده شد. در ابتدا برنامه‌ای در محیط MATLAB نوشته شد. پس از ساختن شبکه و انجام مدل‌سازی و ترانهاده کردن داده‌ها، داده‌های مربوطه به نرم‌افزار ArcGIS انتقال داده شده و در نهایت اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه پتانسیل فرسایش خندقی شد.

نتایج و بحث

از بررسی ارتباط بین شیب و خندق‌ها این نتیجه حاصل شد که در طبقه شیب صفر تا پنج درصد، با ۱۷/۵ درصد از مساحت حوضه، حدود ۴۱/۷۰ درصد از خندق‌ها رخ داده‌اند که با توجه به نسبت فراوانی محاسبه شده در این طبقه از عامل شیب، مقدار خندق‌های رخ داده بیشتر است. طبقه شیب پنج تا ۱۰ درصد با ۲۸/۱۴ درصد از خندق‌های رخ داده در مرتبه بعدی قرار دارد. این موضوع با نتایج مطالعات انجام شده توسط Shadfar (۲۰۱۵) که معتقد است ۷۰ درصد از مناطق خندقی در شیب کمتر از ۱۲ درصد، ۱۶ درصد در طبقه شیب ۱۲ تا ۲۵ درصد و ۱۴ درصد از مناطق خندقی نیز در شیب بیشتر از ۲۵ درصد قرار گرفته‌اند، مطابقت دارد. شکل ۲ نسبت فراوانی فرسایش خندقی را در شیب‌های مختلف نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از ارتباط بین عامل سنگ‌شناسی و خندق‌های رخ داده نشان‌دهنده این است که واحدهای سنگ‌شناسی Qt2 با نسبت فراوانی ۲/۷۷ و EM با نسبت فراوانی ۱/۶۲ دارای بیشترین مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی می‌باشند که با یافته‌های Leyland و Darby Stephen (۲۰۰۸) که به این نتیجه رسیدند در مناطقی که از واحدهای سنگ‌شناسی سست‌تری تشکیل شده‌اند، گسترش مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی بیشتر است، مطابقت دارد. نتایج حاصل از ارتباط بین عامل جهت شیب با فرسایش خندقی نشان داد که جهت‌های شیب جنوب شرقی، جنوب و جنوب غرب با نسبت‌های فراوانی ۲/۱۵، ۱/۲۴ و ۱/۰۱ به ترتیب دارای بیشترین میزان فرسایش خندقی می‌باشند. بررسی نوع خاک و خندق‌های رخ داده نشان داد که بیشترین مناطق تحت تأثیر فرسایش

سنوزوئیک (دوره میوسن) به ترتیب دارای بیشترین میزان مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی می‌باشند. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی تهیه و با عملیات میدانی تکمیل شده است.

جهت کدگذاری هر یک از طبقه‌های عوامل مؤثر بر وقوع فرسایش خندقی جهت ورود به شبکه عصبی مصنوعی از روش نسبت فراوانی استفاده شد. موقعیت مکانی خندق‌ها با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی به وسیله GPS مورد بررسی قرار گرفت و نقشه مربوطه تهیه شد. با استفاده از نقشه‌های خندق و مرز حوضه و تلفیق آن‌ها با یکدیگر نقشه خندق ۰ و ۱ تهیه شد تا به عنوان خروجی در شبکه عصبی مورد استفاده قرار گیرد. وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. از این رو داده‌های ورودی به شبکه بایستی نرمال شوند (Golabi و همکاران، ۲۰۱۳). نرمال‌سازی داده‌های ورودی قبل از آموزش شبکه عصبی انجام گرفت. هدف از نرمال‌سازی این است که داده‌ها به اعدادی مابین صفر تا یک تبدیل شوند (Menhaj، ۲۰۰۲). در تحقیق حاضر با توجه به متفاوت بودن تعداد طبقات در عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی می‌بایست دامنه تغییرات این طبقات یکسان شود. برای یکسان کردن دامنه تغییرات طبقات، عمل استاندارد کردن داده‌ها با استفاده از رابطه (۱) صورت گرفت.

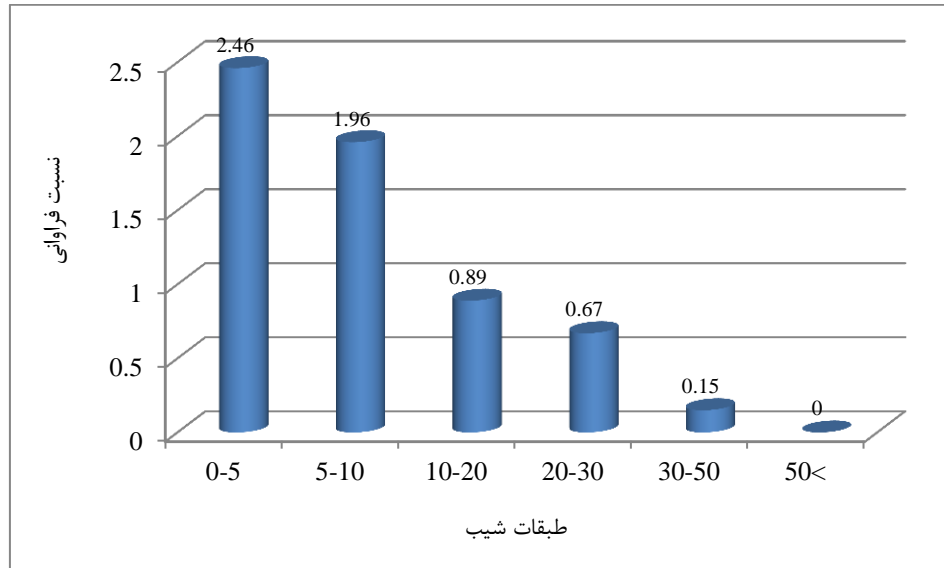
$$z_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

که در آن، z_i مقدار استاندارد شده، x_i مقدار هریک از داده‌ها، x_{\min} حداقل مقدار داده‌ها و x_{\max} حداکثر مقدار داده‌ها می‌باشد. بعد از مشخص شدن متغیرهای تأثیرگذار در وقوع فرسایش خندقی و استاندارد کردن، داده‌های استاندارد شده به محیط نرم‌افزار MATLAB، انتقال یافتند. در تحقیق حاضر، از شبکه عصبی مصنوعی با ساختار پرسپترون چند لایه و الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا استفاده شد. در این پژوهش تابع فعال غیرخطی مشتق‌پذیر سیگموئید مورد استفاده قرار گرفت.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2)$$

دارد. در حوضه مورد بررسی بیشترین مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی در کاربری کشاورزی با نسبت فراوانی ۵/۳۰ قرار گرفته‌اند که با نتایج Maleki و Miladi (۲۰۰۲) مطابقت دارد.

خندقی در خاک‌های TypicXerorthents که خاک‌هایی جوان، فاقد تکامل پروفیلی و دارای رژیم رطوبتی زیریک می‌باشند، با نسبت فراوانی ۲/۶۳ و LithicXerorthents با نسبت فراوانی ۰/۵۶ قرار دارند که با نتایج تحقیقات Ghoddousi (۲۰۰۳) همخوانی



شکل ۲- رابطه بین نسبت فراوانی فرسایش خندقی و طبقات شیب

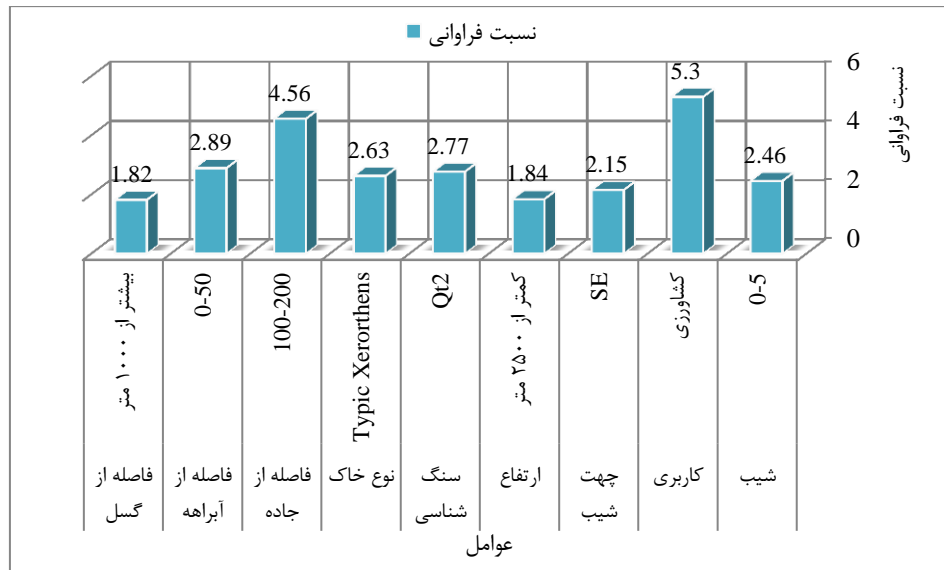
مقادیر حاصل از ارتباط بین عوارض خطی با خندق‌های رخ داده در حوضه نشان داد که فاصله از آبراهه ۵۰-۱۰۰ و ۱۰۰-۵۰ متری به ترتیب با نسبت فراوانی ۲/۸۹ و ۱/۳۲، فاصله از جاده ۱۰۰-۲۰۰ و ۱۰۰ متری به ترتیب با نسبت فراوانی ۳/۲۹ و ۴/۶۵، فاصله از گسل بیشتر از ۱۰۰۰ متری با نسبت فراوانی ۱/۸۲ و فاصله از گسل ۵۰۰-۱۰۰۰ متری با نسبت فراوانی ۰/۹۳ دارای بیشترین گسترش مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی می‌باشند. شکل ۳ نسبت فراوانی طبقات عواملی را که دارای بیشترین مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی می‌باشند، را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی:

در این پژوهش از اطلاعات ۳۸۹ پیکسل خندقی و غیرخندقی برای آموزش و آزمون شبکه استفاده شده است که از این تعداد ۲۷۲ پیکسل خندقی برای آموزش و ۱۱۷ پیکسل خندقی برای آزمون شبکه به کار رفته است. در جدول ۱ آماره‌های خطا و ضریب

تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی فرسایش خندقی ارائه شده است. ساختار مورد استفاده در این تحقیق، شامل نه لایه ورودی، ۴۸ لایه پنهان و یک لایه خروجی است. شبکه ۱-۱۳-۹ با قانون یادگیری لوبنبرگ مارکوت با تابع انتقال سیگموئید و نسبت یادگیری ۰/۵ با $R^2=0/945$ و $RMSE=0/397$ به عنوان بهترین مدل شبکه عصبی مصنوعی انتخاب شد.

بر اساس جدول ۱ مقدار $RMSE$ برابر ۰/۳۹ تعیین شد و بعد از تعیین پارامترهای بالا با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای کل پیکسل‌های منطقه که ۳۴۹۷۸ هستند، وزنی بین صفر تا یک تعیین شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی منطقه به پنج پهنه ۰-۰/۲، ۰/۲-۰/۴، ۰/۴-۰/۶، ۰/۶-۰/۸، و ۰/۸-۱ به ترتیب پهنه‌های با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی شد (شکل ۴). جدول ۲ درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی فرسایش خندقی را نشان می‌دهد.



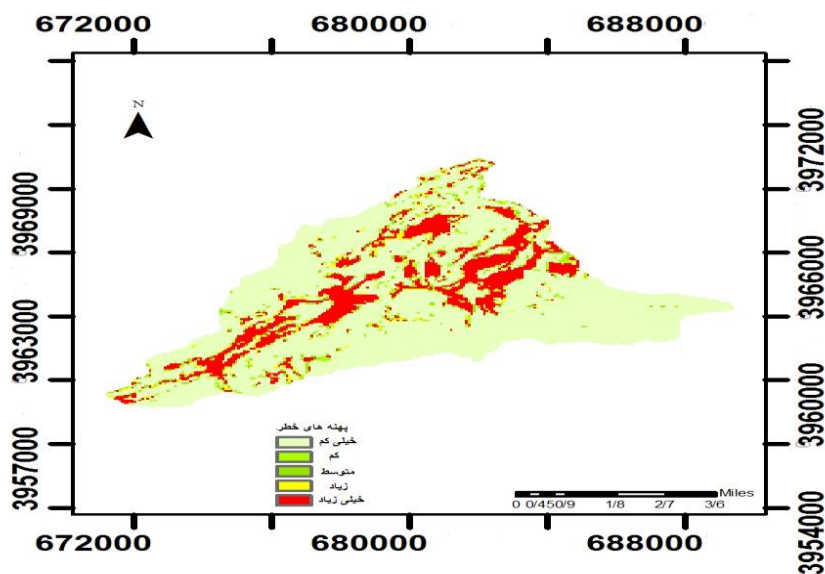
شکل ۳- نسبت فراوانی طبقات عوامل موثر در رخداد فرسایش خندقی

جدول ۱- آماره‌های خطا و ضریب تعیین حاصل از اجرای شبکه عصبی مصنوعی

| نوع شبکه عصبی | قانون یادگیری | تابع انتقال | آرایش | R ² | R | RMSE |
|-------------------|---------------|-------------|--------|----------------|-------|--------|
| پرسپترون چند لایه | لونیگ مارکوت | سیگموئید | ۱-۱۳-۹ | ۰/۹۴۵ | ۰/۹۷۲ | ۰/۰۳۹۷ |

جدول ۲- درصد مساحت هر یک از طبقات پهنه‌بندی فرسایش خندقی

| پهنه‌های خطر | مساحت (درصد) |
|--------------|--------------|
| خیلی کم | ۷۰/۲۶ |
| کم | ۱/۷۱ |
| متوسط | ۲/۴۵ |
| زیاد | ۲/۶۵ |
| خیلی زیاد | ۲۲/۹۳ |



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی فرسایش خندقی

نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی خطر وقوع فرسایش خندقی حاکی از آن است که ۶۵/۹۴ درصد در طبقه خیلی کم، ۴/۰۷ درصد در طبقه خیلی کم، ۳/۷۸ درصد در طبقه خطر متوسط، ۴/۷۵ درصد در طبقه خطر زیاد و ۲۱/۹۴ درصد در طبقه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است.

منابع مورد استفاده

- Ahmadi, H. 1995. Applied geomorphology (water erosion). University of Tehran, 614 pages (in Persian).
- Alp, M. and H. Cigizoglu. 2009. Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data. *Environmental Modelling and Software*, 22: 2-13.
- Arabghashghaie, Z. 2010. Studying effective factors on gully erosion with use of GIS and RS and zonation in Troude watershed. MSc thesis, Azad University, 80 pages.
- Boukheir, R., J. Chorowicz, A. Chadi and D. Dhont. 2008. Soil and bedrock distribution estimated from gully form and frequency: a GIS-based decision-tree model for Lebanon. *Geomorphology*, 93: 482-492.
- Casali, J., L.M. Santisteban, J.J. Lopez, J.V. Giraldez, J. Poesen, J. Nachtergaele, M. Goni, J. Loizu and M.A. Campo. 2005. Evaluation of topographic indices for ephemeral-gully erosion assessment. *International Journal of sediment Research*, 20(4): 295-304.
- Centeri, Cs., E. Herczeg, M. Vona, K. Balázcz and K. Penksza. 2009. The effect of land use change on plant-soil-erosion relations, Nyereg hill, Hungary. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172(4): 586-592.
- Descroix, L., J.L. Gonzalez Barrios, D. Viramontes, J. Poulencard, E. Anaya, M. Esteves and J. Estrada. 2008. Gully and sheet erosion on subtropical mountain slopes: their respective roles and the scale effect. *Catena*, 72: 325-339.
- Gábris, G.Y., Á. Kertész and L. Zámbo. 2003. Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena*, 50: 151-164.
- Galang, M.A., D. Markewitz, L.A. Morris and P. Busseli. 2007. Land use change and gully erosion in the Piedmont region of South Carolina. *Journal of Soil and Water Conservation*, 62: 122-129.
- Ghoddousi, J. 2003. Gully erosion and gully morphology modeling and its risk zonation, case study in Zanjan roud watershed. PhD Thesis, Tehran University, 368 pages.
- Golabi, M.R., A.M. Akhondali and F. Radmanesh. 2013. Comparing the performance of different artificial neural networks algorithms in modeling the rainy season, case study: selected stations in Khozestan province. *Journal of Geographical Sciences and Applied Research*, 30: 151-169 (in Persian).
- Grace, J.M. 2004. Soil erosion following forest operations in the Southern Piedmont of central Alabama. *Journal of Soil and Water Conservation*, 59: 180-185.
- Ireneusz, M. 2008. Dating of small gully formation and establishing erosion rates in old gullies under forest by means of anatomical changes in exposed tree roots (Southern Poland). *Geomorphology*, 93: 421-436.
- Kisi, O. 2009. Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. *Hydrological Sciences Journal*, 50(4): 683-696.
- Leyland, J. and E. Darby Stephen. 2008. An empirical conceptual gully evolution model for channelled sea cliffs. *Geomorphology*, 102: 419-434.
- Maleki, A. and B. Miladi. 2012. Simulation prone areas creating the gully with use of SPI method in merik watershed. *Quantitative Geomorphology Research*, 3: 23-38 (in Persian).
- Menhaj, M.B. 2002. Foundations of neural networks. Amirkabir University Press, 715 pages (in Persian).
- Misaghi, F. 2002. Simulation of rainfall-runoff for river routing using artificial neural networks. 46 pages (in Persian).
- Nikbin, M.R. 1995. Investigation of geomorphology and soils with plant communities in Troude watershed. MSc Thesis, 163 pages.
- Oostwoud Wijdenes, D.J. and R.B. Bryan. 2001. Gully-head erosion processes on a semi-arid valley floor in Kenya: A case study into temporal variation and sediment budgeting. *Earth surface processes and Landforms*, 26(9): 911-933.
- Poesen, J., L. Vandekerckhove, J. Nachtergaele, D. Oostwoud Wijdenes, G. Verstraeten and B. vanWesemael. 2002. Gully erosion in dryland environments. Wiley, Chichester, UK, 229-262.
- Shadfar, S. 2010. An introduction to gully erosion. Entekhab Publications, 141 pages (in Persian).

23. Shadfar, S. 2015. A study and evaluation of results of the effective factors on gully erosion. Final Report of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, (in Persian, unpublished).
24. Sharivar, A. 1997. Study of effective factors on gully erosion and offering model in Sogh Dehdasht. MSc Thesis, Tehran University, 124 pages.
25. Viero, A.C., C. Dos, M.R. Nilza, J.A. Goldenfum, A. Joel and A. Risso. 2005. Natural and anthropogenic factors controlling gully erosion in the basaltic upland of southern Brazil. *International Journal of Sediment Research*, 20(3): 211-223.
26. Yamani, S., M. Zamanzadeh and M. Ahmadi. 2013. Analysis of factors affecting the formation and development of gully erosion: a case study of Kahoor plain in Fars Province. *Geographical Exploration Desert*, 1: 53-84 (in Persian).
27. Zangiabadi, M.A., S. Rangavar, H.G. Refahi, M. Shorafa and M.R. Behamta. 2010. Investigating effective factors on process of soil erosion in semi-arid rangeland of Kalat. *Journal of Soil and Water*, 13: 737-744 (in Persian).