

شماره ۱۲۱، زمستان ۱۳۹۷

پژوهش‌های آبخیزداری

(پژوهش و سازندگی)

کاربرد GIS در تعیین مناطق مستعد فرسایش خندقی با روش فرایند تحلیل شبکه

رضا گرنامی

دانش‌آموخته‌ی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رامسر

صمد شادفر*

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: مردادماه ۱۳۹۷
*Corresponding Email: samad.shadfar@gmail.com

چکیده

فرسایش خندقی از انواع فرسایش آبی است که رخداد و گسترش آن موجب هدررفت خاک حاصل‌خیز کشاورزی، تخلیه‌ی رطوبت خاک و آب زیرزمینی می‌شود. اهداف پژوهش حاضر بررسی فرسایش خندقی و تعیین مناطق حساس از لحاظ توان فرسایش خندقی در حوضه‌ی سرخ‌آباد است. ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مانند شیب، کاربری، فاصله از گسل، جهت شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، بارش و ارتفاع از سطح دریا با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS تهیه، طبقه‌بندی و وزن‌دهی شدند. در واکاوی داده‌ها و مدل‌سازی، روش فرایند تحلیل شبکه (ANP) به کار گرفته شد. در روش ANP برای طراحی ساختار شبکه‌ای بین معیارها از روش DEMATEL استفاده شد. اعتبارسنجی نقشه‌ی فرسایش خندقی با نمودار ROC و معیار ارزیابی سطح زیرمنحنی (AUC) انجام گرفت. نتایج نشان دادند که معیارهای فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، کاربری زمین و بارش، مهم‌ترین عامل‌های تأثیرگذار بر فرسایش خندقی هستند. نتایج اعتبارسنجی نقشه‌ی پهنه‌بندی فرسایش خندقی نشان دادند که با مقدار سطح زیرمنحنی معادل ۰/۶۸۴، مدل عمل‌کرد متوسطی برای تعیین مناطق مستعد به فرسایش خندقی در حوضه‌ی مطالعه‌شده دارد. تعیین مناطق مستعد فرسایش خندقی با استفاده از روش شبکه‌ی عصبی مصنوعی و مقایسه‌ی آن با روش فرایند تحلیل شبکه پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: اعتبارسنجی، سطح زیرمنحنی، فرایند تحلیل شبکه، فرسایش خندقی

Application of the GIS in the Determination of Susceptible Areas to Gully Erosion Using the Analytic Network Process (ANP)

Reza Gornami

Islamic Azad University, Ramsar, Iran

Samad Shadfar

(Corresponding Author)* Associate Prof, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Gully erosion is types of water erosion that its occurrence and development lead to the loss of fertile agricultural soil, depletion of soil and groundwater. The objectives of this study were to investigate gully erosion and determine the sensitive areas in terms of gully erosion on the Sorkh Abad Watershed. Information layers such as slope, land use, distance from faults, aspect, distance from the stream network, distance from roads, lithology, rainfall and altitude above the mean sea level were prepared, classified and weighted using the Arc GIS software. Analytic network process (ANP) was used in the data analysis and modeling. The DEMATEL method was used to design the network structure among the criteria. The receiver operating characteristics (ROC) and the area under curve (AUC) were used for validation of the gully erosion map. The results indicated that four criteria: distance from roads, lithology, land use and precipitation were the most important factors leading to cause gully erosion. The results of validation of the gully erosion zonation map showed that the AUC with 0.684 had an appropriate function to determine susceptibility of the localities to gully erosion in the studied watershed.

Keywords: ANP, area under curve (AUC), gully erosion, Validation

مقدمه

گسترش و تشدید فرسایش خندقی، زمین‌های کشاورزی، مرتعی و زیرساخت‌های عمرانی را در بسیاری از مناطق کشور، به‌طور جدی تهدید می‌کند. علاوه بر این، سهم فرسایش خندقی در تخریب خاک و تولید رسوب بسیار با اهمیت و شایسته‌ی توجه است. اهمیت این موضوع با توجه به نقش این نوع فرسایش در تخریب زمین‌ها ایجاب می‌کند که به شناسایی علل گسترش فرسایش خندقی و مدل سازی آن در حوضه‌های آبخیز پرداخته شود. از آنجا که در ایران برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر پدیده‌ی فرسایش خندقی، از روش‌های نوینی مانند تحلیل شبکه بسیار کم استفاده شده است، در این مقاله به بررسی علل رخداد فرسایش خندقی، اولویت‌بندی و تعیین مناطق مستعد

فرسایش خندقی با روش فرایند تحلیل شبکه^۱ پرداخته می‌شود. فرسایش خندقی، یکی از منابع مهم تولید رسوب در حوضه‌های آبخیز است (واسون و همکاران ۱۹۹۶؛ کروچ و همکاران ۱۹۸۹؛ دیون ۲۰۰۵). اثر نوع رسوب نیز می‌تواند تغییرات پایین دست را در عرض و عمق یک خندق توضیح دهد. داده‌های جمع‌آوری شده در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهند که نرخ ازدست‌دادن خاک به‌وسیله‌ی فرسایش خندقی، از ۱۰٪ به ۹۴٪ از کل رسوب ایجادشده‌ی فرسایش آبی است (پوزن و همکاران ۲۰۰۳؛ لی و همکاران ۲۰۱۷؛ کارابالو آریاس و همکاران ۲۰۱۶). سلیمان پور (۲۰۰۷) با بررسی خندق‌های استان فارس به این نتیجه دست یافت که خندق‌ها روی سازندهای آبرفتی و مارنی گسترش یافته‌اند. مایرکر و ذاکری نژاد (۲۰۱۴) با استفاده

1- analytic network process

رطوبت پستی و بلندی، ارتفاع، شیب، جهت شیب و انحنای زمین بودند. نتایج ANP فازی حاکی از صحت ۹۰ درصدی نقشه‌ی پیش‌بینی خندق است. نتایج نشان داد که بافت خاک، تراکم زهکشی و سنگ‌شناسی مهم‌ترین متغیرها هستند. رحمتی و همکاران (۲۰۱۷) با کمک گرفتن از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور از مدل شرطی احتمال (CP) برای برقراری ارتباط فضایی بین خندق و عوامل محیط زیستی در حوضه‌ی کشکان‌پل دختر پرداختند. اعتبارسنجی مدل با منحنی ROC، ۸۹/۹٪ به دست آمد؛ همچنین عواملی مانند بافت خاک، تراکم زهکشی و سنگ‌شناسی را از مهم‌ترین عوامل در حساسیت به فرسایش خندقی معرفی کردند. صفاری و همکاران (۲۰۱۵)، پهنه‌بندی فرسایش خندقی را با کاربرد مدل‌های ANP و AHP در حوضه‌ی دشت کهور استان فارس انجام دادند. بدین‌منظور ابتدا تعدادی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توسعه‌ی فرسایش خندقی در محیط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی شدند. در مرحله‌ی بعد، نقشه‌ی محدوده‌ی خندق‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی تهیه و پهنه‌بندی فرسایش خندقی با مدل‌های AHP و ANP انجام گردید. نتایج حاصله نشان داد که از بین عوامل بررسی‌شده، سنگ‌شناسی و شیب به‌عنوان مهم‌ترین متغیرها از لحاظ اهمیت شناخته شده‌اند. در هر دو روش بالا، صددرصد خندق‌ها در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده‌اند.

بررسی‌های اولیه نشان داده‌اند که حوضه‌ی سرخ‌آباد نسبت به این نوع فرسایش حساس است و اثرات منفی اقتصادی و اجتماعی آن در پی تخریب مزارع، مراتع و چراگاه‌ها، جاده‌ها، هدررفتن خاک حاصل‌خیز و تولید رسوب در منطقه مشهود است؛ از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی و تعیین میزان تأثیرگذاری عوامل و مشخص کردن مناطق مختلف خطر می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران برای برنامه‌ریزی مهار و کاهش خسارات این نوع فرسایش در منطقه‌ی یادشده و مناطق مشابه قرار دهد؛ همچنین، در این روش برخلاف روش AHP، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی از روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) که ارتباطات پیچیده‌ی بین عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرد، استفاده شده است.

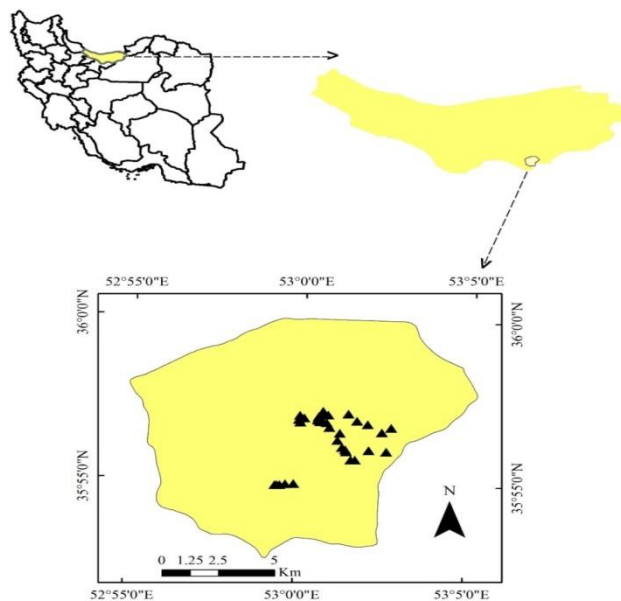
مواد و روش‌ها منطقه‌ی مطالعه‌شده

منطقه‌ی مطالعه‌شده یکی از زیرحوضه‌های حوضه‌ی آبخیز تالار است که در مختصات جغرافیایی ۶°، ۵۱'، ۵۲° ۰ تا ۱۲°، ۵'، ۵۳° طول شرقی و ۰۰°، ۴۹'، ۳۵° ۰ تا ۳۶° عرض شمالی قرار دارد.

تصاویر گوگل‌ارث، DEM و مدل آنتروپی حداکثر به پیش‌بینی مناطق مستعد فرسایش خندقی در دشت مزایجان استان فارس پرداختند. کارایی مدل با استفاده از منحنی ROC، ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مدل آنتروپی روشی مناسب برای تهیه‌ی نقشه‌ی توان خندقی شدن منطقه برای مدیریت فرسایش خاک است. ایمسون و همکاران (۲۰۱۱) به این نتیجه رسیدند که خندق‌ها به‌وسیله‌ی عوامل خاک‌شناختی و آب‌شناسی مهار می‌شوند و پیشنهاد کردند که این ویژگی‌ها در احیای اراضی و انتخاب روش‌های کاهش خسارت خندق‌ها مدنظر متخصصان قرار گیرد. بر اساس نتایج این مطالعه که در کشور نیجریه انجام شده است احیای پوشش طبیعی و مدیریت اصولی زمین‌های زراعی بهترین روش برای مهار خندق‌ها معرفی شده‌اند. در شرایط طبیعی ساختار زمین‌ریخت‌شناسی و سنگ‌شناسی محلی و ناحیه‌ای، نوع و ضخامت خاک و نوع و مساحت پوشش گیاهی، فراوانی و نوع خندق‌ها را کنترل می‌کنند. اصغری و همکاران (۲۰۱۱) خطرپذیری فرسایش خاک را در حوضه‌ی آبخیز دوآب لرستان با استفاده از تحلیل شبکه و فناوری‌های سنجش‌ازدور و GIS، بررسی کردند. عوامل در نظر گرفته‌شده شامل شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین، پوشش گیاهی، بارش، خاک و آبراهه بودند که با استفاده از روش ANP و مقایسه‌ی زوجی وزن هر معیار و وزن رده‌های هر لایه در نرم‌افزار سوپر دسیژن^۳ محاسبه شد. بر اساس وزن اکتسابی از روش ANP نقشه‌ی نهایی در پنج رده‌ی خطر خیلی‌زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر بسیارکم تهیه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که ۱۱٪ از مساحت محدوده‌ی مطالعه‌شده در رده‌ی خطر خیلی‌زیاد، ۱۳٪ در رده‌ی خطر زیاد، ۱۶٪ در رده‌ی خطر متوسط، ۲۸٪ در رده‌ی خطر کم و ۳۲٪ در رده‌ی خطر بسیارکم واقع شده است. شادفر (۲۰۱۶)، توان فرسایش خندقی با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی را در حوضه‌ی آبخیز طرود بررسی کرد. نتایج نشان داد که کاربری مرتع، شیب کمتر از ۱۰٪ و فاصله از آبراهه تا ۵۰ متر، بیشترین تأثیر را در رخداد فرسایش خندقی دارند. شهرپور و همکاران (۲۰۱۷)، ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی فرسایش خندقی را در حوضه‌ی آبخیز آگندی با استفاده از مدل شاخص هم‌پوشانی و عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای فازی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل گامای فازی ۰/۸ مناسب‌ترین روش برای بررسی فرسایش خندقی در حوضه‌ی مطالعه است. چوبین و همکاران (۲۰۱۷) به پیش‌بینی نقشه‌ی حساسیت فرسایش خندقی با استفاده از روش ANP فازی در آبخیز کشکان‌پل دختر پرداختند. موقعیت ۶۵ خندق با استفاده از عملیات میدانی در منطقه‌ی مطالعه ثبت شد. عامل‌های در نظر گرفته‌شده در این پژوهش شامل بافت خاک، تراکم زهکشی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، کاربری زمین‌ها، سنگ‌شناسی، شاخص

به طور کلی حوضه از یک گروه واحدهای سنگی متعلق به دوره‌ی تریاس و بعد از آن تشکیل شده و عمده‌ترین سازندهای آن الیکا، شمشک، دلیچای و تیزکوه است. رسوبات آواری، واریزه‌های تثبیت‌نشده، شیل، مارن و ماسه‌های لای منفصل سنگ‌های حساسی هستند که در منطقه در سطح وسیعی گسترش دارند. شکل‌های مختلف فرسایش، نظیر خندق، هزاردره، ریزش و لغزش در این حوضه دیده می‌شوند (جعفری ۲۰۱۱).

بیشینه ارتفاع حوضه ۳۶۹۰ متر و کمینه‌ی آن در نقطه‌ی خروجی ۹۸۰ متر است. نوع زمین‌ها، ۵۷٪ کوه، ۳۴٪ تپه، ۴/۳٪ فلات و ۱/۱٪ دشت دامنه‌ای است. اقلیم حوضه براساس روش دومارتن اصلاح‌شده غالباً کوهستانی و قسمت‌هایی مرطوب سرد و نیمه‌خشک سرد است. میانگین بارندگی سالانه ۵۱۲/۷ میلی‌متر و توزیع بارندگی ۲۹٪ پاییز، ۲۷/۵٪ زمستان، ۲۲/۶٪ بهار و ۲۰/۸٪ مربوط به تابستان است. میانگین دمای سالانه ۱۵/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد، کمینه‌ی مطلق دما ۸/۵ - و بیشینه‌ی مطلق دما ۴۵ درجه‌ی سانتی‌گراد است



شکل ۱- منطقه‌ی مطالعه‌شده و موقعیت نقاط خندقی.

میانگین هندسی امتیاز نهایی به دست آمد. سرانجام به طراحی شبکه با نرم‌افزار سوپر دسیژن بین هدف و معیار و زیر معیار اقدام گردید.

روش دیمتل^۳

روش دیمتل، برای شناسایی و بررسی رابطه‌ی متقابل بین معیارها به کار گرفته می‌شود. ماتریس حاصله از روش دیمتل (ماتریس ارتباطات داخلی)، در واقع تشکیل‌دهنده‌ی بخشی از سوپرماتریس است. به عبارتی، روش دیمتل به طور مستقل عمل نمی‌کند؛ بلکه زیرسامانه‌ای از سامانه‌ی بزرگ‌تری چون ANP است. مراحل انجام این روش به این صورت است که پس از تشکیل ماتریس ارتباط مستقیم و بهنجار کردن آن، اقدام به محاسبه‌ی ماتریس ارتباط کامل می‌شود و روابط علی به صورت زیر انجام می‌شود:

- جمع عناصر هر سطر (D) برای هر عامل (میزان تأثیرگذاری

مراحل کار با روش تحلیل شبکه

ANP برای حل مسائلی که بین عناصر آن وابستگی وجود داشته باشد، توسعه داده شد. روش ANP، ایرادهای فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) را برطرف کرد که از جمله‌ی این محدودیت‌ها بی‌توجهی به وابستگی متقابل بین عناصر تصمیم یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌هاست و ارتباط بین عناصر را سلسله‌مراتبی و یک‌طرفه در نظر می‌گیرد. در این روش ابتدا اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر فرسایش خندقی با توجه به هدف، انجام و لایه‌های اطلاعاتی لازم تهیه شد؛ سپس در فرایند تحلیل شبکه براساس جدول مقیاس نه‌کمیتی ال ساعتی (ارائه‌دهنده‌ی فرایند تحلیل شبکه‌ای) مقایسه‌ی زوجی بین عوامل انجام و برتری هر یک از معیارها بر دیگری، مطابق جدول معیار ساعتی وزن‌دهی شد؛ آنگاه با استفاده از امتیازهای داده‌شده با روش

کاربرد GIS در تعیین مناطق مستعد فرسایش...

متغیرها)

و مقدار آن بین صفر و یک است. مقدار ۰/۵ برابر پیش‌بینی تصادفی است و مقدار ۱ برابر پیش‌بینی عالی است. مطابق با طبقه‌بندی سیسل‌ناکار و توپال (۲۰۰۵) عملکرد مدل‌ها براساس درصد سطح زیرمنحنی به شرح زیر است: صحت ضعیف (۵۰-۶۰٪)، صحت متوسط (۶۰-۷۰٪)، صحت خوب (۷۰-۸۰٪)، صحت خیلی خوب (۸۰-۹۰٪) و صحت عالی (۹۰-۱۰۰٪).

- جمع عناصر ستون (R) (میزان تأثیرپذیری متغیرها)
- درنهایت یک دستگاه مختصات دکارتی ترسیم می‌شود. در این دستگاه محور طولی مقادیر $D + R$ و محور عرضی براساس $D - R$ است. موقعیت هر عامل با نقطه‌ای به مختصات $(D + R, D - R)$ در دستگاه معین می‌شود.

اعتبارسنجی نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی

به‌منظور اعتبارسنجی نقشه‌ی فرسایش خندقی از معیار ارزیابی روش سطح زیر منحنی و نمودار ROC^۴ استفاده شد. سطح زیرمنحنی (AUC)^۵ عددی است که یک جنبه از کارایی را سنجش می‌کند

نتایج و بحث

نتایج حاصل از روش دیمتل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- محاسبات حاصل از روش دیمتل.

معیار	بارش	شیب	جهت	ارتفاع	گسل	آبراهه	جاده	سنگ-شناسی	کاربری
بارش	۰	۱	۰	۰	۱	۳	۰	۱	۲
شیب	۰	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۰	۴
جهت	۳	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰
ارتفاع	۳	۲	۰	۰	۰	۲	۳	۱	۴
گسل	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱
آبراهه	۰	۲	۰	۰	۱	۰	۲	۲	۱
جاده	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۰	۰	۲
سنگ‌شناسی	۰	۳	۰	۰	۳	۳	۳	۰	۳
کاربری	۰	۱	۰	۰	۰	۱	۱	۲	۰

بعد از محاسبات به روش دیمتل، ماتریس ارتباط کامل یا ماتریس T محاسبه شد. جدول شماره‌ی ۲ ماتریس ارتباط کامل یا ماتریس T را نشان می‌دهد.

جدول ۲- ماتریس ارتباط کامل یا ماتریس T.

معیار	بارش	شیب	جهت	ارتفاع	گسل	آبراهه	جاده	سنگ-شناسی	کاربری	D
بارش	۰/۱۰۰	۰/۱۴	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰	۰/۲۶	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۲۴	۱/۰۱
شیب	۰/۱۰۰	۰/۱۰۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۳۵	۱/۰۵
جهت	۰/۲۰	۰/۱۳	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۶	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۱	۰/۸۵
ارتفاع	۰/۲۰	۰/۲۵	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۱۰/۰	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۱۸	۰/۴۸	۰/۸۳
گسل	۰/۱۰۰	۰/۰۱	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۱
آبراهه	۰/۱۰۰	۰/۱۹	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۹۹
جاده	۰/۱۰۰	۰/۰۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۱۵	۰/۳۰
سنگ‌شناسی	۰/۱۰۰	۰/۲۸	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۲۸	۰/۲۸	۰/۳۴	۰/۰۹	۰/۳۷	۰/۶۳
کاربری	۰/۱۰۰	۰/۱۲	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۰۶	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۷۱
R	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۱۰۰	۰/۱۰۰	۰/۹۶	۱/۳۷	۱/۵۵	۰/۹۵	۲/۰۶	

4- receiver operating characteristic curve

5- area under the curve

مثبت باشد، متغیر یک متغیر علی محسوب می شود و اگر منفی باشد، معلول به شمار می آید.

جدول ۳ نشان می دهد که عوامل شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده و کاربری زمین ها جزو عوامل معلول هستند؛ بدین مفهوم که به طور کلی از عوامل دیگر تأثیر می پذیرند. این در حالی است که عوامل بارش، جهت شیب، ارتفاع و سنگ شناسی مثبت اند و بر عوامل دیگر تأثیر گذارند.

جمع عناصر هر سطر (D) برای هر عامل، نشانگر میزان تأثیرگذاری آن عامل بر دیگر عامل های سامانه است. جمع عناصر ستون (R) برای هر عامل، نشانگر میزان تأثیرپذیری آن عامل از دیگر عامل های سامانه است. بردار افقی (D + R) میزان تأثیر و تأثر عامل مورد نظر در سامانه است؛ به عبارت دیگر هر چه مقدار D + R عاملی بیشتر باشد، آن عامل تعامل بیشتری با عوامل دیگر سامانه دارد. بردار عمودی (D - R) قدرت تأثیرگذاری هر عامل را نشان می دهد. به طور کلی اگر D - R

جدول ۳- مقادیر تأثیرگذاری و تأثیرپذیری با کاربرد روش دیمتل.

معیارها	تأثیرگذاری	تأثیرپذیری	بردار برتری	مقدار تأثیرگذاری و تأثیرپذیری
	D	R	D+R	D-R
بارش	۱/۰۱	۰/۴۰	۱/۴۱	-۰/۶۱
شیب	۱/۰۵	۱/۲۰	۲/۲۶	-۰/۱۵
جهت	۰/۸۵	۰/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۵
ارتفاع	۱/۸۳	۰/۰۰	۱/۸۳	۱/۸۳
فاصله از گسل	۰/۱۱	۰/۹۶	۱/۰۷	-۰/۸۴
فاصله از آبراهه	۰/۹۹	۱/۳۷	۲/۳۵	-۰/۳۸
فاصله از جاده	۰/۳۰	۱/۵۵	۱/۸۵	۱/۲۵
سنگ شناسی	۱/۶۳	۰/۹۵	۲/۵۸	-۰/۶۸
کاربری زمین	۰/۷۱	۲/۰۶	۲/۷۷	-۱/۳۵

مدل های ANP و AHP در حوضه ی دشت کهور استان فارس پرداختند و نتایج حاصله نشان داد که از بین عوامل بررسی شده، عامل سنگ شناسی به عنوان مهم ترین متغیرها از لحاظ اهمیت شناخته شده است که با مطالعات چوبین و همکاران (۲۰۱۷) مطابقت دارد.

اهمیت نسبی معیارها و رده های عوامل، طبق روش تحلیل شبکه ای به ترتیب در جدول های ۴ و ۵ ارائه شده است. همان طور که مشخص است معیارهای فاصله از جاده، سنگ شناسی، کاربری زمین و بارش عامل های مهم تر تأثیرگذار بر فرسایش خندقی هستند. در این راستا، صفاری و همکاران (۲۰۱۵) نیز به بررسی فرسایش خندقی با کاربرد

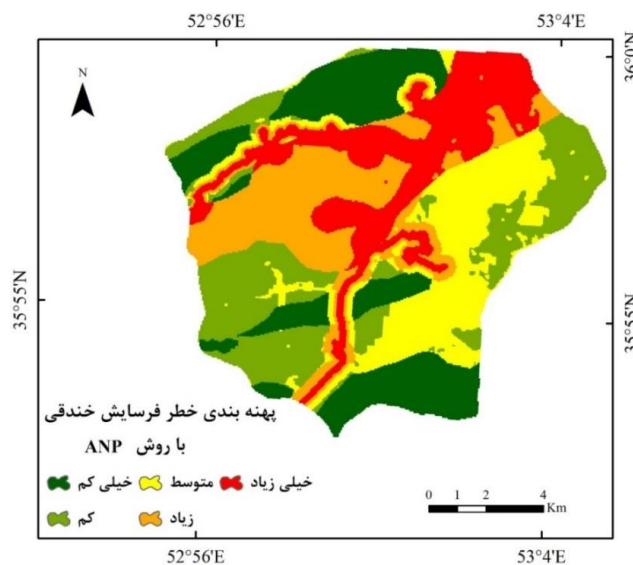
جدول ۴- ارزش نسبی روش تحلیل شبکه ای.

معیار	وزن
ارتفاع	۰/۰۲
مقدار شیب	۰/۱۰
جهت شیب	۰/۰۰۵
لیتولوژی	۰/۱۸
فاصله از گسل	۰/۰۰۵
فاصله از آبراهه	۰/۰۱۴
فاصله از جاده	۰/۴۱
بارش	۰/۱۲۶
کاربری زمین	۰/۱۴

جدول ۵- وزن رده‌ها براساس روش تحلیل شبکه‌ای (ANP).

وزن	زیرمعیارها	معیار	وزن	زیرمعیارها	معیار
۰/۰۰۴	کمتر از ۱۰۰	فاصله از آبراهه	۰/۰۰۴	کمتر از ۱۰۰	ارتفاع
۰/۰۰۲	۱۰۰-۲۰۰		۰/۰۰۱	۱۰۰۰-۲۰۰۰	
۰/۰۰۰۸	۲۰۰-۵۰۰		۰/۰۰۰۵	۲۰۰۰-۲۵۰۰	
۰/۰۰۰۳	بیشتر از ۵۰۰		۰/۰۰۰۳	بیشتر از ۲۵۰۰	
۰/۰۰۰۸	کمتر از ۱۰۰۰	فاصله از گسل	۰/۰۰۵	۰-۱۵	مقدار شیب
۰/۰۰۰۳	۱۰۰۰-۲۰۰۰		۰/۰۰۲	۱۵-۳۰	
۰/۰۰۰۲	۲۰۰۰-۳۰۰۰		۰/۰۰۱	۳۰-۵۰	
۰/۰۰۰۱	۳۰۰۰-۴۰۰۰		۰/۰۰۱	۵۰-۷۰	
۰/۰۰۰۱	بیشتر از ۴۰۰۰		۰/۰۰۰۱	بیشتر از ۷۰	
۰/۱۶	کمتر از ۱۰۰	فاصله از جاده	۰/۰۰۰۴	کمتر از ۶۹۲	بارش
۰/۰۶	۱۰۰-۲۰۰		۰/۰۰۱	۶۹۲-۶۹۸	
۰/۰۳	۲۰۰-۴۰۰		۰/۰۰۲	۶۹۸-۷۰۴	
۰/۰۰۸	بیشتر از ۴۰۰		۰/۰۰۵	بیشتر از ۷۰۴	
۰/۰۰۰۱	شمال	جهت شیب	۰/۰۰۲	Czi	سنگ‌شناسی
۰/۰۰۰۴	جنوب		۰/۰۰۰۲	Db. sh	
۰/۰۰۰۳	شرق		۰/۱۰۲	EK	
۰/۰۰۰۱	غرب		۰/۰۰۲	PR	
۰/۰۰۰۱	شمال شرق		۰/۰۰۰۲	TI	
۰/۰۰۰۱	شمال غرب		۰/۰۰۰۸	Tre	
۰/۰۰۰۵	جنوب شرق		۰/۰۱۹	TRjs	
۰/۰۰۰۱	جنوب غرب	۰/۰۵	جنگل	کاربری زمین	
-	-	۰/۰۵	مرتع		
-	-	۰/۰۵۲	کشاورزی		
-	-	۰/۰۵	مسکونی		

نتایج حاصل از بررسی و پهنه‌بندی فرسایش خندقی با کاربرد روش ANP در شکل شماره ۱ و جدول ۶ نشان داده شده است.



شکل ۲- پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با کاربرد روش ANP.

جدول ۶- درصد مساحت هر پهنه ی خطر و خندق های رخ داده در هر پهنه ی خطر.

پهنه ی خطر	مساحت (درصد)	خندق (درصد)
خیلی کم	۲۰	۲/۵
کم	۲۲/۲	۱۰
متوسط	۱۹/۳	۲۵
زیاد	۱۹/۲۸	۴۲/۵
خیلی زیاد	۱۹/۲۲	۲۰

نشان می دهد. همان طور که مشخص است، مقدار سطح زیرمنحنی در روش ANP برابر با ۰/۶۸۴ است.

به منظور بررسی دقت و اعتبار نقشه های خطر تولیدی، از منحنی ROC و آماره ی AUC استفاده شد و در نرم افزار R رسم گردید. شکل ۲، منحنی ROC برای تعیین دقت نقشه ی فرسایش خندقی را



شکل ۴- گسترش فرسایش خندقی در زمین های شیب دار مرتعی.



شکل ۵- گسترش فرسایش خندقی در زمین های جنگلی تخریب شده.

پیشنهادها

- در بررسی فرسایش خندقی شبکه‌ی عصبی مصنوعی و GIS استفاده گردد و نتایج آن با مدل به‌کاررفته در این پژوهش ارزیابی شود.
- لحاظ اعداد دقیق به‌وسیله‌ی کارشناسان در روش ANP، همیشه با عدم قطعیت‌هایی روبه‌روست؛ پس استفاده از ANP فازی پیشنهاد می‌شود. ANP فازی از اعداد بازه‌ای به‌جای اعداد دقیق در مقایسه‌های زوجی استفاده می‌کند و این موضوع می‌تواند موجب

کاهش عدم قطعیت وزن‌دهی شود.

- در روش ANP برای تکمیل پرسش‌نامه از افراد متخصص آشنا به منطقه (و نه فقط متخصص) استفاده شود یا اینکه موقعیت منطقه و نقاط فرسایشی مشاهده‌شده به‌وسیله‌ی پژوهشگر ارائه شود تا کارشناسان علاوه بر تجربه، شرایط منطقه را نیز درک کرده و وزن‌دهی صحیح‌تری را انجام دهند.

- Asghari SM, Balvasi B, Zeinali IA, Balvasi A, Davoodi. 2014. Investigation of soil erosion risk in Doab basin of Lorestan by network analysis and RS and GIS techniques. *Environmental Erosion Research*. 4 (2):72–89
- Caraballo-Arias NA, Conoscenti C, Di Stefano C, Ferro V, Gómez-Gutiérrez A. 2016. Morphometric and hydraulic geometry assessment of a gully in SW Spain. *Geomorphology*. 274: 143–151.
- Choubin B, Rahmati O, Tahmasebipour N, Feizizadeh B, Pourghasemi HR. 2017. Application of fuzzy analytical network process model for analyzing the gully erosion susceptibility; *Natural Hazards GIS-based Spatial Modeling Using Data Mining Techniques*. Springer International Publishing. (In press).
- Crouch R, Novruzzi T. 1989. Threshold conditions for rill initiation on a vertisol, Gunnedah, N.S.W., Australia, *Catena*. 10: 101–110.
- Dunne T. 2005. Formation and controls of channel network. *Progress in Physical Geography*. 4: 211–239.
- Jafari gorzin B. 2011. Investigation of effective factors in development of gully erosion in sorkh abad watershed, final report of research plan, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute. 56p. (In Persian).
- Imasuen OI, Omali AO, Ibrahim I. 2011. Assessment of environmental impacts and remedies for gully erosion in Ankpa Metropolis and environs, Kogi state, Nigeria. *Advances in Applied Science Research*. 2(5):372–384.
- Li Z, Zhang Y, Zhu Q, Yang S, Li H, Ma H. 2017. A gully erosion assessment model for the Chinese Loess Plateau based on changes in gully length and area. *Catena*. 148: 195–203.
- Posesen JJ, Nachtorgale J, Verstrac G. (2003). Gully erosion and environmental change: importance and research needs, *Catena*. 50: 91–133.
- Rahmati O, Tahmasebipour N, Haghizadeh A, Pourghasemi HR, Feizizadeh B. (2017). An integrated framework. *Science of The Total Environment*, 579 Evaluating the influence of geo-environmental factors on gully erosion in a semi-arid region of Iran. 913–927.
- Saaty TL. 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publications, Pittsburgh.
- Safari A, Ahmadi M, Rahimi Har abadi S. 2015. Gully erosion zonation by ANP and AHP models in kahor watershed, Fars province, *Journal of Earth Science Researches*. 24: 94–110.
- Shadfar S. 2016. Determination of Gully erosion potential using Artificial Neural Network, Case study: Throud watershed, *Journal of Watershed Engineering and Management*. 8(3): 256–263. (In Persian).
- Shahrivar A, Shadfar S, khazae M, Adeli B. 2017. Assessment of Gully Erosion Zonation Methods (Case study: Abgendi Watershed), *ECO HYDROLOGY*. 4(1): 119–132. (In Persian).
- Solemanpour SM. 2007. Comparison of sediments of the gully And its relationship with the characteristics of the watershed and Geological Formation In different climates of Fars province, M.S Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. 170 p. (in Persian).
- Wasson RJ, Olive LJ, Rosewell CJ. 1996. Rates of erosion and sediment transport in Australia. In: Walling, D., Webb, B. Eds., *Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives*, IAHS Publ. 236 p.
- Yesilnacar E, Topal T. 2005. Landslide Susceptibility Mapping: A Comparison of Logistic Regression and

Neural Networks Methods in a Medium Scale Study, Hendek Region (Turkey). Engineering Geology. 79: 251–266.

Zakerinejad R, Marker M. (2014) Prediction of gully

erosion susceptibilities using detailed terrain analysis and maximum entropy modeling: A case study in the Mazayejan plain, southwest Iran. Supplementi di Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria (GEOGR FIS DIN QUAT). 37(1):67–76.

