

پهنه‌بندی فرسایش خندقی به وسیله مدل‌های ANP و AHP در حوضه دشت کهور - استان فارس

امیرصفاری^{۱*}، مهدی احمدی^۲، سعید رحیمی‌هرآبادی^۲

۱- دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشگاه خوارزمی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۶/۹

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۵

چکیده

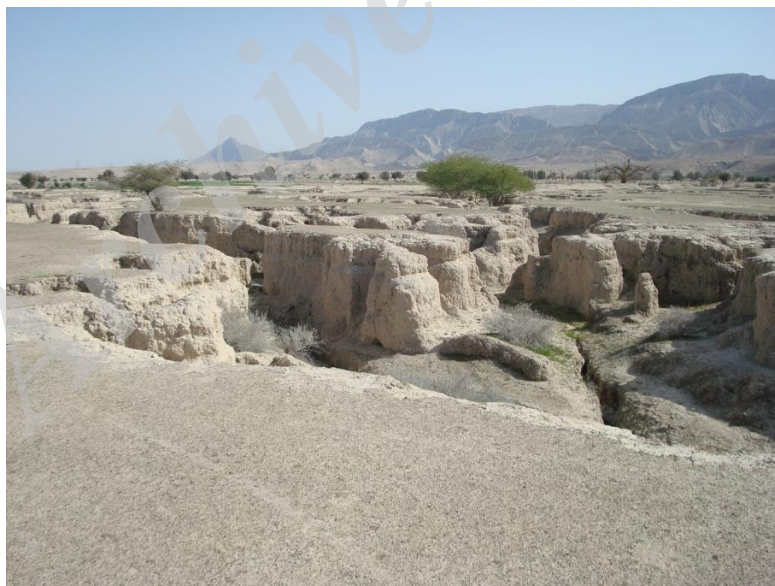
شناسایی عوامل موثر در گسترش فرسایش خندقی و پهنه‌بندی آن یکی از ابزارهای اساسی و مهم جهت مدیریت و کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین گزینه در مقابله با گسترش این پدیده می‌باشد. از این رو هدف از این پژوهش پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی با استفاده از دو روش AHP و ANP، در مقایسه نتایج دو مدل مذکور در گسترش فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور استان فارس می‌باشد. بدین منظور ابتدا تعدادی از مهم‌ترین عوامل موثر بر توسعه فرسایش خندقی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و رقومی شدند. در مرحله بعد نقشه محدوده خندق‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۷۲ تهیه گردید. سپس نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش خندقی بر مبنای مدل (AHP) و (ANP) تهیه شدند. نتایج حاصله نشان می‌دهد که از بین عوامل بررسی شده، عامل سنگ‌شناسی و عامل شیب به عنوان مهم‌ترین متغیرها از لحاظ اهمیت شناخته شده است. در هر دو روش فوق ۱۰۰ درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و اراضی بایر به وقوع پیوسته است. نتایج حاصله از پهنه‌بندی نشان می‌دهد هر دو مدل محدوده‌های با خطر (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) اختلاف ناچیزی برای پهنه‌بندی فرسایش خندقی دارد.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خندقی، مدل AHP، مدل ANP دشت کهور، لامرد.

مقدمه

در بیشتر مطالعات رایج در ارتباط با موضوع فرسایش، فرسایش آبی به ترتیب اهمیت و شکل‌گیری، در چهار دسته شامل فرسایش پاشمانی، فرسایش جویباری یا آبراهه‌ای، خندق‌های زودگذر یا شیاری^۲ و خندقی^۳ طبقه‌بندی می‌شود (گونگ و همکاران، ۲۰۱۱). بر این اساس، فرسایش خندقی، حالت تکامل یافته‌ای از فرسایش شیاری و رواناب است (علیزاده، ۱۳۶۸). به طور کلی فرسایش خندقی در صورت تشدید عوامل آنتروپوژنیک و تغییر در تعادل ژئوسیستمی خود تبدیل به عاملی مخاطره آمیز شده و فرایندی موثر در هدر رفت خاک (چنگ و همکاران، ۲۰۰۶)، تخریب اراضی، محدودیت در بهره‌برداری، گسترش بدلندها و اراضی بایر، آسیب به سازه‌های انسانی و افزایش رسوب‌گذاری در مخازن آب سدها می‌شود

(بوچانک و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین فرسایش آبی به ویژه از نوع فرسایش خندقی یکی از مسائل مهم و اصلی بازدارنده در تحقق توسعه اقتصادی و اجتماعی قلمداد می‌شود (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹). حوضه دشت کهور در جنوب استان فارس به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و لیتولوژیک در یکی از مهم‌ترین قلمروهای مستعد فرسایش خندقی در کشور قرار دارد. از خصوصیات بارز اقلیمی منطقه، بارش‌های رگباری است که با توجه به پوشش گیاهی فقیر در منطقه موجب ایجاد رواناب و از طرفی با توجه به حساسیت رسوبات باعث ایجاد و گسترش فرسایش آن هم از نوع خندقی شده است. این نوع از فرسایش به دلیل قدرت تخریب بالایی که در روند گسترش خود دارد سبب ساز خسارات زیادی به اراضی زراعی، سازه‌های انسانی، راه‌های ارتباطی و... شده است (شکل ۱).



شکل ۱: اراضی مستعد و تحت تأثیر فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور

مدل‌های کمی دارد تا صحت و دقت نتایج پهنه‌بندی را تا حد بالایی ارتقا دهد. اساساً مدل‌های

فرایند ارزیابی گسترش فرسایش خندقی علاوه بر مطالعات میدانی نیاز به تحلیل و به کارگیری

3 -Gully erosion

2 -Ephemeral gully

زیادی بین ژئومورفولوژی، ناهماری و شدت فرسایش وجود دارد و ایجاد خندق در منطقه تحت تأثیر وجود رگولیت قرار می‌گیرد. علاوه بر این فرآیند گسترش خندق در ارتباط با فرآیندهای لغزش زمین و تخریب جنگل قرار دارد. لشن و همکاران (۲۰۰۷) به منظور شناخت مناطق آسیب پذیر برای فرسایش خندقی در منطقه‌ای نیمه-خشک واقع در جنوب شرقی اسپانیا، با اعمال مدل‌سازی در این عرصه بدین نتیجه رسیدند که به دلیل کاهش ظرفیت نگهداری سطحی، بیشتر اراضی آسیب پذیر اطراف رؤس کانال‌ها قرار دارند به علاوه میزان گسترش خندق در زمین رها شده نسبت به زمین‌های تحت کشت بیشتر است. ریجسدیک و همکاران (۲۰۰۶) با مطالعه رواناب و رسوبات حاصل از خندق‌ها در دو ناحیه در جاوه شرقی اندونزی، به نقش این نوع فرسایش در اراضی آتشفشانی پرداختند. و نتایج آن‌ها نشان داد رخ دادن این فرسایش بیشتر ناشی از کاربری اراضی و شخم نادرست بوده است. اشمیت و همکاران (۲۰۰۶) به کمک مطالعات چینه‌شناسی و رادیوکربن به مطالعه مقیاس زمان در گسترش فرسایش خندقی در جنوب شرقی لهستان پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که بیشترین تأثیر بر اندازه خندق‌ها ناشی از تغییر کاربری اراضی است. دسیر و مارین (۲۰۰۶) در مطالعه‌ای برای بررسی عوامل کنترل کننده سرعت فرسایش در مناطق نیمه خشک در اسپانیا، نشان دادند که سرعت فرسایش در خندق‌ها بستگی به روش و زمان اندازه‌گیری دارد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سازندها نیز در این امر تأثیرگذار بودند. پوزن و همکاران (۲۰۰۳) یکی از دلایل مهم در رابطه با سرعت شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی را تغییر وضعیت و رفتار فرسایش خندقی در طول زمان دانسته‌اند. در ایران

متنوعی در ارتباط با پهنه‌بندی استفاده شده و می‌شود که از متداول‌ترین آنها مدل‌های تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل شبکه می‌باشد. این دو مدل برای محاسبه دقیق بین چند معیار برای گروه‌های مختلف و تعیین تصمیم در یک موضوع، به کار می‌رود. استفاده از این مدل‌ها در سال‌های اخیر در موضوعات مختلفی به کار برده شده است (خان و همکاران، ۲۰۰۷). این نوشتار می‌کوشد به کمک تجارب میدانی و کتابخانه‌ای، با انتخاب مهمترین معیارهای تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی به کمک دو روش تصمیم‌گیری AHP و ANP و مقایسه کارایی مدل‌های مذکور، روند گسترش فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور را مورد ارزیابی قرار دهد.

پیشینه تحقیق

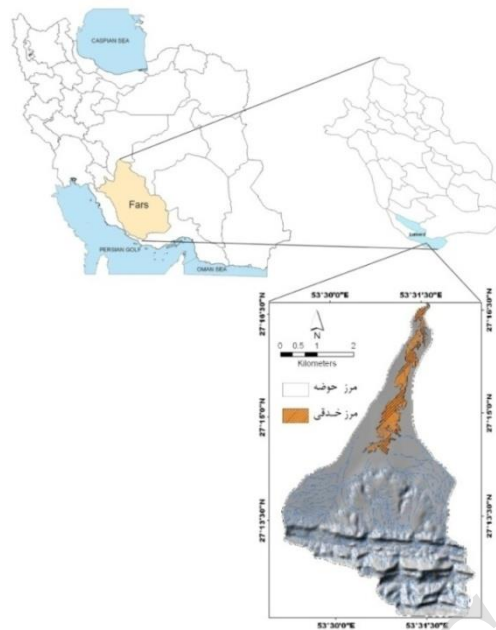
فرسایش خندقی به دلیل قدرت تخریب بالا و هدر رفت خاک و اهمیت آن در مدیریت محیط، همواره مورد توجه پژوهشگران علوم زمین در سطح جهان قرار گرفته است: روب لز (۲۰۱۰) در مورد اثرات توسعه خندق‌ها در تشدید فرسایش خاک‌های ریزدانه و به هم زدن شرایط پوشش گیاهی به وسیله انسان‌ها را کار کرده است. برای ارزیابی حجم خاک فرسایش یافته توسط خندق‌ها در هر منطقه مورفومتری و محاسبه پارامترهای عمق و عرض آنها وولکر (۲۰۱۱) روش محاسباتی عنوان نموده است. دسکروئیکس و همکاران (۲۰۰۸) با انجام مطالعات صحرائی و اندازه‌گیری رواناب‌ها و مقادیر فرسایش خاک در منطقه سیرامادر، در شمال مکزیک، به تعیین نقش فرسایش ورقه‌ای و خندقی پرداختند. در پایان مشخص شد که چرای بی‌رویه و جنگل‌تراشی نقش عمده‌ای در ایجاد فرسایش‌ها دارند. منندز و همکاران (۲۰۰۷) با مطالعه یک خندق دائمی در شیب‌های شمالی ارتفاعات ایبریا پنیسولا به این نتیجه دست یافتند که همبستگی

کدام از تحقیقات هر کدام یکی از مدل‌ها مورد استفاده قرار داده است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد مطالعه، در جنوب استان فارس، در مسیر جاده لامرد - اشکنان در ۳۰ کیلومتری شمال خط ساحلی خلیج فارس واقع شده است. دشت کهور به صورت یک دشت دامنه‌ای حاصل از رسوبات آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی است که در بین دو رشته طاق‌دیس با جهت شمال غربی - جنوب شرق واقع شده است. مساحت حوضه دشت کهور با ۱۹۷۲/۶۲ هکتار و میزان مساحت مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی در حدود ۱۱۶/۱۶ هکتار برآورد گردیده. حداقل ارتفاع در منطقه برابر ۳۸۰ متر از سطح دریا و حداکثر ارتفاع معادل ۱۰۸۰ متر از سطح دریا می‌باشد. میزان بارندگی متوسط سالانه معادل ۲۱۱/۵ میلی‌متر (اطلاعات ایستگاه باران سنجی لامرد)، حداکثر شدت بارندگی ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله در حوضه آبخیز لامرد معادل ۱۶۹/۸ میلی‌متر است. در بارندگی ۴۸ ساعته با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله، حوضه آبخیز لامرد دارای حداکثر شدت ۲۲۱/۸ میلی‌متر می‌باشد. (صوفی و همکاران، ۱۳۸۳). میزان تبخیر سالیانه بین ۲۸۶۷ تا ۳۷۰۴ میلی‌متر متغیر است و دمای متوسط سالانه برابر ۲۴/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد گردیده است (طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس، ۱۳۸۶). اقلیم این منطقه با استفاده از روش دومارتن به صورت خشک بیابانی معرفی شده است از لحاظ پوشش گیاهی، این منطقه در وضعیت ضعیفی قرار دارد. تیپ غالب پوشش منطقه کهور بومی بوده، گونه‌های همراه اغلب شامل کنار، تاغ و علف شور می‌باشد. (شکل ۲) موقعیت حوضه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

نیز تحقیقات متنوعی در رابطه با گسترش فرسایش خندقی صورت گرفته است. زمان‌زاده و احمدی (۱۳۹۲) در تحقیقی با بررسی خندق‌های دشت کهور فارس به این نتیجه رسیدند که گستره حوضه آبخیز و خصوصیات زمین‌شناسی از عوامل موثر در گسترش و ایجاد خندق‌های منطقه می‌باشند. سلیمان‌پور (۱۳۸۶) با بررسی خندق‌های استان فارس به این نتیجه دست یافت که این خندق‌ها بر روی سازندهای آبرفتی و مارنی گسترش یافته‌اند. عابدینی (۱۳۸۴) در تحقیقی در زمینه فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادی شهر به این نتیجه رسید که بیشتر خندق‌ها در سطح دشت‌ها، با شیب بسیار ملایم شکل گرفته است، به عبارتی با افزایش میزان شیب، ضخامت سازندهای سطحی سست، کاهش یافته و به دنبال آن طول و تعداد خندق‌ها افزایش یافته است. احمدی (۱۳۹۰) در بررسی خندق‌های واقع در حوضه لامرد یکی از عوامل موثر در ایجاد و گسترش خندق‌ها را وجود املاح زیاد در خاک بویژه سدیم می‌داند که علاوه بر پراکندگی خاکدانه‌ها و تشکیل سله در سطح خاک، موجب تشدید فرآیند لوله‌ای شدن و گسترش خندق‌ها می‌شود. حیدری (۱۳۸۳) در تحقیقی با عنوان بررسی مکانیزم فرسایش خندقی در استان کرمان به این نتیجه رسید که عوامل موثر در گسترش خندق‌ها در استان کرمان مساحت آبخیز و شیب بالای پیشانی خندق‌ها بوده که نشان دهنده تأثیر مهم رواناب سطحی در اثر تغییر کاربری اراضی است. در ارتباط با تحقیقات انجام شده در حوضه مطالعات محیطی از مدل‌های تصمیم‌گیری ANP و AHP تاکنون تحقیق مستقلی که برگرفته از دو مدل فوق که مورد بررسی تطبیقی قرار گرفته باشد، انجام نشده است و هر



شکل ۲: موقعیت حوضه دشت کهور در استان فارس

مواد و روش‌ها

الف) گردآوری اطلاعات

داده‌ها مبتنی بر مطالعات و بررسی‌های کتابخانه‌ای، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی و عملیات میدانی گردآوری شده است. ابزارهای اصلی پژوهش را نقشه‌های توپوگرافی، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و نقشه زمین‌شناسی شرکت ملی نفت تشکیل داده‌اند. داده‌های تفصیلی و مقیاس بزرگ از طریق کارهای میدانی تهیه شده‌اند. از جمله پیمایش محیط اراضی خندقی برای اندازه‌گیری مساحت و ثبت موقعیت آن‌ها با دستگاه GPS انجام شده است. پس از تهیه داده‌ها نقشه‌های توپوگرافی با ساختن مدل رقومی ارتفاعی به منظور تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب رقومی شده‌اند. همچنین لایه‌های سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، منابع و قابلیت اراضی و تفکیک مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی به ترتیب با استفاده از نقشه

زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و نقشه رقومی موسسه تحقیقات خاک و آب استان تهران که در سال ۱۳۷۰ و با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه گردیده، استفاده شده است.

ب: مراحل کار بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

-تلفیق متغیرهای مستقل با متغیر وابسته به منظور بدست آوردن مساحت خندقی شده در طبقات عوامل

-مقایسه زوجی عوامل موثر در رخداد فرسایش خندقی

-محاسبه ضریب وزنی عوامل با روش میانگین حسابی

-طبقه‌بندی متغیرهای مستقل

-وزن‌دهی به طبقات عوامل مختلف به صورت

نیمه‌کمی و تهیه نقشه وزنی متغیرها

-پهنه بندی فرسایش خندقی منطقه

با مقایسه زوجی عوامل، بر اساس مجموعه مشاهدات و بررسی‌ها و نهایتاً نظریه کارشناسی (جدول ۱) حاصل گردیده که به صورت زیر ارائه می‌گردد.

جدول ۱: مقایسه زوجی عوامل موثر در وقوع فرسایش خندقی

عامل موثر بر وقوع خندق	سنگ‌شناسی	کاربری اراضی	شیب	منابع اراضی	جهت شیب
سنگ‌شناسی	۱	۲	۴	۶	۷
کاربری اراضی	۱,۲	۱	۲	۳	۵
شیب	۱,۴	۱,۲	۱	۲	۴
منابع و قابلیت اراضی	۱,۶	۱,۲	۱,۲	۱	۳
جهت شیب	۱,۷	۱,۵	۱,۴	۱,۳	۱
مجموع	۲/۰۵۹۴	۴/۰۳۳۳	۷/۷۵	۱۲/۳۳۳۳	۲۰

با تقسیم هر عضو از ماتریس فوق بر مجموع ستون خودش جدول ماتریسی (۳) حاصل گردید که میانگین هر سطر از آن، ضریب وزنی آن عامل بوده و اولویت هر کدام از عوامل موثر در بروز فرسایش خندقی بر اساس متوسط وزنی در منطقه را نسبت به سایر عوامل در نظر گرفته شده، نشان می‌دهد. همان‌گونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، عامل سنگ‌شناسی با ضریب $a1 = 0/4667$ در میان پنج عامل در نظر گرفته شده، بیشترین درجه اهمیت را در ایجاد خندق‌های منطقه داشته است (جدول ۲).

جدول ۲: محاسبه ضریب وزنی عوامل به روش میانگین حسابی

عوامل موثر	سنگ شناسی	کاربری اراضی	شیب	منابع اراضی	جهت شیب	جمع	میانگین (ضریب وزنی)
سنگ‌شناسی	۰/۴۸۵۵	۰/۴۹۵۸	۰/۵۱۶۱	۰/۴۸۶۴	۰/۳۵	۲/۳۳۳۸	۰/۴۶۶۷
کاربری اراضی	۰/۲۴۲۷	۰/۲۴۷۹	۰/۲۵۸۰	۰/۲۴۳۲	۰/۲۵	۱/۲۴۱۸	۰/۲۴۸۳
شیب	۰/۱۲۱۳	۰/۱۲۳۹	۰/۱۲۹۰	۰/۱۶۲۱	۰/۲	۰/۷۳۶۳	۰/۱۴۷۲
منابع اراضی	۰/۰۸۸۱	۰/۰۸۲۶	۰/۰۶۴۵	۰/۰۸۱۰	۰/۱۵	۰/۴۶۶۲	۰/۰۹۳۲
جهت شیب	۰/۰۶۹۳	۰/۰۴۹۵	۰/۰۳۲۲	۰/۰۲۷۰	۰/۰۵	۰/۲۲۸	۰/۰۴۵۶

با در نظر گرفتن کلیه طبقات عوامل مختلف، در جدول ۳ و تخصیص امتیاز ۱۰۰ به طبقه‌ای که بیشترین درصد مساحت خندقی را به خود اختصاص داده است، و محاسبه امتیاز سایر کلاس‌های هر عامل با تناسب بین وزن حداکثر و درصد مساحت خندقی در هر کلاس عامل، این جدول تکمیل شد.

کلاس‌های هر عامل با تناسب بین وزن حداکثر و درصد مساحت خندقی در هر کلاس عامل، این جدول تکمیل شد.

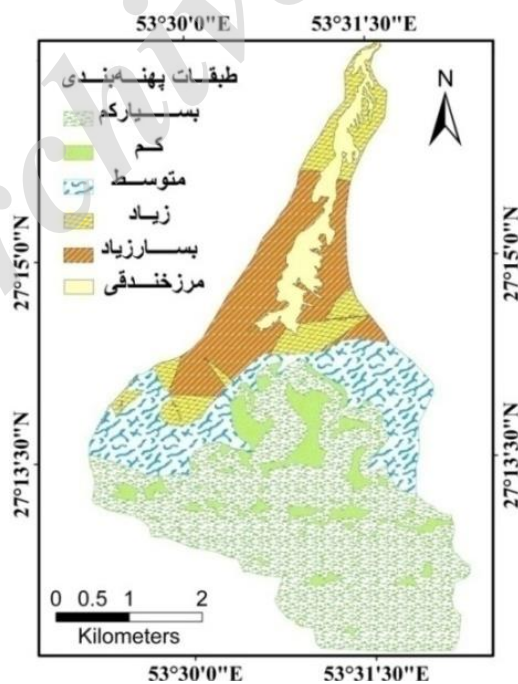
جدول ۳: وزن‌های مربوط به طبقات عوامل مختلف در روش AHP

سنگ‌شناسی		شیب		کاربری اراضی		منابع و قابلیت اراضی		جهت شیب	
وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس
۱۰۰	کواترنری	۱۰۰	۰-۳	۳۲/۰۴	زمین‌های بایر	۰	۱-۴	۳۳/۲۷	مسطح
۰	بختیاری	۱/۶۳	۳-۵	۱۰۰	کشاورزی	۱۰۰	۴-۳	۱۰۰	شمال
۰	آغاچاری	۰	۵-۱۰	۰	مرتع فقیر	۰	۸-۲	۲۰/۴۹	شرق
۰	میشان	۰	۱۰-۲۰	-	-	-	-	۰	جنوب
۰	گچساران	-	> ۲۰	-	-	-	-	۳۰/۶۷	غرب
۰	آسماری و جهرم	-	-	-	-	-	-	-	-

پهنه‌بندی به دست می‌آید. با استفاده از ضرایب وزنی هر عامل و نقشه‌های وزنی ساخته شده، و قرار دادن آن‌ها در فرمول زیر نقشه نهایی پهنه‌بندی شکل ۳ حاصل گردید. فاکتورهای M1 تا M5 به ترتیب مربوط به نقشه‌های وزنی عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، منابع و قابلیت اراضی و جهت شیب است.

پس از این‌که وزن‌دهی طبقات عوامل با امتیازات نسبی ۱ تا ۱۰۰ براساس توضیحات مدل تحلیل سلسله‌مراتبی انجام پذیرفت، با اعمال وزن هر طبقه در نقشه مربوطه در محیط نرم افزاری (Arc GIS)، نقشه وزنی هر عامل را تهیه نموده و بر اساس رابطه زیر این لایه‌های اطلاعاتی را در ضریب وزنی‌های به دست آمده (a1 تا a5) ضرب کرده و با هم جمع می‌کنیم که نهایتاً مطابق فرمول زیر، نقشه نهایی

$$\text{Zonation} = 0/4667 * (M1) + 0/2483 * (M2) + 0/1472 * (M3) + 0/0932 * (M4) + 0/0456 * (M5)$$



شکل ۳: نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور در روش AHP

مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و اراضی بایر به وقوع پیوسته است. سیدروچاک و همکاران (۲۰۰۳) در سوئیس با مطالعه خندق‌های این منطقه به این نتیجه رسیدند که مدل‌های استاتیکی قادر خواهند بود مناطق متأثر از فرسایش خندقی را شناسایی کنند.

با تلفیق نقشه پهنه‌بندی منطقه با نقشه محدوده خندقی مشاهده می‌شود که در حوضه مورد مطالعه ۷۴/۶۹ درصد از خندق‌ها با مساحت ۸۶/۷۶ هکتار در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و ۲۵/۳۱ درصد با مساحت ۲۹/۴۰ هکتار با حساسیت زیاد رخ داده است (جدول ۴). بررسی موارد بالا بیانگر این است که ۱۰۰ درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه در

جدول ۴: توزیع طبقات پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی و میزان مساحت خندقی شده در روش AHP

طبقات پهنه بندی	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقات	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
بسیار کم	۸۸۲/۲۴	۴۴/۷۵	-	-
کم	۲۰۱/۹۴	۱۰/۲۳	-	-
متوسط	۴۲۷/۴۴	۲۱/۶۶	-	-
زیاد	۸۳/۳۴	۴/۲۲	۲۹/۴۰	۲۵/۳۱
بسیار زیاد	۳۷۷/۶۶	۱۹/۱۴	۸۶/۷۶	۷۴/۶۹
جمع	۱۹۷۲/۶۲	۱۰۰	۱۱۶/۱۶	۱۰۰

ضریب و وزن نهایی پژوهش از طریق فرایند ابرماتریس و نرمال سازی آن توسط وزن خوشه‌ها تعیین معیارها و شاخص‌ها در مشخص کردن خوشه‌ها و عناصر: ابتدا مهمترین عناصر مرتبط با موضوع فرسایش خندقی از راه مطالعات میدانی، پرس‌وجو از دست‌اندرکاران امر و استفاده از مطالعات پیشین، تعیین شدند. پنج عنصر اصلی درگیر در موضوع براساس مشابهت‌های موضوعی در یک خوشه معیارهای تاثیرگذار جای گرفتند (جدول ۵).

ج: مراحل کار بر مبنای فرایند تحلیل شبکه (ANP)

-تعیین معیارها و شاخص‌ها، مشخص کردن خوشه‌ها و عناصر
 -تعیین روابط و وابستگی‌های بین عناصر
 -اعمال ارتباطات فوق در خوشه‌ها و عناصر در نرم افزار Super Decisions
 -وزن‌دهی و مقایسات زوجی عناصر با استفاده از پرسشنامه دلفی

جدول ۵: معیارهای مؤثر در وقوع خطر فرسایش خندقی

معیارهای تاثیرگذار
میزان شیب
جهت شیب
سنگ شناسی
کاربری اراضی
قابلیت اراضی

روند ارزش‌گذاری به‌ترتیب اهمیت از ۱ تا ۹ تعیین شد. نتایج پرسش‌نامه از طریق روش کپلند و از طریق برنامه کپلند محاسبه شد. پس از تعیین ارزش نهایی هر مقایسه، این ارزش‌ها و وزن‌های به‌دست‌آمده از پرسش‌نامه‌ها، به نرم‌افزار super decisions انتقال یافته و در نهایت نرم‌افزار با استفاده از این وزن‌ها، ضریب و وزن نهایی پژوهش را از طریق فرآیند ابرماتریس و نرمال‌سازی آن توسط وزن خوشه، محاسبه می‌کند.

طبقه‌بندی و امتیازدهی لایه‌های اطلاعاتی: آخرین مرحله کار به نرم‌افزار ARC GIS مربوط می‌شود. در این مرحله، لایه‌های اطلاعاتی هر عنصر با توجه به اهمیتی که برای پهنه‌بندی خطرات فرسایش خندقی دارد، طبقه‌بندی و امتیازدهی می‌شوند و در نهایت برای تهیه نقشه نهایی، این لایه‌ها توسط ابزار Raster calculator تلفیق شده و وزن‌های نهایی که در مدل ANP برای هر عنصر به‌دست آمده بود را وارد لایه‌های مربوطه کرده و در نهایت، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع فرسایش خندقی در دشت کهور به‌دست آمد. پس از تعیین روابط بین معیارهای مؤثر در خطر فرسایش خندقی با استفاده از پرسش‌نامه و تعیین ضرایب اولیه هر عنصر از طریق مقایسه‌های زوجی که بر پایه پرسش‌نامه انجام شد، ضرایب به‌دست آمده از مجموعه عناصر در یک ابرماتریس گردآوری شده و در نهایت با استفاده از عملیات ریاضی در نرم‌افزار مربوطه، ابتدا ابرماتریس غیر وزنی و سپس ابرماتریس وزنی تشکیل شد. در نهایت با استفاده از این دو ابرماتریس، پس از نرمال‌سازی داده‌ها، ابرماتریس حدی تشکیل شد. این ابرماتریس، یک ضریب یکسان را برای همه عناصر مورد مطالعه نشان می‌دهد (جداول ۶ تا ۸).

تعیین روابط و وابستگی‌های بین عناصر: در این مرحله مشخص شد که کدامیک از عناصر با عناصر دیگر در ارتباط بوده، بر آنها اثر می‌گذارد و از آنها اثر می‌پذیرد. از پرسش‌نامه و فرآیند دیماتل به منظور تعیین روابط بین عناصر برای مستند کردن و افزایش اعتبار و صحت پژوهش استفاده شد. تعداد ده پرسش‌نامه توسط کارشناسان ارائه شد و عناصر به صورت زوجی در یک ماتریس مقایسه و برحسب میزان اثرگذاری‌شان به همدیگر از ۰ تا ۵ ارزش‌گذاری شدند. نتایج پرسش‌نامه پس از نرمال‌سازی در برنامه اکسل در نرم‌افزار متلب پردازش شده و در نهایت بار دیگر در برنامه اکسل نتایج نهایی به‌دست آمد.

اعمال ارتباطات فوق در عناصر: از این مرحله به بعد، مراحل مدل در نرم‌افزار ویژه این فرآیند انجام شد. نتایج ارتباطات به‌دست آمده، بر این عناصر اعمال و برای وزن‌دهی اولیه آماده شدند. مرحله اصلی فرآیند تحلیل شبکه، وزن‌دهی و ارزش‌گذاری و در واقع مقایسه‌های زوجی بین عناصر است. همان‌طور که گفته شد، مقایسه‌های زوجی در تحلیل شبکه‌ای، بر اساس معیار کنترلی انجام می‌شود. تنها زمانی یک عنصر یا خوشه می‌تواند معیار کنترلی در نظر گرفته شود که اثرگذاری آن در فرآیند دیماتل تأیید شده باشد. البته در این پژوهش با توجه به ارتباطات و اثرگذاری‌هایی که عناصر داخل یک خوشه بر همدیگر داشتند، ارتباطات همه عناصر داخل خوشه دو طرفه در نظر گرفته شدند و از دیماتل برای تعیین ارتباط بیرونی عناصر استفاده شد.

وزن‌دهی و مقایسه‌های زوجی عناصر: برای این امر، از فرآیند پرسش‌نامه استفاده شد و تعداد ۲۰ پرسش‌نامه بین کارشناسان پخش شد تا در هر بخش با توجه به معیار کنترلی، عناصر را بر حسب میزان اهمیت و برتری نسبت به هم مقایسه کنند.

جدول ۶: ابرماتریس غیروزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

	جهت شیب	سنگ‌شناسی	شیب	قابلیت اراضی	کاربری اراضی
جهت شیب	۰	۰/۰۹۸	۰/۱۵۹	۰	۰/۰۴۸
سنگ‌شناسی	۰	۰	۰	۰	۰/۱۱۰
شیب	۰	۰/۵۲۱	۰	۰	۰/۶۲۷
قابلیت اراضی	۰	۰/۰۶۶	۰/۲۶۳	۰	۰/۲۱۶
کاربری اراضی	۰	۰/۳۱۶	۰/۵۷۸	۰	۰

جدول ۷: ابرماتریس وزنی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

	جهت شیب	سنگ‌شناسی	شیب	قابلیت اراضی	کاربری اراضی
جهت شیب	۰	۰/۰۹۷	۰/۱۵۹	۰	۰/۰۴۷
سنگ‌شناسی	۰	۰	۰	۰	۰/۱۰۹
شیب	۰	۰/۵۲۱	۰	۰	۰/۶۲۶
قابلیت اراضی	۰	۰/۰۶۵	۰/۲۶۲	۰	۰/۲۱۶
کاربری اراضی	۰	۰/۳۱۵	۰/۵۷۸	۰	۰

جدول ۸: ابرماتریس حدی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

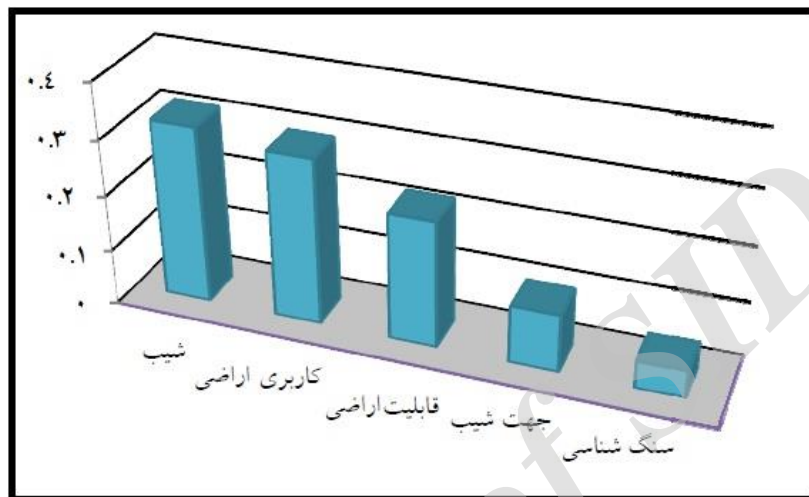
	جهت شیب	سنگ‌شناسی	شیب	قابلیت اراضی	کاربری اراضی
جهت شیب	۰	۰/۱۰۴	۰/۱۰۴	۰	۰/۱۰۴
سنگ‌شناسی	۰	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹	۰	۰/۰۴۹
شیب	۰	۰/۳۱۹	۰/۳۱۹	۰	۰/۳۱۹
قابلیت اراضی	۰	۰/۲۲۷	۰/۲۲۷	۰	۰/۲۲۷
کاربری اراضی	۰	۰/۲۹۹	۰/۲۹۹	۰	۰/۲۹۹

جدول ۹: ضریب نهایی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

ردیف	عنصر	ضریب نهایی
۱	شیب	۰/۳۱۹
۲	کاربری اراضی	۰/۲۹۹
۳	قابلیت اراضی	۰/۲۲۷
۴	جهت شیب	۰/۱۰۴
۵	سنگ‌شناسی	۰/۰۴۹

آن چنان که این عناصر نشان می‌دهد، در میان عناصر مخاطره‌زا، میزان شیب و کاربری اراضی بیشترین نقش را در عملکرد وقوع خطر فرسایش خندقی منطقه برعهده داشته‌اند (شکل ۴).

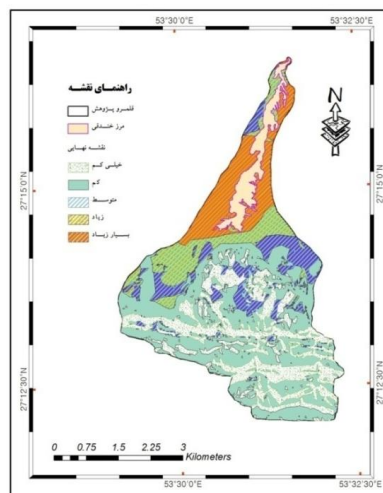
در نهایت برای به‌دست آوردن ضریب نهایی هر عنصر، باید ضرایب به‌دست آمده از جدول ابرماتریس حدی را بر ضریب خوشه‌ها ضرب کرد تا ضریب نهایی هر عنصر به‌دست آورده شود. ضریب نهایی عناصر در جدول ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۴: ضریب نهایی عناصر مورد مطالعه در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

پهنه‌بندی به دست آمد (شکل ۵). در واقع این نقشه بر مبنای ترکیبی از معیارهای فوق ترسیم شده است. به بیان دیگر طبقه‌بندی میزان شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و قابلیت اراضی در برابر وقوع فرسایش خندقی دشت کهور اعمال شده است.

پس از به‌دست آوردن ضرایب نهایی حاصل شده هر عنصر، این ضرایب می‌بایست بر لایه اطلاعاتی هر عنصر اعمال شده و نقشه نهایی آن در نرم‌افزار ARC GIS حاصل شود. در این پژوهش با ترکیب همه لایه‌ها و اعمال همه ضرایب به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه یا ANP، در بخش Raster Calculator در نرم‌افزار ARC GIS، نقشه نهایی



شکل ۵: نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش خندقی در حوضه دشت کهور در روش ANP

موارد بالا بیانگر این است که صد درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه با روش ANP در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و بایر به وقوع پیوسته است.

با تلفیق نقشه پهنه‌بندی منطقه با نقشه محدوده خندقی در روش ANP مشاهده می‌شود که در حوضه مورد مطالعه ۸۵/۲۵ درصد از خندق‌ها با مساحت ۹۵/۶۴ هکتار در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و ۱۴/۷۵ درصد با مساحت ۲۰/۵۲ هکتار با حساسیت زیاد رخ داده است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰: توزیع طبقات پهنه بندی خطر فرسایش خندقی و میزان مساحت خندقی شده در روش ANP

طبقات پهنه بندی	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
بسیار کم	-	-
کم	-	-
متوسط	-	-
زیاد	۲۰/۵۲	۱۴/۷۵
بسیار زیاد	۹۵/۶۴	۸۵/۲۵
جمع	۱۱۶/۱۶	۱۰۰

نتایج

میزان شیب: یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در فرسایش عامل شیب می‌باشد. با تلفیق لایه شیب با لایه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی مشاهده گردیده که ۹۸/۳۹ درصد خندق‌ها در شیب ۰ تا ۳ درصد و ۱/۶۱ درصد خندق‌ها در شیب ۳ تا ۵ درصد رخ داده است، اساساً منطقه خندقی، دارای شیب کمتر از ۳ درصد می‌باشد. نتایج با یافته‌های سایر محققین نیز توافق دارد (راهی، ۱۳۷۷؛ احمدی، ۱۳۷۸؛ عابدینی، ۱۳۸۴) به عبارتی با افزایش شیب ضخامت سازندهای سطحی سست کاهش یافته و به دنبال آن طول و تعداد خندق‌ها کاهش می‌یابد که نتایج مذکور با نتایج پژوهش مطابقت دارد. (جدول ۱۱) توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه را نشان می‌دهد.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها پس از ایجاد بانک اطلاعاتی مربوط به مشخصات و ویژگی‌های خندق-های منطقه از نرم‌افزارهای رایانه‌ای استفاده شده و داده‌ها پردازش شده‌اند. سرانجام پس از تجزیه و تحلیل نقشه‌های تهیه شده و بین عوامل زمین-محیطی با عوامل شکل‌دهنده در فرسایش خندقی طی مراحل زیر ارتباط داده شده است.

متغیرهای تأثیر گذار

پس از تهیه لایه‌های تاثیرگذار در فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه، متغیرهای مستقل با متغیر وابسته به منظور بدست آوردن مساحت خندقی شده در طبقات عوامل با هم تلفیق شدند. شکل ۶ نقشه لایه‌های اطلاعاتی موثر در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور را نشان می‌دهد.

جدول ۱۱: توزیع طبقات شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه

طبقات شیب (درصد)	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
۰ - ۳	۸۶۲/۲۳	۴۳/۷۳	۱۱۴/۳۰	۹۸/۳۹
۳ - ۵	۱۷۴/۸۴	۸/۸۶	۱/۸۶	۱/۶۱
۵ - ۱۰	۱۳۱/۳۳	۶/۶۵	-	-
۱۰ - ۲۰	۱۳۳/۸۷	۶/۷۸	-	-
< ۲۰	۶۷۰/۳۵	۳۳/۹۸		

متفاوت یک منطقه معمولاً به طور یکسان با خطر فرسایش روبرو نیستند. اثر عمده جهت شیب در میزان آبدوی و فرسایش به سبب اختلاف ریز اقلیم موجود در شیب‌های مختلف است (قهرودی، ۱۳۸۲). جدول ۱۲ توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه را نشان می‌دهد.

جهت شیب: مقایسه لایه جهت شیب با لایه محدوده خندقی، مشخص می‌کند که ۵۴/۲۲ درصد از منطقه خندقی در طبقه شمال قرار گرفت است. در طبقه مسطح ۱۸/۰۴، طبقه غرب ۱۶/۶۳، طبقه شرقی ۱۱/۱۱ و در طبقه شیب جنوبی اساساً خندقی ایجاد نشده. جهت شیب در فرسایش اثر غیرمستقیم دارد. شیب‌های هم درجه ولی با جهات

جدول ۱۲: توزیع طبقات جهت شیب و میزان مساحت خندقی شده در منطقه

جهت شیب	مساحت طبقه (هکتار)	درصد طبقه	مساحت خندقی (هکتار)	درصد خندقی
مسطح	۳۱۴/۴۵	۱۵/۹۴	۲۰/۹۶	۱۸/۰۴
شمال	۱۰۰۵/۱۳	۵۰/۹۷	۶۲/۹۶	۵۴/۲۲
شرق	۲۱۱/۷۴	۱۰/۷۳	۱۲/۹۱	۱۱/۱۱
جنوب	۱۲۹/۶۸	۶/۵۷	-	-
غرب	۳۱۱/۶۰	۱۵/۷۹	۱۹/۳۲	۱۶/۶۳

داد که با وجود اینکه کل منطقه شامل ۶ نوع واحد سنگ‌شناسی است، اما کلیه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی تنها در ۱ واحد سنگ‌شناسی قرار دارد که شامل رسوبات کواترنری می‌باشد. رسوبات کواترنری دربرگیرنده آبرفت‌های تشکیل شده از سازندهای گروه فارس (آجاجاری، میشان، گچساران) با نسبت املاح بالا می‌باشد (به خصوص

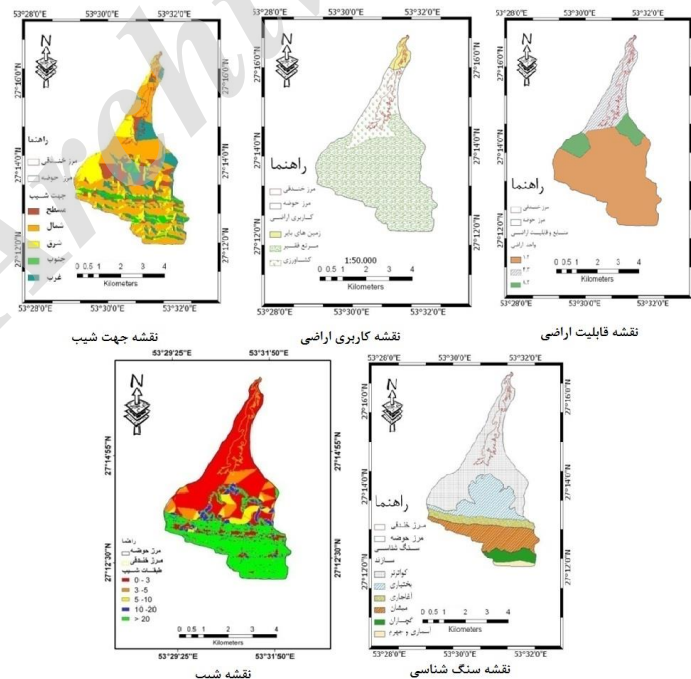
سنگ شناسی: رخنمون سازندهای حوضه از تشکیلات آسماری و جهرم و در کوهپایه‌ها از سازندهای آجاجاری، میشان و گچساران و در دامنه‌ها و دهانه خروجی حوضه آبخیز از سنگ‌های رسوبی کنگلومرای بختیاری است. منطقه فرو افتاده حوضه را رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهند. مطالعه ارتباط بین متغیر سنگ‌شناسی با خندق‌ها نشان

می‌باشد و علت آن نیز تأثیر تغییرات کاربری اراضی و اقدامات ناموفق مدیریت اراضی در مقیاس زمانی متوسط است. عیسانی و صوفی (۱۳۸۴)، کاربری نامناسب را نیز از علل اصلی ایجاد خندق‌ها در استان گلستان می‌دانند.

قابلیت اراضی: تیپ اراضی مانند کوهستان، تپه ماهور، فلات‌ها، دشت‌های دامنه‌ای و... به دلیل داشتن خصوصیات و ویژگی‌های مختلف از یکدیگر، اثرات متفاوت در بروز فرسایش خندقی از خود نشان می‌دهند. بررسی ارتباط منابع و قابلیت اراضی با مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی نشان می‌دهد که کلیه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی تنها در واحد اراضی ۳-۴ قرار می‌گیرد که شامل دشت-های دامنه‌ای نسبتاً مسطح با شیب ملایم و شوری متوسط تا زیاد، شیب ۱ تا ۲ درصد می‌باشد. شیب زیاد و محدودیت عمق خاک می‌تواند عامل بازدارنده در رابطه با ایجاد و گسترش فرسایش خندقی در واحدهای ۴-۱ و ۲-۸ باشد.

میشان و گچساران) که می‌تواند یکی از عوامل مهم در تشکیل و گسترش خندق‌ها در منطقه مورد مطالعه باشد.

کاربری اراضی: کاربری اراضی نیز به عنوان متغیر تأثیرگذار عمده مورد بررسی قرار گرفته و با این هدف، زمین‌های بایر، کشاورزی و مرتع فقیر در کل حوضه تفکیک شد. با ترکیب نقشه کاربری اراضی منطقه دشت کهور، با نقشه مناطق تحت تأثیر فرسایش خندقی مشخص گردید که بیشترین میزان خندق‌ها معادل ۷۵/۷۳ درصد در کاربری زمین‌های کشاورزی قرار گرفته است. همچنین معادل ۲۴/۲۷ درصد محدوده خندقی نیز در زمین‌های بایر واقع شده‌اند و در کاربری مرتعی فقیر هیچ‌گونه خندقی مشاهده نشده است و ندرک‌چف و همکاران (۲۰۰۳) در نتایج مطالعات خود بر روی خندق‌های منطقه‌ای در جنوب شرق اسپانیا بیان داشتند که حجم فرسایش خندقی در مقیاس‌های زمانی متوسط (۱۰-۳۰ سال)، بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده در زمان‌های کوتاه (۵-۱۰ سال)،



شکل ۶: نقشه لایه‌های اطلاعاتی موثر در وقوع خطر فرسایش خندقی دشت کهور

نتیجه گیری

حساسیت بسیار زیاد و ۱۴/۷۵ درصد با مساحت ۲۰/۵۲ هکتار با حساسیت زیاد رخ داده است. بررسی موارد بالا بیانگر این است که در هر دو روش AHP و ANP ۱۰۰ درصد خندق‌های حوضه مورد مطالعه در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و زیاد رخ داده است. به خصوص بر روی اراضی کشاورزی و اراضی بایر به وقوع پیوسته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در هر دو مدل محدوده‌های خطر (بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم) اختلاف ناچیزی برای پهنه بندی فرسایش خندقی دارد و خروجی منطقی با توجه به مشاهدات میدانی به پژوهشگران عرضه داشته است. در واقع می‌توان بیان کرد که در محدوده‌هایی که بر روی زمین انتظار فرسایش بیشتری می‌رود، خروجی نقشه‌ها نیز همین را نشان می‌دهند و نتایج نقشه‌های پهنه‌بندی در هر دو مدل بسیار به هم نزدیک می‌باشند. بررسی و مقایسه نقشه‌های نهایی در هر دو مدل گویای این است که محدوده‌های با خطر بسیار زیاد و زیاد، کاملاً منطبق با متغیرهای تاثیرگذار در فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. در این پژوهش اعتبار سنجی صورت نگرفته تا مشخص شود مدل بهتر کدام است.

پس از طی مراحل کار در روش‌های AHP و ANP، بررسی ضرایب وزنی، جمع‌بندی عوامل موثر نشان داد که در روش AHP عوامل سنگ‌شناسی با ضریب وزنی ۰/۴۶۶۷ درصد، کاربری اراضی با ضریب وزنی ۰/۲۴۸۳ درصد و در روش ANP به ترتیب عوامل شیب با ضریب وزنی ۰/۳۱۹ درصد، کاربری اراضی با ضریب وزنی ۰/۲۹۹ بیشترین تأثیر را در ایجاد خندق در محدوده مورد مطالعه از میان عوامل در نظر گرفته، را کسب نموده‌اند. بنابراین در تعیین اولویت بین عوامل مذکور که در ایجاد خندق‌ها جزء مهم‌ترین عوامل محسوب شده‌اند، عامل سنگ‌شناسی و شیب به عنوان مهم‌ترین، و کاربری اراضی از لحاظ اهمیت در رتبه بعدی قرار دارند. ۹۸/۳۹ درصد خندق‌های منطقه در شیب کمتر از ۳ درصد ایجاد گردیده‌اند. نتایج حاصله از پهنه‌بندی به روش AHP نشان می‌دهد که در حوضه مورد مطالعه ۷۴/۶۹ درصد از خندق‌ها با مساحت ۸۶/۷۶ هکتار در مناطق با حساسیت بسیار زیاد و ۲۵/۳۱ درصد با مساحت ۲۹/۴۰ هکتار با حساسیت زیاد رخ داده است. با تلفیق نقشه پهنه‌بندی منطقه با نقشه محدوده خندقی در روش ANP مشاهده می‌شود که در حوضه مورد مطالعه ۸۵/۲۵ درصد از خندق‌ها با مساحت ۹۵/۶۴ هکتار در مناطق با

منابع

-حسین‌زاده، م. م.، اسماعیلی، ر.، جوری، ح. و پورکلهر، س.، ۱۳۸۹. طبقه‌بندی گالی‌ها بر مبنای ویژگی‌های مورفومتریک با استفاده از تکنیک آماری چندمتغیره (مطالعه موردی: فیروزکلا- نوشهر)، پژوهش‌های دانش‌زمین، سال اول، شماره ۳، پائیز ۱۳۸۹، ص ۲۹-۴۰.

-حیدری، ف.، ۱۳۸۳. بررسی مکانیزم توسعه فرسایش آبکندی (استان کرمان) گزارش نهایی طرح تحقیقاتی وزارت جهاد کشاورزی، سازمان

-احمدی، ح.، ۱۳۷۸. ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۶۸۸ ص.

-احمدی، مهدی.، ۱۳۹۰. تحلیل عوامل موثر بر شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی حوضه دشت کهور لامرد، استان فارس) پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ۱۱ ص.

- عابدینی، م.، ۱۳۸۴. پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غربی دشت هادی شهر (شمال غربی آذربایجان شرقی) از طریق روش‌ها و تکنیک‌های جدید، جغرافیا و توسعه، شماره ۳، پیاپی ۶، ص ۱۱۳-۱۳۴.
- علیزاده ا.، ۱۳۶۸. اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ دوازدهم، ۶۳۴ ص.
- قدوسی، ج.، ۱۳۸۲. مدل‌سازی مورفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی امکان وقوع آن (مطالعه موردی در آبخیز زنگان‌رود). رساله دکتری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۳۶۸ ص.
- قهرودی، م.، ۱۳۸۲. مدل پهنه‌بندی خطر ناشی از گسترش فرسایش آبکندی در حوضه آبکند کلوجه بیجار با استفاده از RS و GIS. طرح تحقیقات وزارت نیرو، ۹۵ ص.
- مورگان، آر. پی. سی.، ۱۳۶۸. فرسایش و حفاظت خاک، ترجمه امین علیزاده، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۵۸ ص.
- نجفی، الف.، ۱۳۸۹. به کارگیری فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در تحلیل چالش‌های ساختاری و محیط اجرایی سازمان در مدیریت پروژه‌ها، مهندسی صنایع و مدیریت تولید، شماره ۱، جلد ۲۱.
- تحقیقات و آموزش کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۰۵ ص.
- راهی، غ.، ۱۳۷۷. بررسی مکانیسم و علل فرسایش خندقی در بندرگناوه. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. ۱۰۶ ص.
- زمان‌زاده، س. م. و احمدی، م.، ۱۳۹۲. تاثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در شکل‌گیری و گسترش فرسایش خندقی (مطالعه موردی: استان فارس، حوضه دشت کهور) پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۲، ص ۱۵۴.
- سلیمان‌پور، س. م.، ۱۳۸۶. مقایسه رسوب‌زایی خندق‌ها و رابطه آن با ویژگی‌های حوضه آبخیز و سازند زمین‌شناسی در اقلیم‌های مختلف استان فارس، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ۱۷۰ ص.
- صمدنژاد، ع.، ۱۳۸۱. بررسی علل اصلی ایجاد انواع فرسایش خندق (مطالعه موردی استان فارس)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده منابع طبیعی علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، ۶۹ ص.
- صوفی، م.، ۱۳۸۳. فرایند ایجاد خندق و نرخ رشد آن در لامرد و علامرودشت، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ۱۳۸۳.
- وزارت مسکن و شهرسازی.، ۱۳۸۶. طرح توسعه و عمران ناحیه جنوب فارس، ۹۸ ص.

-Bouchnak, H., Felfoul, M. S., Rached Boussema, M. and Habib Snane, M., 2009. Slope and Rainfall Effects on The Volume of Sediment Yield by Gully Erosion in The Souar Lithologic Formation (Tunisia), Catena, v. 78 , p. 170-177.

-Cheng, H., Wu, Y., Zou, X., Si, H., Zhao, Y., Liu, D. and Yue, X., 2006. Study of Ephemeral Gully Erosion in a

Small Upland Catchment on The Inner-Mongolian Plateau, Soil & Tillage Research, v. 90. p. 184-193.

-Descroix, L., 2008. Gully and Sheet Erosion on Subtropical Mountain Slopes: Their Respective Roles and the Scale Effect, Catena, v. 72(3), p. 325-339.

-Desir, G. and marin, C., 2006. Factors controlling the erosion rates in a semi-

- arid zone, (bardenas reales, ne spain), earth science department, Faculty of science, University of Zaragoza, c/ pedro cerbuna 12. 50009, Zaragoza, Spain, catena, v. 71, p. 31-40.
- Dewitte, O., daoudi, M. and ozer, A., 2008. Mapping Gully Erosion Susceptibility at the Regional Scale Using a likelihood-Ratio-Based Approach: the Isser River Area, Geophysical Research Abstracts, v. 10.
- Gong, J.G., Jia, Y.W., Zhou, Z. H., Wang, Y., Wang, W. L. and Peng, H., 2011. an Experimental Study on Dynamic Processes of Ephemeral Gully Erosion in Loess Landscapes, Geomorphology, v. 125, p. 203 -213.
- Hudson, N. W., 1985. Soil Conservation, 152 p.
- Imeson, A. C. and Kwaad, F. J. P. M., 1980. Gully Types and Gully Prediction, KNAG, XIV5, p. 430-441.
- Ireland, H. A., sharpe, C. F. S. and eargle, D. H., 1939. Principles of Gully Erosion in the Piedment of South Carolina, USDA Technological Bulletin 633, 142 p.
- Lesschen, J. P., kok, K., Verburg, P. H. and Cammreaa, L. H., 2007. Identification of vulnerable areas for Gully erosion Under Different Scenarios of land Abandonment in Southeast Spain, Catena, v. 71, p.110-121.
- Menendez-durate, R., Marquinez, j. and Fernandez-menendez, S., 2007. Incised channels and Gully Erosion in Northern Iberian Peninsula, Controls and geomorphic Setting, catena, v. 71, p. 267-278.
- Morgan, R. P. C. and Mngomezulu, D., 2003. Threshold Condition of Vally - side Gullies in the Middle Veld of Swaliand, Catena, v. 50. p. 401-414.
- Poesen, J. and Nachtergaele, J. G. V., 2003. Gully Erosion and Environmental Change: Importance and Research Needs, Catena, v. 50, p. 91-133.
- Rijsdijk, A., Bruijnzeel, L. A. S. and prins, T. M., 2006. Sediment Yield from Gullies, Riparian Mass Wasting and Bank Erosion in the Upper Konto Catchment, East Java, Indonesia, Geomorphology, v. 87, p. 38-52.
- Roblesa, C. M., 2010. Factors Related to Gully Erosion in Woody Encroachment in South-Eastern Australia, Catena, v. 83, p. 339-349.
- Schmitt, A., 2006. Time and Scale of Gully Erosion in the Gully System, South-East Poland, Geomorphology, v. 101, p. 192-208.
- Sheeba, Kh. and Mohd, N. F., 2007. an Analytic Network Process, Model For Municipal Solid Waste Disposal Options, Waste Management, v. 28 , p.1500-1508.
- Sidorchuk, A., 2005. Stochastic Components in the Gully Erosion Modeling, Catena, v. 63, p. 299-317.
- Smolska, e., 2007. Development of Gullies and Sediment Fans in last-Glacial Areas on the Example of the Suwalki Lakeland (Poland), Catena, v. 71, p.129-131.
- Vandekrckrckove, L. J. and Poesen, G., 2003. Medium Term Gully Head Cut Rates in Southeast Spain Determined From Aerial Photographs and Groud Measurements, Catena, v. 50, p. 329-357.
- Volker, P., 2011. Soil Erosion in the Swiss Midlands: Results of a 10year Field Survey, Geomorphology.
- Wolf slehner, B., Harald, V. and Manfred, J. L., 2005, Application of the Analytic Network Process in Multi-criteria Analysis of Sustainable Forest Management, Forest Ecology and Management, v. 207(1/2), p. 157-170.