

پنهانه بندی حساسیت اراضی حوضه مراجعه به فرسایش خندقی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی

سهاملا روشن ضمیر* - عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۹ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۶/۱۷

چکیده

حوضه مراجعه یکی از زیر حوضه‌های رودخانه مزلقان می‌باشد که بخش‌هایی از آن به شدت تحت تاثیر فرسایش خندقی قرار دارد. این پژوهش با هدف پنهانه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه مراجعه با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی انجام شده است. در این تحقیق با استفاده از عکس‌های هوایی دارای مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ و عملیات میدانی، مناطق تحت تاثیر فرسایش خندقی شناسایی و با استفاده از عوامل سنگ‌شناسی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، خاک، بارش و قابلیت اراضی اقدام به پنهانه‌بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی حوضه مراجعه گردید. به این منظور عوامل موثر در نرم افزارهای ILWIS و ArcGIS رقومی و برای تحلیل‌های مبتنی بر تئوری مجموعه‌های فازی مورد استفاده قرار گرفتند. تحلیل‌های فازی با استفاده از نرم افزار Matlab7.1 در دو مرحله شامل تعیین توابع عضویت پیوسته فازی برای هر یک از طبقات عوامل موثر و همچنین عوامل موثر در وقوع فرسایش خندقی انجام شدند. نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که حدود ۸۷ درصد از خندق‌های گروه ارزیابی در طبقات با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند و رسوبات آبرفتی Qt1، اجزاء واحد اراضی ۱۴، ۳، ۱ شامل فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، خاک‌های T.H.X و کاربری مراتع ضعیف به عنوان عوامل اصلی و سپس به ترتیب طبقه شیب -۳۰٪، ۱۵٪، حداکثر بارش روزانه ۲۶/۷-۲۳/۷ میلیمتر با دوره بازگشت دو سال، فاصله ۲۰۰ متر از آبراهه و جهت‌های غرب و جنوب بیشترین تاثیر را در ایجاد فرسایش خندقی حوضه مراجعه داشته‌اند.

واژگان کلیدی: فرسایش خندقی، روش فازی، توابع عضویت فازی، حوضه مراجعه.

مقدمه

فرسایش خندقی به عنوان فرایند فرسایشی مشخص می‌شود که از طریق آن آب جاری در دوره‌های کوتاه در کانال‌های باریک جمع می‌شود و خاک را از این ناحیه باریک به اعماق قابل ملاحظه انتقال می‌دهد (پازن و همکاران^۱، ۲۰۰۳: ۹۲). حوضه مragه یکی از زیر حوضه‌های رودخانه مزلقان در استان مرکزی می‌باشد که به علت وجود رسوبات آبرفتی سیست، پوشش گیاهی ضعیف و شرایط توپوگرافی بشدت تحت تاثیر فرسایش خندقی قرار دارد. این پدیده نه تنها موجب از بین رفن خاک و تخریب اراضی کشاورزی و مرتعی شده بلکه با انتقال رواناب و رسوب از ارتفاعات به کف دره‌ها و آبراهه‌های دائمی اثرات فرسایش جانبی آب یعنی سیلاب و آلودگی را نیز در حوضه مragه تشدید می‌کند و از آنجا که فرسایش خندقی مهمترین عامل افزایش رسوب منطقه مورد مطالعه می‌باشد تهدیدی برای کاهش ظرفیت مخزن سد پایین دست خود (سد الغدیر) نیز محسوب می‌شود (شکل ۱).

فرسایش خندقی با برگزاری شش کنفرانس بین المللی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا سال‌های ۲۰۱۳، توجه زیادی را در سالهای اخیر به خود جلب کرده است. محققین عوامل متعددی را در رابطه با فرسایش خندقی مورد بررسی قرار دادند. گابریس و همکاران^۲ (۲۰۰۳) با مقایسه نقشه‌های خندق و کاربری سالهای ۱۷۸۴، ۱۸۶۰، ۱۸۲۰ و ۱۹۹۴ و ارتباطات بین تشکیل و رشد خندق را با تغییر کاربری و شبیب دامنه در مجارستان مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیقات نشان دادند تا سال ۱۸۶۰ که بیش از ۵۰٪ از مساحت حوضه را جنگل فرا گرفته بود نرخ متوسط رشد خندق ۵ متر در سال در کیلومتر مربع بود و در سال ۱۹۹۴ که پوشش جنگلی به حدود ۲۵٪ کاهش یافت و کشاورزی به شبیب‌های بیشتر از ۲۵٪ گسترش پیدا کرد، نرخ متوسط رشد خندق به ۱۰ متر در سال در کیلومتر مربع رسید. پازن و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعاتی نشان دادند که آستانه بارندگی برای رشد خندق در نواحی دارای پوشش جنگلی به طور قابل توجهی از آستانه بارندگی برای رشد خندق‌های موقتی در نواحی مزروعی بالاتر است و سطوح دارای پوشش طبیعی در محیط مرتبط در مقابل فرسایش جریان‌های سطحی متوجه بسیار مقاوم هستند و فقط زمانی به فرسایش خندقی حساس هستند که بارش‌های حداقل و یا تغییر اقلیمی در مقیاس زمانی ۱۰۰۰ سال و یا بالاتر را تجربه کرده باشند. والنتین و همکاران^۳ (۲۰۰۵) در تحقیقات خود نشان دادند که خندق‌ها فقط محدود به نواحی مارنی نیستند بلکه از نظر جهانی بیشتر در خاک‌هایی که در معرض سله بستن هستند مانند لس‌ها و خاکهای ماسه‌ای و یا در خاک‌هایی که مستعد به فرسایش تونلی^۴ هستند مانند خاکهای وارفته^۵ نیز روی می‌دهند. بر اساس این تحقیق فرسایش خندقی در بیشتر اوقات بوسیله کاربری نامناسب و وقوع بارش‌های حداقل ایجاد و یا تشدید می‌شود و بعد از توقف علی ایجاد کننده تا زمان طولانی می‌تواند به تولید رسوب ادامه دهن. زوکا و همکاران^۶ (۲۰۰۶) اثرات کاربری و چشم انداز را بر روی توزیع فضایی و اشکال ژئومورفولوژیکی خندق‌های ناحیه کشاورزی - دامپوری ایتالیا مطالعه کردند. آنها در یک روش شناسی تلفیقی با استفاده از عکس‌های هوایی و بررسی‌های میدانی، روابط بین پارامترهای مورفولوژیکی خندق‌های متفاوت را محاسبه و سپس ارتباط بین اشکال مورفولوژیکی خندق و ویژگی‌های محیطی را اعم از لایه‌های زمین‌شناسی، شبیب، قابلیت اراضی و کاربری تعیین کردند. بوچنک و همکاران^۷ (۲۰۰۹) با مطالعه ۸ حوضه مستعد به فرسایش آبی در تونس، حجم رسوبات ایجاد شده توسط پیشانی

^۱ Poesen et al.

^۲ Gabris et al.

^۳ Valentin et al.

^۴ piping

^۵ dispersive

^۶ Zucca et al

^۷ Bouchnak et al

عمودی و دیوارها - کف خندق ها را توسط پردازش ۵ دوره از عکس های هوایی مربوط به سال های ۱۹۵۲-۲۰۰۰ محاسبه کردند. نتایج این تحقیق نشان می دهد در هر دوره، دو فرایند اصلی فرسایش خندقی (فرسایش پیشانی عمودی و دیوارها - کف) بطور قابل ملاحظه ای با شبیب دامنه افزایش می یابد. فرسایش دیوارها - کف بیشتر از فرسایش پیشانی عمودی (هدکت) به کل بار رسوب خندقی کمک می کند و کل فرسایش خندقی در دامنه های ملایم به طور متوسط ۱/۶۶ متر مکعب در هکتار در سال و در دامنه های پر شبیب به طور متوسط ۵/۶۰۳ متر مکعب در هکتار در سال محاسبه شده است.

ونوالگم و همکاران^۱ (۲۰۰۷) در قالب مطالعات اشکال ژئومورفوژوئی قدیمی، ۴۳ خندق دائمی را در ناحیه جنگل میرadal^۲ در بلژیک مرکزی بررسی کردند. این محققین با استفاده از مدل رگرسیون منطقی و متغیرهای انسانی و طبیعی شامل نوع خاک، شبیب دامنه، جهت شبیب، ارتفاع از سطح دریا، فاصله از جاده، سطح زهکشی، شاخص قدرت جریان، فاصله از مکان های باستان شناسی و فاصله از سازه های انسانی به تحلیل عوامل کننده خندق های قدیمی ناحیه مورد مطالعه پرداختند. نتایج این مطالعه نشان می دهد که هر دو عامل انسانی و فیزیکی در توزیع خندق ها مهم هستند. و مدل رگرسیون منطقی در پیش بینی وقوع خندق از اهمیت بالایی برخوردار است. لوکا و همکاران^۳ (۲۰۱۱) روش های آماری را با استفاده از GIS در برآورد حساسیت به فرسایش خندقی در حوضه توربلو^۴ ایتالیا مورد استفاده قرار دادند. کارایی مدل ها با استفاده از منحنی های میزان پیش بینی و با مقایسه نسبت هر طبقه حساسیت با توزیع خندق ها مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد اگرچه همه مدل ها کارایی نسبتاً خوبی دارند اما مدل رگرسیون منطقی چند متغیره به عنوان بهترین مدل در پیش بینی حساسیت به فرسایش خندقی منطقه مورد مطالعه شناخته شد. نظری و همکاران (۲۰۰۹) با جمع آوری اطلاعات میدانی، آزمایشگاهی و آنالیزهای مدل رقومی ارتفاع^۵ (DEM) به مطالعه فرایند های خندقی شدن و شرایط آستانه خندق دائمی در حوضه آبخیز دره کره بوشهر پرداختند. مطالعات این محققین نشان می دهد، رابطه S-A (شبیب - مساحت) به منظور پیش بینی مکان های مستعد به فرسایش خندقی از یک سطح قابل قبول دقت برخوردار است. معهدها دیگر عوامل محیطی نیز باید با روابط S-A در شناسایی دقیق مکان خندق های دائمی در مناطق خشک تلفیق شود. عیسایی و همکاران (۱۳۸۴)، با پژوهشی که در خصوص ارتباط بین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های لسی با اشکال فرسایشی در حوضه های اترک و گرگان رود انجام دادند، نشان دادند که طول خندق با میزان شن و نسبت جذب سدیم، هم بستگی مستقیم و با میزان گچ و آهک هم بستگی معکوس دارد. داوودی راد و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از عوامل سنگ شناسی، درصد شبیب زمین، نوع خاک، متوسط بارندگی سالیانه، نوع استفاده از زمین و درصد حفاظ روی خاک، نقشه پهنه بندی خطر فرسایش خندقی حوضه رباط ترک را با استفاده از مدل شاخص همپوشانی و عملگرهای جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای فازی در محیط GIS تهیه کردند. نتایج تحقیق نشان می دهد که مدل گامای فازی ۰/۸ مناسب ترین روش پهنه بندی فرسایش خندقی در حوضه آبخیز مورد مطالعه است. نتایج تحقیقات شادر و همکاران (۱۳۹۰) نیز در حوضه های انتخابی واقع در استان های مرکزی، گیلان، بوشهر، کهکیلویه و بویراحمد و قم نشان داد که مدل گامای فازی ۰/۸ مناسب ترین روش پهنه بندی فرسایش خندقی است. قابل ذکر است در تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی با استفاده از مدل فازی در تحقیقات داوودی راد و همکاران (۱۳۸۸) و شادر و همکاران

^۱ Vanwalleghem et al.

^۲ Meerdaal

^۳ Lucà et al.

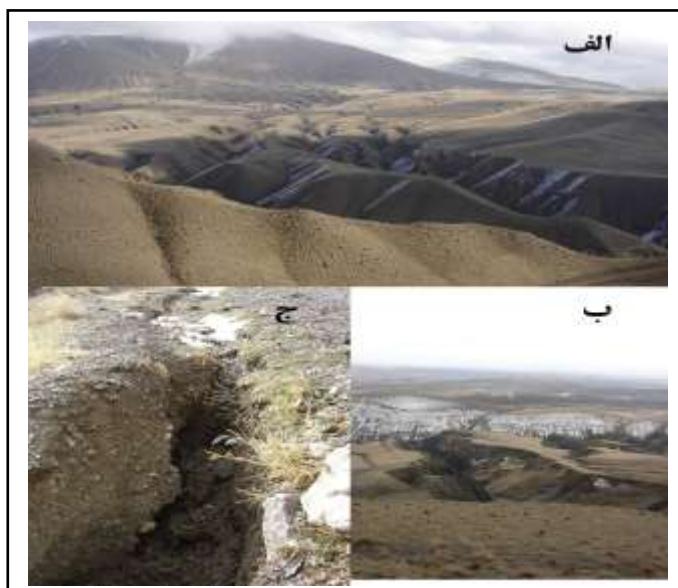
^۴ Turbolo

^۵ Digital Elevation Model

(۱۳۹۰) برای وزن دادن به کلاس‌های عوامل موثر از روش نسبت فراوانی^۶ و نرمال سازی که یک تابع خطی است استفاده شده است. شادر (۱۳۹۰) با استفاده از عوامل سنگ‌شناسی، شبیب، منابع و قابلیت اراضی، جهت شبیب و کاربری اراضی و به کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی^۷ (AHP) اقدام به تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوضه علی آباد (شهرستان رودبار) کرد. نتایج تحقیقات وی نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی مدل مناسبی جهت پهنه بندی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی به شمار می‌رود.

از روش فازی در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بیشتر استفاده شده است از آن جمله می‌توان از تحقیقات مهدویفر (۱۳۷۶)، فاطمی عقدا و همکاران (۱۳۸۴)، ناجی (۱۳۸۵)، پورقاسمی (۱۳۸۶)، پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۰)، و صفاری و همکار (۱۳۹۱) نام برد.

هدف از این پژوهش بررسی عوامل موثر بر رخداد فرسایش خندقی و تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت اراضی به آن با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی از طریق ترکیب ماکریم^۸-مینیمم در حوضه آبخیز مراغه است.



شکل ۱: اراضی تحت تاثیر فرسایش خندقی در رسوبات آبرفتی مجاور روستای مراغه - (الف) چشم اندازی از خندق‌های دامنه‌ای، (ب) رشد خندق عمیق و عریض تا جاده، (ج) ایجاد خندق کوچک و جدید در کنار آبراهه و یا خندق قدیمی تر

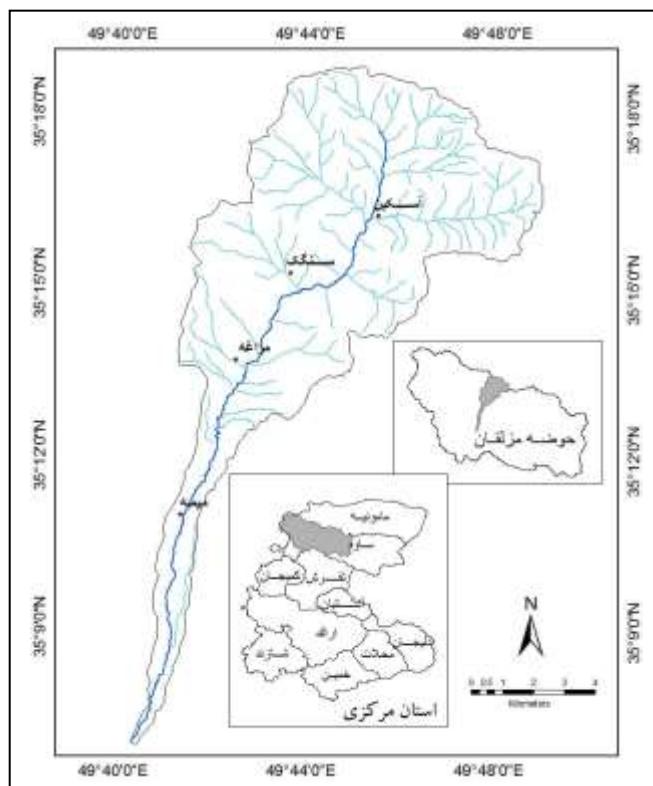
منطقه مورد مطالعه

حوضه مراغه یکی از زیر حوضه‌های آبخیز مزلقان با مساحت ۸۸۹۰/۷ هکتار در استان مرکزی (غرب شهرستان ساوه) در حد فاصل طول های^۹ ۴۹°۴۹' تا ۴۹°۴۱' شرقی و در عرض های^{۱۰} ۳۵°۱۹' تا ۳۵°۰ شمالي قرار دارد (شکل ۲). حداقل ارتفاع آن ۲۹۸۷ متر از سطح دریا در کوه اینچی قاره در ارتفاعات شمالی حوضه و حداقل ارتفاع ۱۶۰۸ متر در محل خروجی رودخانه مراغه قرار دارد. رودخانه مراغه از ارتفاعات شمالی حوضه سرچشمه گرفته و پس از طی حدود ۲۰ کیلومتر درجهت جنوب در روستای قلعtein به رودخانه مزلقان می‌پیوندد. بخش کوهستانی مجموعه‌ای از سنگ‌های دگرگونی ژوراسیک، سنگ‌های آتش‌شانی ائوسن و طبقات مارنی آهکی الیکوسن را در بر می‌گیرد و زمین‌های کم شبیب‌تر و تپه

⁶ Frequency Ratio

⁷ Analytical Hierarchy Process

ماهوری شامل کنگلومرای پلیوسن و نهشته‌های کواترنری می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه ناحیه مورد مطالعه ${}^{\circ}\text{C}$ ۱۰ است و متوسط بارش سالانه از 286 mm در جنوب تا 526 mm در شمال تغییر می‌کند. اقلیم منطقه نیمه خشک سرد است که در تراز ۲۵۰۰ متری به اقلیم مرطوب سرد تبدیل می‌شود. ۷۵ درصد از خاک‌های ناحیه مورد مطالعه در رده خاک‌های انتی سول^۱ و فاقد تکامل پروفیلی هستند و بخش عمده پوشش گیاهی نیز شامل مراتع متوسط و ضعیف می‌باشد (روشن ضمیر، ۱۳۸۸: ۱۹).



شکل ۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش به منظور تهیه نقشه پهنه بندی حساسیت اراضی به فرسایش خنده‌ی، عوامل سنگ شناسی، شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، خاک، بارش و قابلیت اراضی مورد مطالعه قرار گرفتند. از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور بنونو نقشه‌های پایه برای تهیه نقشه سطوح ارتفاعی، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از شبکه زهکشی، از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برای تهیه نقشه سنگ شناسی، از تصاویر ماهواره ای IRS مربوط به سال ۲۰۰۴ برای تهیه نقشه کاربری اراضی و از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های پیرامونی منطقه مورد مطالعه برای تهیه نقشه حداقل بارش روزانه با دوره بازگشت دو سال استفاده گردید. نقشه خاک بر اساس تشریح پروفیل‌های خاک در واحدهای همگن ژئومورفولوژی و بررسی نتایج آزمایشگاهی از نمونه‌های خاک شامل تعیین درصد رس، سیلت، ماسه، آهک، کربن آلی، میزان اسیدیته، درصد اشباع، نسبت جذب سدیم، هدایت

^۱ Entisol

الکتریکی، ظرفیت تبادل کاتیونی و نقشه قابلیت اراضی با استفاده از عکس‌های هوایی^۱، نقشه زمین‌شناسی، شبیب، ارتفاع و خاک منطقه مورد مطالعه تولید شدند.

تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی و تابع عضویت استفاده می‌کنند. مفهوم تابع عضویت^۲ از اهمیت ویژه‌ای در تئوری مجموعه‌های فازی برخوردار است زیرا تمام اطلاعات مربوط به یک مجموعه فازی به وسیله تابع عضویت آن توصیف می‌شود. تابع عضویت مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می‌کند و در واقع به تابعی که میزان درجه عضویت المان‌های^۳ مختلف را به یک مجموعه نشان دهد، تابع عضویت می‌گویند. درجه عضویت، عددی بین صفر و یک می‌باشد (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷: ۵ و ۴). فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) نیز یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که به کمک آن می‌توان درخت سلسله مراتبی، مقایسه زوجی معیارهای مختلف، نرمال‌سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد (شمسی پور و همکار، ۱۳۸۹: ۵۵ به نقل از احمدی و همکاران).

به منظور بررسی عوامل موثر در فرسایش خندقی و تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت اراضی به آن با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی از طریق ترکیب ماکریزم- مینیمم، ابتدا با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی، پیمایش میدانی و ثبت موقعیت خندق‌ها با استفاده از دستگاه GPS^۴، نقشه پراکنش خندق‌ها تهیه گردید. سپس هر کدام از عوامل سنگ‌شناسی، شبیب، جهت شبیب، ارتفاع، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، خاک، بارش و قابلیت اراضی به طبقه‌هایی تقسیم شدند. در این روش هر طبقه از این عوامل دارای تاثیری در وقوع خندق است که نرخ (R_i) آن طبقه نامیده می‌شود و هر یک از عوامل دارای درجه اهمیتی نسبت به عوامل دیگر می‌باشد که وزن (W_i) آن پارامتر نامیده می‌شود و با استفاده از رابطه ۱ درجه حساسیت یا نرخ کلی پتانسیل وقوع فرسایش خندقی (R) برای هر پلیگون محاسبه می‌شود (مهندی فرواطمی عقدا، ۱۳۷۶، ۲۰۰۲) :

$$R = \sum(R_i \times W_i) / \sum(W_i) \quad (1)$$

برای مشخص کردن تاثیر هر یک از طبقه‌های عوامل در وقوع خندق (R_i) از روش نسبت فراوانی، یعنی تقسیم نسبت درصد مساحت خندق در یک طبقه به درصد مساحت آن طبقه استفاده شده است. وزن‌های بدست آمده در روش نسبت فراوانی پس از نرمال شدن به عنوان بستری برای معرفی تابع عضویت طبقات عوامل مختلف به کار گرفته شده‌اند. وزن (اهمیت نسبی) هر یک از عوامل موثر (W_i) از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به دست آمد. مدل AHP شامل یک ماتریس وزن دهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در ایجاد خندق مشخص می‌کند. این ماتریس در نهایت به نرم افزار Expert Choice وارد و در آنچا وزن نهایی برای هر عامل محاسبه شد. وزن‌های بدست آمده در مدل AHP نیز پس از نرمال شدن برای تعیین تابع عضویت عوامل تاثیرگذار در وقوع فرسایش خندقی به کار گرفته شدند. از تلفیق ۱۰ عامل سنگ‌شناسی، درصد شبیب، جهت شبیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، کاربری، خاک، حداکثر بارش روزانه و منابع و قابلیت اراضی در محیط ArcGIS ۲۴۹۵۸۴ پلیگون بدست آمد. لذا ماتریس ورودی به نرم افزار Matlab7.1 دارای ۲۴۹۵۸۴ سطر و ۱۰ ستون خواهد بود. بدینگونه تهیه نقشه

^۱ Membership Function

^۲ Elements

^۳ Global Positioning System

پهنه بندی حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی را می‌توان در این پژوهش به شرح زیر خلاصه کرد:

فازی نمودن وزن‌های پیشنهادی برای تمام عوامل موثر در فرسایش خندقی و طبقات گوناگون ۱۰ پارامتر در ۲۴۹۵۸۴ پلیگون

مشخص نمودن کلاس هریک از پارامترهای اندازه‌گیری شده بر اساس توابع عضویت
برآورد میزان حساسیت با استفاده از مجموعه‌های فازی

غیر فازی نمودن مقادیر حساسیت بدست آمده برای ۲۴۹۵۸۴ پلیگون

برای انجام مراحل فوق با استفاده از نرم افزار Matlab7.1 یک برنامه اصلی به همراه دو زیر برنامه طراحی شد (مهدوی فر، ۲۰۰۲، ۱۳۷۹). بخش اصلی برنامه در واقع هدایت و کنترل اجرای برنامه را به عهده دارد و دو برنامه دیگر مربوط به تعریف برنامه فازی برای تمام زیر گروههای مربوطه و تجزیه و تحلیل داده و محاسبه‌ی حساسیت می‌باشند. خروجی برنامه به صورت یک فایل با ۱۱ ستون و ۲۴۹۵۸۴ سطر خواهد بود که در ستون آخر مقدار حساسیت محاسبه شده ارائه می‌گردد. سپس خروجی این نرم افزار که درجه حساسیت محاسبه شده برای هر پلیگون در محدوده نقشه مورد مطالعه می‌باشد، به محیط نرم افزار ILWIS منتقل تا نقشه پهنه بندی حساسیت به فرسایش خندقی تهیه گردد. جهت پهنه بندی فرسایش خندقی در منطقه مورد مطالعه از توابع عضویت مثلثی و گوسی استفاده شد.

برای ارزیابی نقشه حساسیت اراضی، پهنه‌های خندقی به صورت تصادفی توسط ابزار Hawths Tools در نرم افزار ArcGIS 9.3 به دو گروه تقسیم شدند. ۹۹٪ (پهنه خندقی) برای تهیه نقشه حساسیت به فرسایش خندقی و ۳۰٪ (پهنه خندقی) برای ارزیابی آن مورد استفاده قرار گرفتند (لوکا و همکاران، ۲۰۱۱؛ کانفرتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۱؛ ۰۹۱). نقشه پهنه بندی‌های حساسیت به فرسایش خندقی که کلاس‌های مختلف حساسیت را در منطقه نشان می‌دهد با نقشه پرآکنش خندق‌ها (۴۳٪ پهنه خندقی) مقایسه شدند. با توجه به این که در بحث پهنه بندی خطر زمین لغزش از عامل مساحت لغزش و برای ارزیابی مدل‌های آن از نسبت تراکمی^۲ (D_r) و شاخص جمع کیفی^۳ (QS) استفاده می‌شود، در این پژوهش نیز به دلیل استفاده از مساحت پهنه‌های خندقی، برای ارزیابی مدل از نسبت تراکمی و شاخص جمع کیفی استفاده شده است. (شادرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۱).

نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از ارتباط بین عوامل موثر بر وقوع خندق و خندق‌های ایجاد شده در منطقه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه گردیده است. بررسی نتایج سنگ شناسی نشان می‌دهد که بیشترین خندق‌ها در واحد سنگ شناسی Qt1 واقع شدند که این امر نقش رسوبات سست آبرفتی کواترنر را در ایجاد و رشد خندق نشان میدهد که با نتایج پژوهش زوکا و همکاران (۲۰۰۶)، پازن و همکاران (۲۰۰۳)، داویدی راد و همکاران (۱۳۸۸)، شادرف و همکاران (۱۳۸۹) و شادرف (۱۳۹۰) اनطباق دارد.

بررسی طبقات خاک نشان می‌دهد که ۶۷ درصد از خندق‌های منطقه در خاکهای T.H.X^۴ قرار دارند. در این پژوهش یک خندق معرف در کاربری مرتعی در غرب روستای مراغه انتخاب شد و در قسمت‌های راس، وسط و دهانه خروجی تعداد نه پروفیل حفر شد. بر اساس نتایج آزمایش از خاک‌های خندق معرف، میزان ماده آلی بین ۰/۱۷ تا ۰/۷۹

^۱ Conforti et al

^۲ Density Ratio

^۳ Quality Sum

^۴ Typic Haploxerepts

درصد است، بنابر این میزان ماده آلی که موجب تشدید پایداری خاک می‌شود (دلاپا و همکاران^۱، ۲۰۱۱: ۱۵۹) بسیار پایین است (کاپرا و همکاران^۲، ۲۰۰۹: ۷۹، کمپانی زارع و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۵۸). نسبت جذب سدیم (SAR) که نقش موثر سدیم را در پراکندگی ذرات خاک نشان می‌دهد (شهریور و همکاران، ۲۰۱۲: ۱) از ۰/۶۵ تا ۰/۰۷۷ تغییر می‌کند. این عامل زمانی مشکلات فیزیکی خاک را بطور جدی افزایش می‌دهد، که مقدار آن بالاتر از ۱۵–۱۲ باشد (مانشائر^۳، ۱۹۹۴)، لذا خاک از نظر نسبت جذب سدیم فاقد محدودیت می‌باشد. درصد اشباع خاک (SP) بین ۰/۷ تا ۰/۳۳ تغییر است، در نتیجه، ظرفیت نگهداری آب در این خاک نسبتاً پایین تا متوسط می‌باشد و چنانچه بالاترین بارش روزانه از ظرفیت نگهداری آب بیشتر شود می‌تواند باعث ایجاد جریان سطحی شود (استرانک^۴، ۲۰۰۳: ۱۹۰). هدایت الکتریکی (EC) که میزان شوری خاک را نشان می‌دهد بین ۰/۲۱ تا ۰/۴۲ ds/m می‌باشد و زمانی خاک شور محسوب می‌شود که مقدار هدایت الکتریکی از ۰ ds/m بیشتر باشد (شهریور و همکاران، ۲۰۱۲: ۳)، لذا خاک از نظر هدایت الکتریکی فاقد محدودیت می‌باشد. میزان اسیدیته (PH) بین ۰/۷ تا ۰/۷ و به میزان کمی قلیایی است. بافت خاک رومی شنی و یا رومی رسی شنی می‌باشد که در طبقه بندی جدید جزء خاکهای سبک و میان بافت قرار می‌گیرد و در مقابل فرسایش دارای مقاومت کم تا متوسط است (شادر، ۱۳۸۹: ۴۱). ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) که ظرفیت خاک را برای نگهداشتن یون‌های مثبت نشان می‌دهد بین ۰/۱ تا ۰/۱۷ m.e./100gr است. مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی برای خاک‌های سبک با حاصلخیزی کم، ۱۲–۴ و برای خاک‌های میان بافت و با حاصلخیزی متوسط، ۱۳–۲۵ است (حاجب، ۲۰۰۷).

مطالعه نتایج قابلیت اراضی نشان می‌دهد بیشترین خندق‌ها (۰/۵۶۷ درصد) در واحد اراضی ۱، ۳، ۴، ۵ یعنی فلاتها تراس‌های فوقانی که برای عملیات کشاورزی مناسب است کمتری دارند، واقع شدند که با نتایج پژوهش زوکا و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد.

بررسی نتایج اطلاعات کاربری نشان می‌دهد ۸۲ درصد خندق‌های منطقه در کاربری مرتع ضعیف قرار دارند که با نتایج پژوهش زوکا و همکاران (۲۰۰۶)، والتین و همکاران (۲۰۰۵)، عثمان صالح و همکار (۲۰۱۱)، شادر و همکاران (۱۳۹۰)، شادر (۱۳۹۰) و داوودی راد و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت دارد. این مرتع دارای شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (^۳NDVI) ۰/۵–۰/۰ تا ۰ می‌باشد. این شاخص که در محدوده ۱–۰ تا ۱ تغییر می‌کند و بیشترین حساسیت را به تغییرات پوشش گیاهی دارد (باقعیه و همکاران، ۱۳۹۰: ۵) نقش پوشش گیاهی فقیر و پراکنده این مرتع را در ایجاد جریان متتمرکز و فرسایش خندقی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (ونوالگم و همکاران، ۲۰۰۵: ۸۴).

بررسی طبقات شبیب نشان می‌دهد که طبقه شبیب ۰/۱۵ (۴۸/۱ درصد) و بعد از آن طبقه شبیب ۰/۳۰ (۷/۲۳ درصد) بیشترین خندق‌ها را به خود اختصاص داده و به ترتیب دارای بیشترین وزن هستند که با نتایج پژوهش زوکا و همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد. از طبقه سوم (شبیب ۰/۴۵–۰/۳۰ درصد) پهنه‌های خندقی کاهش می‌یابند که این می‌تواند به علت خاک کم عمق تر و کاهش طول دامنه باشد (زوکا، ۲۰۰۶: ۹۳) که عموماً دامنه‌های پرشیب تر این ناحیه را مشخص می‌کند.

نتایج بررسی جهت شبیب نشان می‌دهد که بیشترین خندق‌ها در جهت‌های غرب (۲/۳۴ درصد) و جنوب (۸/۳۳ درصد) قرار دارند. علت وقوع خندق‌ها در جهت‌های غرب احتمالاً قرار گرفتن خاک‌ها و لیتولوژی‌های مستعد به فرسایش خندقی در جهت غرب می‌باشد که با نتایج پژوهش ونوالگم و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد. علت وقوع خندق در جهت

^۱ Dlapa et al.

^۲ Capra et al

^۳ Munshower

^۴ Strunk

^۵ Normalized Difference Vegetation Index

جنوب را می‌توان تاثیر جهت کلی شب روی تاخیر در ذوب برف ناشی از تفاوت حرارتی، رطوبت خاک، پوشش گیاهی و نوع فرسایش دانست. در نیمکره شمالی در دامنه‌های جنوب، ذوب برف سریع‌تر از دامنه‌های شمالی انجام می‌گیرد و فرسایش بیشتر به صورت خنده‌ی و شیاری است (شادر، ۱۳۸۹: ۳۶ به نقل از امیدوار).

مطالعه نتایج بارش حداکثر روزانه با دوره بازگشت دو سال نشان می‌دهد بیشترین خنده‌ی (۸۱ درصد) در طبقه بارش ۲۶/۴۲ میلیمتر واقع شده است. مطالعات نشان می‌دهد که آستانه بارندگی برای ایجاد و رشد خنده در خاک‌های با بافت سبک و درصد پوشش گیاهی پایین بسیار کمتر از آستانه بارندگی در خاک‌های با بافت سنگین و پوشش گیاهی متراکم می‌باشد (پازن و همکاران، ۲۰۰۳: ۱۰۷) و چنانچه درصد اشباع خاک پایین باشد، وقوع بارش‌های شدید می‌تواند موجب جریان سطحی و فرسایش خنده‌ی شود (استرانک، ۲۰۰۳: ۱۹۰).

بررسی طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد بیشترین گسترش خنده‌ی (۶۱/۴ درصد) در ارتفاع ۲۴۰۰ - ۲۰۰۰ متر است که با نتایج پژوهش عثمان صالح و همکار (۲۰۱۱) مطابقت دارد. و در ارتفاع بالاتر وقوع خنده کاهش می‌یابد بطوریکه در ارتفاع ۳۰۰۰ - ۲۶۰۰ هیچ خنده‌ی مشاهده نشده است.

بررسی نتایج فاصله از جاده نشان می‌دهد که بیشترین خنده‌ی در فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر از جاده واقع شدند و فقط ۱۲/۸ درصد از خنده‌ی در فاصله ۰ - ۱۰۰ متر از جاده قرار دارند. لذا جاده تاثیر کمی در ایجاد خنده در منطقه مورد مطالعه دارد و با نتایج پژوهش نیسن و همکاران (۲۰۰۲) مطابقت ندارد.

بررسی نتایج فاصله از آبراهه نشان می‌دهد که ۳۸ درصد خنده‌ی در فاصله ۱۰۰ - ۰ متر و ۷۶ درصد از خنده‌ی در فاصله ۰ - ۲۰۰ متری از آبراهه قرار دارند و این امر نشان دهنده تاثیر آبراهه در تشکیل خنده است.

نتایج کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (جدول ۳) نشان می‌دهد که عوامل سنگ‌شناسی، منابع و قابلیت اراضی، خاک و کاربری نقش مهمتری نسبت به سایر عوامل در وقوع پدیده فرسایش خنده‌ی در حوضه مورد مطالعه دارند که با نتایج تحقیقات گنجعلی (۱۳۸۸)، شادر (۱۳۹۰) مطابقت دارد.

نتایج تعریف تابع عضویت فازی مثلثی و گوسی برای هریک از عوامل تاثیرگذار در پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی با استفاده از منطق فازی در شکل‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده است. شکل‌ها نشان می‌دهند که هر یک از طبقات عوامل موثر در پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی که به سمت راست گرایش دارد وزن بیشتری را در بین طبقات دیگر به خود اختصاص داده است. همچنین تابع عضویت فازی مثلثی و گوسی عوامل تاثیرگذار در پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی بر اساس وزن بدست آمده در مدل AHP در شکل ۵ نشان داده شده است. بیشترین وزن به عامل سنگ‌شناسی و کمترین به عامل ارتفاع از سطح دریا تعلق دارد.

نقشه‌های پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی با استفاده از منطق فازی و تابع عضویت مثلثی و گوسی در شکل ۶ ارائه شده است. میزان حساسیت به فرسایش خنده‌ی در این نقشه‌ها در چهار رده کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نشان داده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی نقشه‌های پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی با استفاده از مدل چند شاخصه فازی و توابع عضویت مثلثی و گوسی بر مبنای ۳۰٪ پهنه‌های خنده‌ی شاهد در جدول ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج پهنه بندی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی و تابع عضویت مثلثی نشان می‌دهد که به ترتیب ۸/۳، ۱۴/۱۴، ۱۴/۵۷، ۲۶/۷۱ و ۴۹/۴۹ درصد و با تابع عضویت گوسی به ترتیب ۸/۸۷، ۲۶/۷۱ و ۴۹/۸۶ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم به فرسایش خنده‌ی می‌باشد. طبقات دارای حساسیت خیلی زیاد به فرسایش خنده‌ی به ترتیب بر رسوبات آبرفتی سمت (Qt1)، اجزاء واحد اراضی ۱، ۴، ۳ (فلات‌ها و تراس‌های فوقانی)، خاک‌های T.H.X. کاربری مراتع ضعیف، طبقه شیب -۳۰٪ -۱۵، حداکثر بارش روزانه ۲۶/۴ - ۲۳/۷ میلیمتر با دوره بازگشت دو سال، فاصله ۲۰۰ متر از آبراهه و جهت‌های غرب و جنوب منطبق می‌باشند. برای شناسایی نقشه پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی صحیح تر و با دقت بالاتر از شاخص جمع کیفی (QS) استفاده شده است. شاخص جمع

کیفی بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده‌های مختلف حساسیت می‌باشد. نقشه تهیه شده با استفاده از توابع عضویت مثلثی دارای شاخص جمع کیفی (QS)، $4/36$ و نقشه تهیه شده با استفاده از توابع عضویت گوسی دارای شاخص جمع کیفی (QS)، $4/22$ می‌باشد. بالا بودن و نزدیک بودن مقادیر شاخص جمع کیفی در این دو نقشه پهنه‌بندی نشان می‌دهد که هر دو تابع گوسی و مثلثی دارای قابلیت بالایی در تفکیک اراضی حساس به فرسایش خندقی می‌باشند و نوع تابع فازی سازی تاثیر زیادی در نتایج ندارد. نتایج روش اعتبارسنجی، قدرت پیش‌بینی مدل را رضایت‌بخش نشان میدهد زیرا حدود ۸۷ تا ۸۸ درصد از پهنه‌های خندقی مربوط به داده‌های ارزیابی مدل ($43/3$ پهنه خندقی)، دقیقاً در طبقات با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند (کانفرنی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۰۱۱). با توجه به اینکه درجه حساسیت یا نرخ کلی پتانسیل وقوع فرسایش خندقی (مطلوبیت فازی) در روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی در دو مرحله صورت می‌گیرد، در مرحله اول برای هریک از طبقات عوامل تابع عضویت فازی تعریف می‌شود و در مرحله دوم ارجحیت هریک از عوامل از طریق مدل AHP محاسبه و بر اساس آن برای عوامل تاثیرگذار تابع عضویت فازی تعیین می‌شود (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷: ۲۰۳)، این مدل نسبت به روش‌هایی که برای وزن دادن به طبقات عوامل موثر از روش نسبت فراوانی و نرمال سازی (قدوسی، ۱۳۸۲، داوودی راد و همکاران، ۱۳۸۸، شادفر و همکاران، ۱۳۹۰) و یا برای فازی کردن نقشه‌های رسترنی عوامل از توابع عضویت فازی در نرم افزار ArcGIS 10 (صفاری، ۱۳۹۱) استفاده شده است، دقت بسیار بالاتری در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی دارد. زیرا در این روش‌ها فازی سازی در یک مرحله انجام می‌شود، لذا وزن عوامل موثر در وقوع فرسایش خندقی و یا زمین لغزش محاسبه نمی‌شود و برای تعیین مقادیر عضویت فازی طبقات عوامل موثر نیز فقط از یک تابع عضویت استفاده می‌شود. به عبارت دیگر برای تمام پیکسل‌های موجود در هر طبقه از عوامل موثر فقط از یک وزن تک شاخصه (بر اساس طبقات عوامل) استفاده می‌شود. اما در روش تصمیم گیری چند شاخصه فازی برای هر 249584 پلیگون محدوده مورد مطالعه، وزن جداگانه چند شاخصه (بر اساس طبقات عوامل و عوامل تاثیرگذار) در بازه بین صفر و یک محاسبه می‌شود. در استفاده از عملگر ماکریم-مینیمم باستانی متذکر شد، از آنجا که در عملگر ماکریم ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند، در نتیجه تعداد بیشتری پیکسل در کلاس حساسیت بالا و خیلی بالا به فرسایش خندقی قرار می‌گیرند و به همین دلیل این عملگر حساسیت خیلی کمی در پهنه‌بندی دارد و در عملگر ماکریم ارزش پیکسل‌ها به سمت صفر میل می‌کند و در نتیجه تعداد پیکسل‌های کمتری در کلاس حساسیت بالا و خیلی بالا به فرسایش خندقی قرار می‌گیرند و حساسیت زیادی در پهنه‌بندی دارد (پورقاسمی، ۱۳۸۶: ۱۰۲). در اینجا به منظور تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر مینیمم و دقت خیلی کم عملگر ماکریم از ترکیب ماکریم-مینیمم استفاده شده است (کوره پزان دزفولی، ۱۳۸۷: ۵۱).

جدول ۱: مقادیر عضویت فازی مربوط به کلاس‌های عوامل موثر در فرسایش خندقی

عامل سنگ شناسی						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۱۴۱	۰/۲۷۵	۸/۶۲	۹/۶۴	۳۱/۳۱	۲۷۸۳/۶۷	E5
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۵۳	۲۵۵/۲۲	Ehb6
۰/۱۰۷	۰/۰۴۷	۱/۱۰	۱/۲۳	۲۳/۴۶	۲۰۸۵/۸۸	Eig6
۰/۱۷۴	۰/۴۰	۱/۷۷	۱/۹۹	۴/۴۵	۳۹۵/۹۶	Etb6
۰/۱	۰	۰	۰	۳/۱۷	۲۸۱/۵۹	EV4
۰/۱۵۶	۰/۳۷۴	۰/۲۵	۰/۲۸	۰/۶۷	۵۹/۴۹	EV6
۰/۱	۰	۰	۰	۰/۱۷	۱۵/۴۷	gd
۰/۳۳۴	۱/۵۷۲	۱۵/۴۲	۱۷/۲۵	۹/۸۱	۸۷۱/۹۳	Js
۰/۱	۰	۰	۰	۰/۲۳	۲۰/۰۶	Ki1
۰/۱	۰	۰	۰	۱/۲۷	۱۱۲/۴۴	OM12

۰/۱۱۸	۰/۱۲۳	۰/۳۳	۰/۳۷	۲/۶۷	۲۳۷/۳۴	OMim
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۷۱	۲۴۱/۲۸	PI-QC
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۷۶	۲۴۵/۷۱	Qai
۰/۹	۵/۳۷۳	۷۲/۴۸	۸۱/۱	۱۳/۴۹	۱۱۹۹/۵۳	Qt1
۰/۱۰۴	۰/۰۲۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۱/۳۱	۱۱۶/۱۷	Qt2

E5 : تابوب کنگلومرا ، ماسه سنگ، شیل و مارن ، توف اسیدی و آهک Ehb6 : سنگ های آتشفشاری حد واسط Eig6 : ایگنبریت (توف یا خاکستر آتشفشاری) Etb6 : تابوب توف و گدازه با ترکیب اسیدی تا حد وسط EV4 : تابوب توف ، گدازه حد واسط و آهک EV6 : سنگ های آتشفشاری بازیک تا اسیدی gd : گرانودیبوریت و مونزودیبوریت Js : شیل و سیلتستون کمی دگرگون شده Ki1 : سنگ آهک کرتاسه OM12 : آهک فسیل دار OMim : آهک و مارن PI-QC : کنگلومرا Qai : آبرفت جوان Qt1 : پادگانه ها و مخروط افکنه های قدیمی Q12 : پادگانه ها و مخروط افکنه های جوان

عامل شیب

مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۶۷۳	۱/۵۰۹	۲۳/۶۵	۲۶/۴۶	۱۵/۶۸	۱۳۹۳/۷۴	۰ - ۱۵
۰/۹	۲/۰۷۶	۴۸/۰۶	۵۳/۷۸	۲۳/۱۵	۲۰۵۸/۳۳	۱۵ - ۳۰
۰/۳۷۷	۰/۷۷۰	۲۰/۳۳	۲۲/۷۴	۲۶/۴۱	۲۳۴۸/۱۱	۳۰ - ۴۵
۰/۱۹۹	۰/۳۲۸	۶/۸۳	۷/۶۵	۲۰/۸۷	۱۸۵۵/۴۰	۴۵ - ۶۰
۰/۱	۰/۰۸۱	۱/۱۳	۱/۲۶	۱۳/۹	۱۲۳۶/۱۳	> ۶۰

عامل جهت شیب

مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۲۴	۰/۸۰۹	۰/۹۸	۱/۱	۱/۲۱	۱۰۷/۴۷	هموار
۰/۲۵۷	۰/۰۲۹	۱۵/۸۷	۱۷/۷۸	۱۹/۱۵	۱۷۰۳/۶۴	شمال
۰/۱	۰/۶۴۵	۱۵/۱۵	۱۶/۹۸	۲۳/۵۱	۲۹۰۱/۱۲	شرق
۰/۳۸۵	۰/۰۷۹	۳۳/۸۲	۳۷/۷۹	۳۴/۵۴	۳۰۷۱/۹۳	جنوب
۰/۹	۱/۰۵۸۳	۳۴/۱۸	۳۸/۲۹	۲۱/۵۹	۱۹۲۰/۸۱	غرب

عامل ارتفاع

مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۲۴۶	۰/۰۷۷	۵/۰۲	۵/۶۲	۵/۷۲	۵۰۸/۵۶	۱۶۰۰ - ۱۸۰۰
۰/۳۱۳	۱/۰۲۷۷	۱۱/۵۱	۱۲/۸۸	۹/۰۲	۸۰۱/۶۹	۱۸۰۰ - ۲۰۰۰
۰/۹	۴/۰۷۹۴	۶۱/۲۸	۶۸/۵۸	۱۲/۷۸	۱۱۳۶/۵۰	۲۰۰۰ - ۲۲۰۰
۰/۲۰۸	۰/۰۶۴۸	۱۹/۷۶	۲۲/۱۱	۳۰/۵۰	۲۷۱۱/۶۶	۲۲۰۰ - ۲۴۰۰
۰/۱۱۴	۰/۰۰۸۱	۲/۴۴	۲/۷۲	۳۰/۳۳	۲۶۸۷/۹۹	۲۴۰۰ - ۲۶۰۰
۰/۱	۰	۰	۰	۱۱/۷۶	۱۰۴۵/۳۳	۲۶۰۰ - ۳۰۰۰

عامل فاصله از جاده

مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۳۲۳	۰/۰۸۶۹	۱۲/۸۳	۱۶/۶۰	۱۷/۰۸	۱۵۱۸/۳۹	۰ - ۱۰۰
۰/۶۱۹	۱/۰۶۸	۱۴/۶۷	۱۶/۴۲	۱۳/۷۴	۱۲۲۱/۹۲	۱۰۰ - ۲۰۰
۰/۶۰۷	۱/۰۶۰	۱۱/۹۷	۱۳/۴۰	۱۱/۲۹	۱۰۰۳/۹۲	۲۰۰ - ۳۰۰
۰/۹	۱/۰۲۵۷	۱۱/۴۴	۱۲/۷۹	۹/۱	۸۰۸/۹۴	۳۰۰ - ۴۰۰
۰/۱	۰/۰۷۱۹	۵/۶۱	۶/۲۸	۷/۸۰	۶۹۳/۳۳	۴۰۰ - ۵۰۰
۰/۵۳۶	۱/۰۱۲	۴۱/۴۹	۴۶/۴۲	۴۰/۹۸	۳۶۴۵/۳	> ۵۰۰

فاصله از آبراهه						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۴۰۰	۰/۹۶۲	۳۸/۰۶	۴۲/۵۹	۳۹/۵۶	۳۵۱۷/۷۲	۰ - ۱۰۰
۰/۹	۱/۲۶۴	۳۷/۹۷	۴۲/۴۸	۳۰/۰۴	۲۶۷۱/۱۴	۱۰۰ - ۲۰۰
۰/۱	۰/۷۸۱	۱۳/۵۵	۱۵/۱۶	۱۷/۳۶	۱۵۴۳/۵۴	۲۰۰ - ۳۰۰
۰/۱۳۱	۰/۸۰۰	۱۰/۴۳	۱۱/۶۷	۱۳/۰۴	۱۱۵۹/۳۲	> ۳۰۰
عامل کاربری						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۲۴۹	۰/۸۴۶	۵/۰۲	۵/۶۲	۵/۹۴	۵۲۷/۷۶	کشاورزی دیمی
۰/۱۱۱	۰/۰۶۰	۰/۳۵	۰/۴۰	۵/۸۸	۵۲۳/۱۵	باغ
۰/۱	۰	۰	۰	۰/۵۹	۵۲/۶۴	کشاورزی آبی
۰/۱۳۰	۰/۰۱۷۰	۱۱/۷۵	۱۳/۱۵	۶۹/۰۹	۶۱۴۲/۹۹	مراتع متوسط
۰/۱۰۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۲۴	۲۱/۳۴	مسکونی
۰/۹	۴/۵۳۸	۸۲/۸۸	۹۲/۷۳	۱۸/۲۶	۱۶۲۳/۸۲	مراتع ضعیف
عامل خاک						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۱۹۹	۰/۹۹۳	۵/۰۲	۵/۶۲	۵/۰۶	۴۴۹/۷۰	C.H.X
۰/۲۵۷	۱/۵۷۲	۱۵/۴۲	۱۷/۲۵	۹/۸۱	۸۷۱/۹۳	D.X.O
۰/۱۰۳	۰/۰۲۹	۰/۰۴	۰/۰۴	۱/۳۱	۱۱۶/۱۷	F.H.X
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۷۱	۲۴۱/۲۶	L.H.X
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۵۳	۲۲۵/۲۲	L.X.O
۰/۹	۷/۹۹۹	۶۷/۴۶	۷۵/۴۸	۸/۴۳	۷۴۹/۸۱	T.H.X
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۷۶	۲۴۵/۷۴	T.X.F
۰/۱۱۸	۰/۰۱۷۹	۱۲/۰۷	۱۳/۵	۶۷/۳۹	۵۹۹۱/۹۱	T.X.O
C.H.X : Calcic Haploxerepts D.X.O : Dystric Xerorthents F.H.X : Fluventic Haploxerepts L.H.X : Lithic Haploxerepts L.X.O :Xerorthents Lithic T.H.X : Typic Haploxerepts T.X.F : Xerofluents Typic T.X.O : Xerorthents Typic						
عامل حداکثر بارش روزانه						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۳۱۱	۰/۷۶۱	۹/۵۹	۱۰/۷۴	۱۲/۶۰	۱۱۲۰/۵۱	۲۰/۹۸ - ۲۳/۷۰
۰/۹	۲/۸۸۷	۸۱/۰۸	۹۰/۷۳	۲۸/۰۹	۲۴۹۸/۰۵	۲۳/۷۰ - ۲۶/۴۲
۰/۱۵۱	۰/۰۱۸۴	۹/۳۲	۱۰/۴۳	۵۰/۷۱	۴۵۰۹/۲۶	۲۶/۴۲ - ۲۹/۱۴
۰/۱	۰	۰	۰	۸/۵۹	۷۶۳/۸۴	۲۹/۱۴ - ۳۱/۸۶
عامل منابع و قابلیت اراضی						
مقادیر عضویت فازی	نسبت تراکمی	خندق (درصد)	مساحت خندقی (هکتار)	درصد طبقات	مساحت طبقه (هکتار)	طبقه
۰/۱۲۱	۰/۰۲۰۹	۷/۲۸	۸/۱۴	۳۴/۸۱	۳۰۹۴/۹۰	۱,۲,۲
۰/۱۱۵	۰/۰۱۴۷	۴/۷۹	۵/۳۶	۳۲/۵۸	۲۸۹۶/۱	۱,۲,۳
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۵۳	۲۲۵/۲۲	۱,۲,۵
۰/۲۵۷	۱/۵۷۲	۱۵/۴۲	۱۷/۲۵	۹/۸۱	۸۷۱/۹۳	۱,۲,۷
۰/۱	۰	۰	۰	۲/۷۱	۲۴۱/۲۸	۲,۲,۳

+/۱	+/۰۲۹	-/۰۴	+/۰۴	۱/۳۱	۱۱۶/۱۷	۳,۲,۱
+/۱۹۹	+/۹۹۳	۵/۰۲	۵/۶۲	۵/۰۶	۴۴۹/۷۱	۳,۳,۱
+/۹	۷/۹۹۹	۶۷/۴۶	۷۵/۴۸	۸/۴۳	۷۴۹/۸۱	۳,۴,۱
+/۱	+	+	.	۲/۷۶	۲۴۰/۷۱	۵,۱,۱

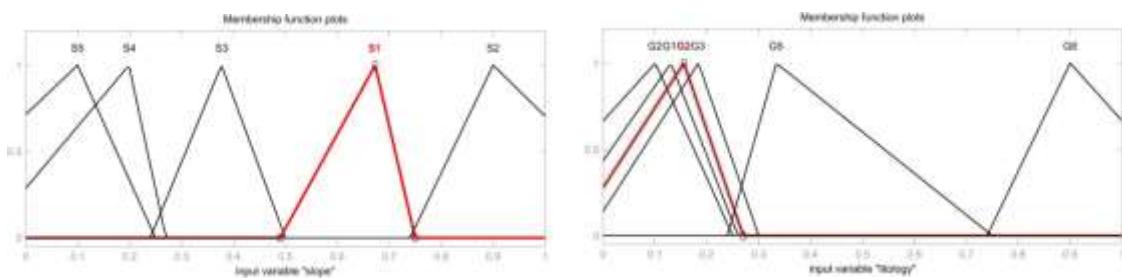
(اجزای واحد اراضی ۱,۲,۲ و ۱,۲,۳ و ۱,۲,۵ و ۲,۲,۳ : تیپ کوه) (اجزای واحد اراضی ۳,۲,۱ و ۳,۳,۱ و ۳,۴,۱ : تیپ فلات ها و تراس های فوقانی) (اجزای واحد اراضی ۵,۱,۱ : آبرفت بستر رودخانه)

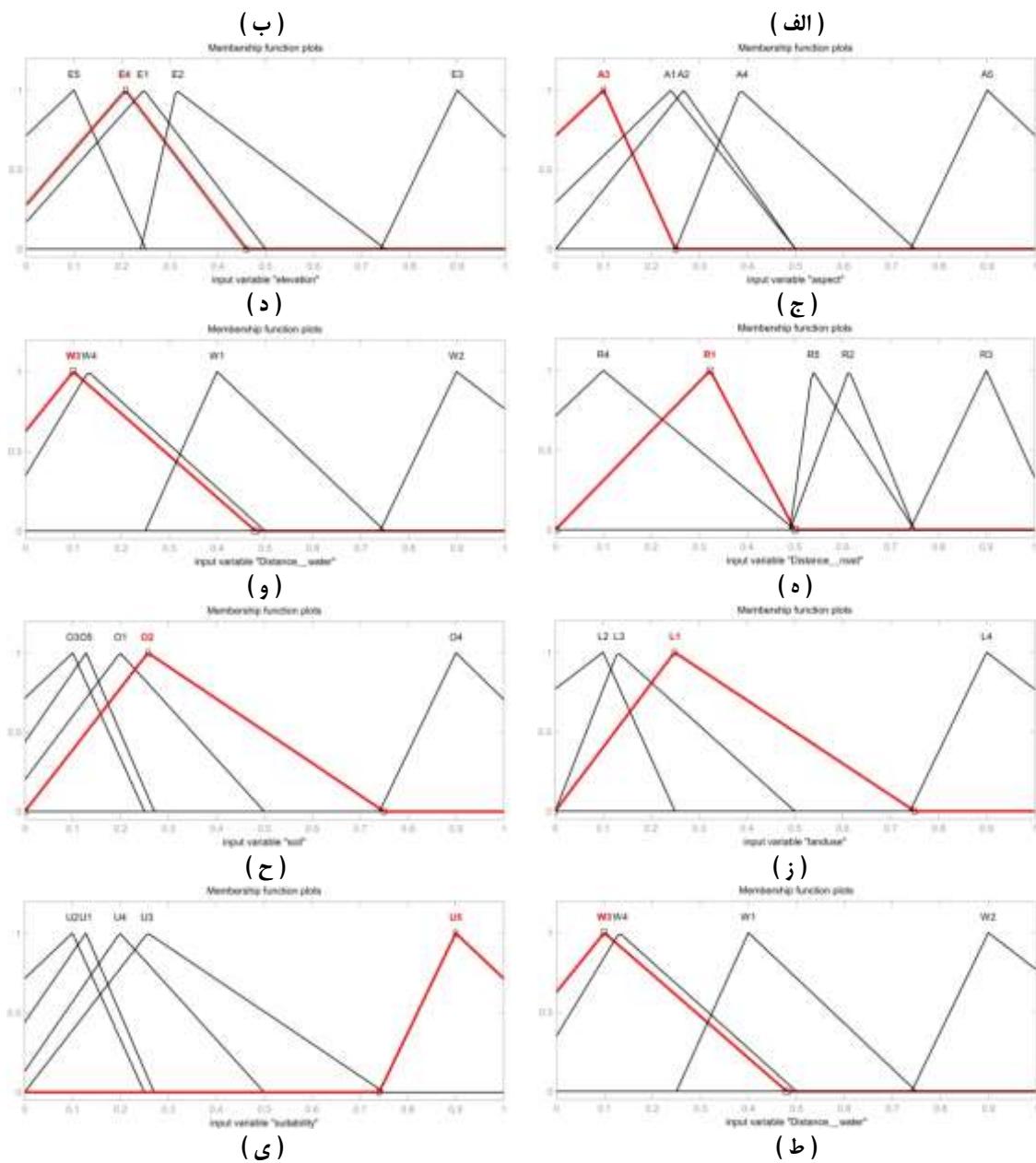
جدول ۲: ماتریس مقایسه زوجی عوامل

Lithology	Suitability	Soil	Landuse	Slope	Rain	Water	Aspect	Road	Elevation	Feature	Pairwise comparison matrix
0.143	0.167	0.167	0.143	0.2	0.2	0.2	0.25	0.333	1	Elevation	1
0.143	0.143	0.167	0.167	0.2	0.25	0.25	0.333	1	3	Road	2
0.167	0.167	0.167	0.2	0.25	0.3	0.333	1	3	4	Aspect	3
0.2	0.2	0.2	0.25	0.5	0.5	1	3	4	5	Water	4
0.2	0.2	0.2	0.25	0.5	1	2	3	4	5	Rain	5
0.25	0.25	0.25	0.333	1	2	2	4	5	6	Slope	6
0.5	0.5	0.5	1	3	4	4	5	6	7	Landuse	7
1	1	1	2	4	5	5	6	6	6	Soil	8
1	1	1	2	4	5	5	6	7	6	Suitability	9
1	1	1	2	4	5	5	6	7	7	Lithology	10

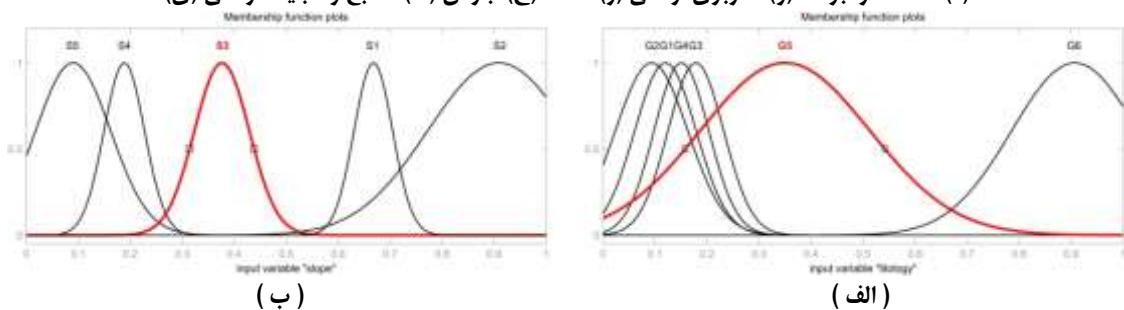
جدول ۳: وزن نسبی عوامل در روش AHP و مقادیر عضویت فازی

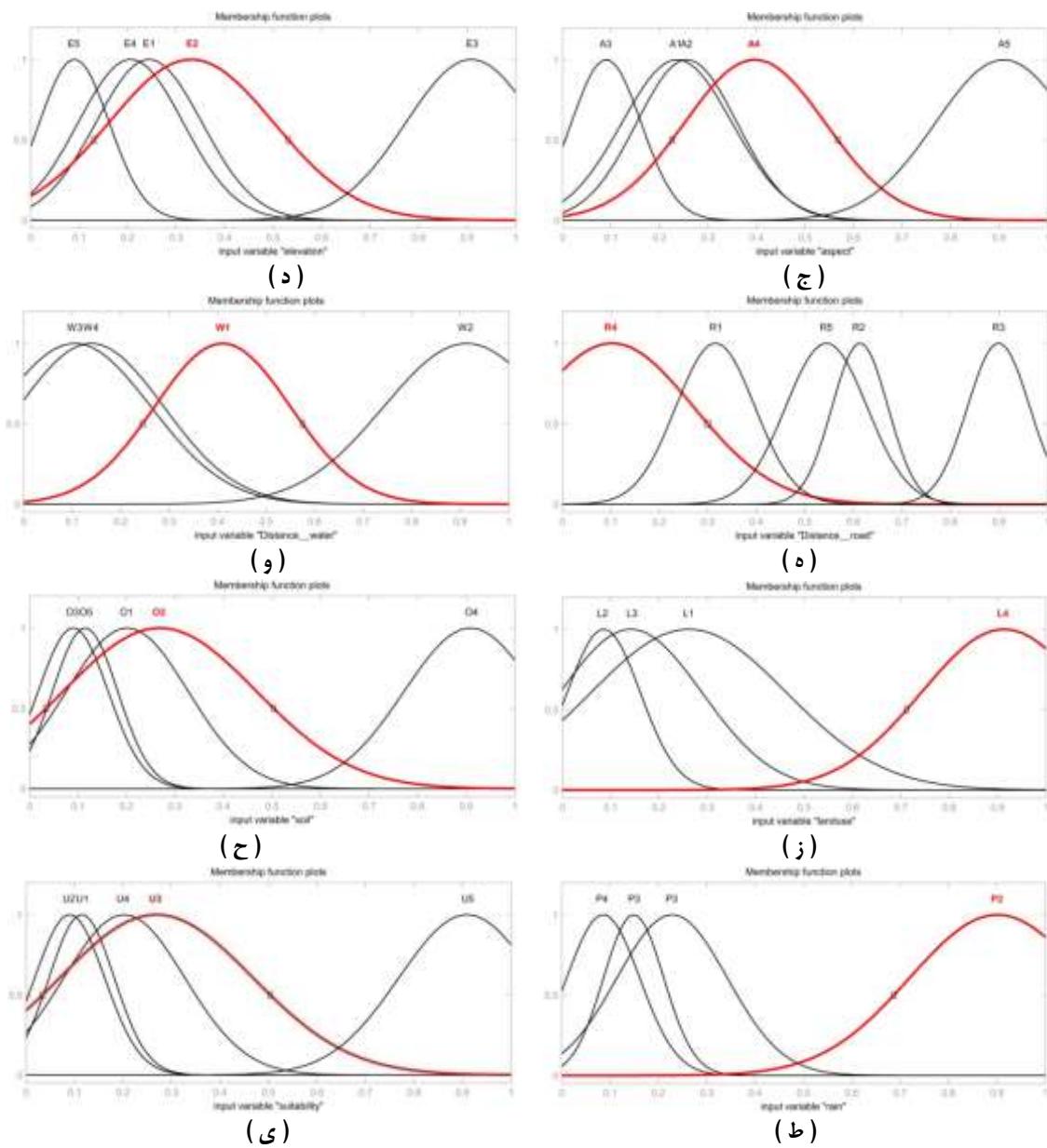
Fuzzy Membership Values	Weight	Feature	Results - Relative weights in weight order
0.9	0.201	Lithology	10
0.891	0.199	Suitability	9
0.881	0.196	Soil	8
0.621	0.137	Landuse	7
0.361	0.078	Slope	6
0.28	0.059	Rain	5
0.252	0.053	Water	4
0.175	0.035	Aspect	3
0.127	0.024	Road	2
0.1	0.018	Elevation	1



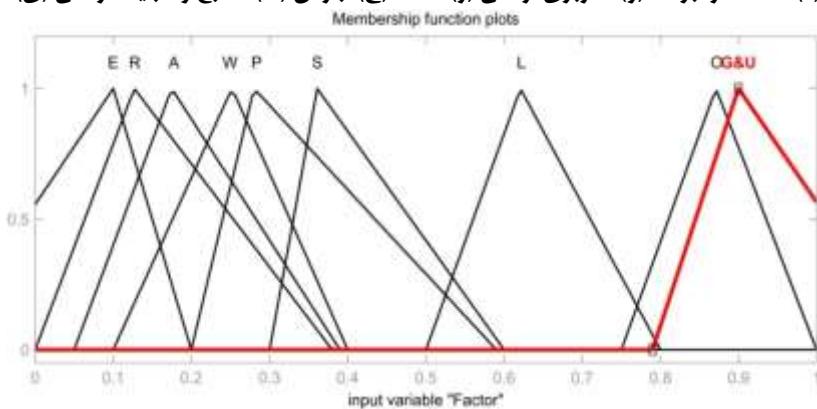


شکل ۳ : توابع عضویت فازی مثلثی طبقات عوامل سنگ شناسی (الف)، شیب (ب)، جهت شیب (ج)، ارتفاع (د)، فاصله از جاده (ه)، فاصله از آبراهه (و)، کاربری اراضی (ز)، خاک (ط)، بارش (ی)، قابلیت اراضی (ی)

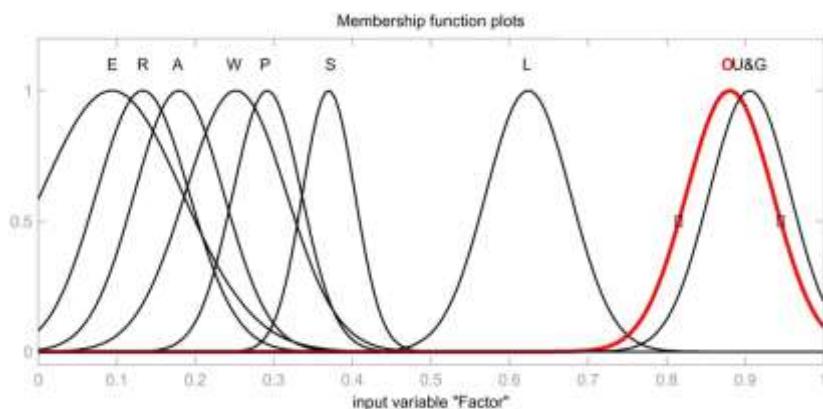




شکل ۴ : توابع عضویت فازی گوسی طبقات عوامل سنگ شناسی (الف)، شیب (ب)، جهت شیب (ج)، ارتفاع (د)، فاصله از جاده (ه)، فاصله از آبراهه (و)، کاربری اراضی (ز)، خاک (ح)، بارش (ط)، منابع و قابلیت اراضی (ی)



از چپ به راست E : ارتفاع R : فاصله از جاده A : جهت W : فاصله از آبراهه P : بارش S : شب L : خاک O : کلربری $G&U$ سنگ شناسی و قابلیت اراضی
(الف)



از چپ به راست E : ارتفاع R : فاصله از جاده A : جهت W : فاصله از آبراهه P : بارش S : شب L : خاک O : کلربری $G&U$ سنگ شناسی و قابلیت اراضی
(ب)

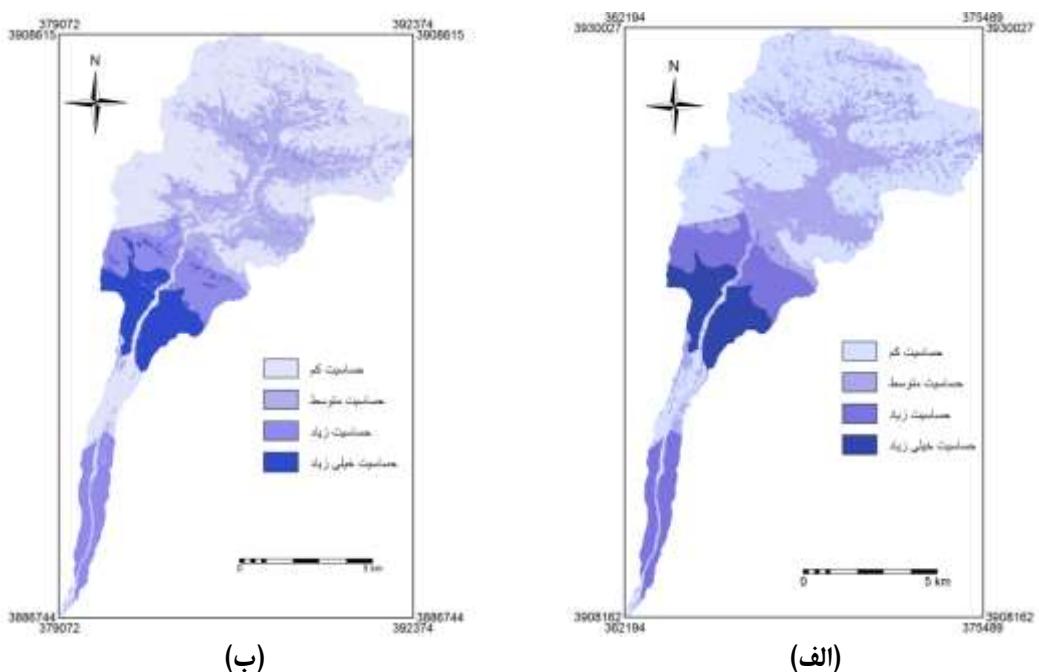
شکل ۵: تابع عضویت فازی مثلثی (الف) و گوسی (ب) عوامل تاثیر گذار

جدول ۴: ارزیابی نقشه حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده تابع عضویت فازی مثلثی

QS	DR	درصد خندق	مساحت منطقه(درصد)	طبقه حساسیت
۰/۴۱۳	۰/۰۸۳	۴/۰۵	۴۹/۳۵	کم
۰/۱۳۰	۰/۳۲۲	۹/۰۷۵	۲۸/۲۰	متوسط
۰/۰۴۴	۱/۵۵۸	۲۲/۱۹۴	۱۴/۱۴	زیاد
۳/۷۷۳	۷/۷۰۲	۶۴/۶۸۴	۸/۳۰	خیلی زیاد

جدول ۵: ارزیابی نقشه حساسیت به فرسایش خندقی با استفاده تابع عضویت فازی گوسی

QS	DR	درصد خندق	مساحت منطقه(درصد)	طبقه حساسیت
۰/۴۵۷	۰/۰۴۳	۲/۱۵۹	۴۹/۸۶	کم
۰/۱۱۱	۰/۳۵۵	۹/۴۶۷	۲۶/۷۱	متوسط
۰/۰۴۹	۱/۵۸۲	۲۳/۱۱۱	۱۴/۵۷	زیاد
۳/۶۰۳	۷/۳۶۳	۶۵/۲۶۳	۸/۸۷	خیلی زیاد



شکل ۶: نقشه حساسیت به فرسایش خنده‌ی با استفاده از تابع عضویت فازی مثلثی (الف) و با استفاده از تابع عضویت فازی گوسی (ب)

نتیجه گیری

نتایج پهنه بندی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی و تابع عضویت مثلثی نشان می‌دهد که به ترتیب $8/3$ ، $14/14$ ، $28/2$ ، $49/35$ درصد و با تابع عضویت گوسی به ترتیب $8/87$ ، $14/57$ ، $26/71$ و $49/86$ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط و کم به فرسایش خنده‌ی می‌باشد. بر اساس نتایج فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (جدول ۳) عامل سنگ شناسی با ضریب $20/1$ دارای بیشترین تاثیر و عامل ارتفاع با ضریب $18/0$ دارای کمترین تاثیر در ایجاد فرسایش خنده‌ی حوضه مراگه می‌باشد. طبقات دارای حساسیت خیلی زیاد به فرسایش خنده‌ی به ترتیب بر رسوبات آبرفتی سمت (Qt1)، اجزاء واحد اراضی شامل فلاتها و تراس‌های فوقانی، خاک‌های T.H.X، کاربری مراعع ضعیف، طبقه شبیب $23/7-26/4$ میلیمتر با دوره بازگشت دو سال، فاصله 200 متر از آبراهه و جهت‌های غرب و جنوب منطبق می‌باشند. برای شناسایی نقشه پهنه بندی حساسیت به فرسایش خنده‌ی صحیح تر و با دقت بالاتر از شاخص جمع کیفی (QS) استفاده شده است. شاخص جمع کیفی بالاتر نمایانگر جدایش بهتر بین رده‌های مختلف حساسیت می‌باشد. نقشه تهیه شده با استفاده از تابع عضویت مثلثی دارای شاخص جمع کیفی (QS)، $4/36$ و نقشه تهیه شده با استفاده از تابع عضویت گوسی دارای شاخص جمع کیفی (QS)، $4/22$ می‌باشد. بالا بودن و نزدیک بودن مقادیر شاخص جمع کیفی در این دو نقشه پهنه بندی نشان می‌دهد که هر دو تابع گوسی و مثلثی دارای قابلیت بالایی در تفکیک اراضی حساس به فرسایش خنده‌ی می‌باشند. نتایج روش اعتبارسنجی، قدرت پیش‌بینی مدل را رضایت‌بخش نشان میدهد زیرا حدود 87 تا 88 درصد از پهنه‌های خنده‌ی مربوط به داده‌های ارزیابی مدل (43 پهنه خنده‌ی)، در طبقات با حساسیت زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. با توجه به اینکه درجه حساسیت یا نرخ کلی پتانسیل وقوع فرسایش خنده‌ی (مطلوبیت فازی) در روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی فازی در دو مرحله صورت می‌گیرد، در مرحله اول برای هریک از طبقات عوامل، تابع عضویت فازی تعریف می‌شود و در مرحله دوم ارجحیت هریک از عوامل از طریق مدل AHP محاسبه و بر اساس آن برای عوامل تاثیرگذار تابع عضویت فازی تعیین می‌شود، این مدل نسبت به روش‌هایی که در آن فازی سازی در یک مرحله صورت می‌گیرد، دقت بسیار بالاتری در تهیه نقشه‌های پهنه

بندی دارد. در این پژوهش برای تعديل حساسیت خیلی بالای عملگر مینیمم و دقت خیلی کم عملگر ماکریمم از ترکیب ماکریمم- مینیمم استفاده شده است.

منابع

- باعقیده، م.، علیجانی، ب. و ضیائیان، پ. (۱۳۹۰). بررسی امکان استفاده از شاخص پوشش گیاهی *NDVI* در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، سال اول، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۰، صص ۱-۱۶
- پورقاسمی، ح. ر.، مرادی، ح. ر.، فاطمی عقدا، م.، مهدوی فر، م. ر. و محمدی، م. (۱۳۹۰). ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در تهییه نقشه خطر با استفاده از منطق فازی و روش سلسه مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره چهارم، صص ۱-۲۰
- پورقاسمی، ح. ر.، مرادی، ح. ر.، فاطمی عقدا، م.، مهدوی فر، م. ر. و محمدی، م. (۱۳۸۸). ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی فازی، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره ۸، صص ۵۱-۶۲
- پورقاسمی، ح. ر. (۱۳۸۶). ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: بخشی از حوضه آبخیز هراز) (پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دادوی راد، ع. ا.، شادرف، ص.، ابراهیمی، ن.، زاهدی پور، ج.، پور متین، ا.، آقا رضی، ج. و قدیگلو، ج.). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی: واسنجی، اعتبار یابی و تکمیل مدل پیش‌بینی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه خشک (استان مرکزی)، وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری روشن ضمیر، س. (۱۳۸۸). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی (مطالعه موردی: حوضه‌ی مراغه)، گزارش طرح تحقیقاتی، دانشگاه پیام نور شادرف، ص.، پیروان، ح. ر.، خلخالی، ع.، جعفری اردکانی، ع.، غیاثی، ن.، طباطبایی، م. ر.، عرب خدری، م.، شریفی، ا.، سر رشته داری، ا. و سپنجی، ع. (۱۳۹۰). گزارش نهایی طرح تحقیقاتی: واسنجی، اعتبار یابی و تکمیل مدل پیش‌بینی حساسیت اراضی به فرسایش خندقی در حوزه‌های آبخیز خشک و نیمه خشک (طرح ملی)، وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری شادرف، ص. (۱۳۸۹). مقدمه‌ای بر فرسایش خندقی، چاپ اول، نشر انتخاب، ۱۴۱ ص
- شمسی پور، ع. ا. و شیخی، م. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه‌بندی فازی و فرآیند تحلیل سلسه مراتبی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۵۳-۶۸
- صفاری، ا. و احذر، آ. (۱۳۹۱). مقایسه مدل نسبت فراوانی و توابع عضویت فازی در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مطالعه موردی: جاده مریوان-
- سندج، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۴، صص ۹۶-۷۹
- عیسائی، حسین، امیر حسین چرخابی و حسین اعتراف، ۱۳۸۶، بررسی ارتباط خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های لسی با اشکال فرسایشی در حوضه‌های اترک و گرگان‌رود در استان گلستان، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، صص ۶۳۷-۶۳۹
- فاطمی عقدا، س. م.، غیومیان، ج.، تشنه لب، م. و اشقلی فراهانی، ج. (۱۳۸۴). بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی - مطالعه

- موردی: منطقه روبار، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۱، صص ۴۳-۶۴
- قدوسی، ج، (۱۳۸۲). مدل سازی مرغولوژی فرسایش خنده‌ی و پهنه بندی خطر آن (مطالعه موردی در آبخیز زنجان رود) پایان نامه دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- کوره پزان دزفولی، ا. (۱۳۸۷). اصول تئوری مجموعه های فازی و کاربردهای آن در مدل سازی مسائل مهندسی آب، چاپ دوم، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۲۶۱
- گنجعلی، ن. (۱۳۸۸). بررسی عوامل موثر بر فرسایش خنده‌ی و پهنه بندی آن در منطقه نیزار قم، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه زابل
- مهدوی فر، م. ر. (۱۳۷۶). پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه خوش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۴ ص
- مهدوی فر، م. ر. (۱۳۷۹). برنامه های محاسبه پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مجموعه های فازی، چاپ نشده
- مهدوی فر، م. ر. و فاطمی عقدا، م. (۱۳۷۶). کاربرد تحلیل مجموعه های فازی در پهنه بندی خطر زمین لغزش و شرح سیستم کامپیوتی تهیه شده، مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارت آن. موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله صص ۱۴۵-۱۳۷
- ناجی، س. (۱۳۸۵). پهنه بندی خطر زمین لغزش در محور ساری- کیاسر، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی. دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸۵ ص

- Bouchnak, H., Sfar Felfoul, M., Boussema, M.R., Snane, M.H., (2009). Slope and rainfall effects on the volume of sediment yield by gully erosion in the Souar lithologic formation (Tunisia). *Catena* 78, 170–177
- Capra, A., Porto, P., Scicolone, B., (2001). Relationships between rainfall characteristics and ephemeral gully erosion in a cultivated catchment in Sicily (Italy). *Soil & Tillage Research* 105 (2009) 77–87
- Chaplot, V., Giboire, G., Marchand, P., Valentin, C., 2005. Dynamic modelling for linear erosion initiation and development under climate and land-use changes in northern Laos. *Catena* 63, 318–328.
- Conforti, M., Aucelli, P.P.C., Robustelli, G., Scarciglia, F.(2011). Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo Stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural Hazards* 56, 881–898.
- Dlapa, P., Chrenková, K., Mataix-Solera, J., Šimkovic, I.(2011). Soil profile improvement as a by-product of gully stabilization measures. *Catena* 92 (2012) 155–161
- Gabris, Gy., Kertesz, A., Zambo, L., (2003). Land use change and gully formation over the last 200 years in a hilly catchment. *Catena* 50, 151–164
- Hajeb, A., (2007). Cation Exchange Capacity. Hajeb. Blogfa.com
- Kompani-Zare, M., Soufi, M., Hamzehzarghani, H., Dehghani., M., (2011). The effect of some watershed, soil characteristics and morphometric factors on the relationship between the gully volume and length in Fars Province, Iran. *Catena* 86, 150–159
- Lucà, F., Conforti, M., Robustelli, G., (2011). Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology* 134,
- 297–308
- Mahdavifar, M.R., and Fatemi Aghda, S.M. (2002). Application fuzzy sets analysis in landslide hazard zonation and description provided computer system, Proceeding 2st landslide and its increase
- Munshower F.F. (1994). Practical handbook of disturbed land revegetation Lewis, Boca Raton [etc].

- disasters, *International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES)*, pp: 137- 145
- Nazari Samani, A., Ahmadi, H., Jafari, M., Boggs, G., Ghoddousi, J., Malekian, A., (2009). *Geomorphic threshold conditions for gully erosion in Southwestern Iran (Boushehr-Samal watershed)*. Journal of Asian Earth Sciences 35, 180–189
- Nearing, M.A., 2001. Potential changes in rainfall erosivity in the US with climate change during the 21(st) century. *Journal of Soil and Water Conservation* 56 (3), 220–232.
- Nyssen, J., Poesen, J., Moeyersons, J., Luyten, E., Veyret Picot, M., Deckers, J., Mitiku, H., Govers, G., (2002). Impact of road building on gully erosion risk, a case study from the northern Ethiopian highlands.
- Earth. *Surface Processes and Landforms* 27 (12), 1267– 1283.
- Osman Salleh, K., F Mousazadeh, F., (2011). *Gully erosion in semiarid regions*. Procedia Social and Behavioral Sciences 19, 651–661
- Poesen, J., Nachtergale, J., Vertstraeten, G., Valentin, C., (2003). *Gully erosion and. Importance and research needs*. Catena 50 (2–4), 91– 134.
- Shahrivar, A., Sung, C.T., Jusop, S., Rahm, A.A., Soufi, M. (2012). *Roles of SAR and EC in Gully Erosion Development (A Case Study of Kohgiloye va Boyerahmad Province, Iran)*. Journal of Research in Agricultural Science Vol. 8, No. 1, Pages: 1- 12
- Strunk, H., (2003). *Soil degradation and overland flow as causes of gully erosion on mountain pastures and in forests*. Catena 50, 185– 198
- Vanacker, V., Vanderschaeghe, M., Govers, G., Willems, E., Poesen, J., Deckers, J., De Bievre, B., 2003. *Linking hydrological, infinite slope stability and land-use change models through GIS for assessing the impact of deforestation on slope stability in high Andean watersheds*. Geomorphology 52, 299–315
- Valentin, C., Poesen, J., Li, Y., (2005). *Gully erosion: impacts, factors and control*. Catena 63, 132–153.
- Van Oost, K., Govers, G., Desmet, P., 2000. *Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage*. Landscape Ecology 15, 577–589.
- Vanwalleghem, T., Poesen, J., Nachtergaele, J., Verstraeten, G., (2005). *Characteristics, controlling under factors and importance of deep gullies cropland on loess-derived soils*. Geomorphology 69, 76– 91
- Vanwalleghem, T., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Govers, G., Deckers, J., (2007). *Spatial analysis of factors controlling the presence of closed depressions and gullies under forest: Application of rare event logistic regression*. Geomorphology 95, 504–517
- Zucca, C., Canu, A., Della Peruta, R., (2006). *Effects of land use and landscape on spatial distribution and morphological features of gullies in an agro-pastoral area in Sardinia (Italy)*. Catena 88, 87–95.