تحلیل توسعه کاربری‌های شهری در مناطق لغزشی با استفاده از تلفیق مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مطالعه موردی: حوضه رود - دره فرحزاد

دریافت مقاله:۹۰/۷/۳ پذیرش نهایی: ۹۰/۹/۲۲

صفحات: ۱۰۷- ۸۵

امیر صفاری: استادیار دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه تربیت معلم تهران[1]

Email: safari@tmu.ac.irEmail:

جعفر موسی‌وند: کارشناس‌ارشدجغرافیا و برنامه‌ریزی‌شهری‌دانشگاه‌تربیت‌معلم تهران

Email: mosavand۶۶@gmail.com

سید مروت افتخاری: کارشناس ارشد آموزشی دانشگاه تربیت معلم تهران

Email:eftekhari@yahoo.com

چکیده

مخاطرات محیطی همواره موجب تغییراتی در شرایط زیست محیطی سکونتگاه‌های انسانی شده و خسارت‌های گسترده‌ای را بر جوامع بشری تحمیل می‌نماید. همجواری سامانه‌های شهری با مناطق پایکوهی و شیب‌های تند طبیعی در حوضه‌های کوهستانی، آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی را افزایش داده است. حوضه کوهستانی رود ـ دره فرحزاد یکی از مناطق شهری- کوهستانی کلان شهر تهران است که در معرض آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی قرار دارد. در این مقاله با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب پذیری ناشی از حرکات زمین لغزش، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌ها با استفاده از تلفیق مدل‌های وزن دهی چند معیاره انجام شده است. پس از بررسی در مورد ویژگی‌های طبیعی حوضه مطالعاتی و بازدید میدانی، شش عامل و متغیر مستقل شامل عوامل سنگ شناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، فاصله از گسل‌ها و فاصله از شبکه زهکشی به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه انتخاب شده است. نقشه‌ها در محیط نرم‌افزاری Arc GIS توسط عملگرهای فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تولید شده است. به منظور تحلیل بین آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش‌ها و طبقات توسعه یافته شهری، نقشه کاربری زمین در حوضه با نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر همپوشانی داده شد. نتایج نشان داد که از حدود ۱۳,۲ درصد مساحت محدوده مورد مطالعه (۳,۰۳۹۵۹۶ کیلومترمربع) که توسط

---

۱. نویسنده مسئول: تهران- خیابان شهید مفتح- دانشگاه تربیت معلم- دانشکده علوم جغرافیایی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

کاربری‌های مختلف شهری اشغال گردیده است، ۸۷،۶۶ درصد در محدوده با خطر کم و بسیار کم، ۳،۳۶ درصد در محدوده با خطر متوسط و ۸،۹۶ درصد در محدوده با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد.

کلیدواژگان: ژئومورفولوژی، مناطق‌شهری، توسعه، زمین‌لغزش، کلان‌شهر تهران.

مقدمه

مخاطرات محیطی موجب تغییراتی در شرایط زیست محیطی سکونتگاه‌های انسانی شده و خسارت‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی گسترده‌ای را بر جوامع بشری تحمیل می‌نماید. بسیاری از مناطق شهری و روستایی کشور ما در مناطق پایکوهی و برروی سطوح مخروط افکنه‌ای احداث شده و با توجه به فعالیت‌های نو زمین ساختی و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، مستعد رویارویی با انواع مخاطرات محیطی شده است. یکی از انواع مخاطرات محیطی، فرآیند زمین لغزش است که هر ساله موجب خسارت‌های حیاتی به شهرها و روستاها، مراکز صنعتی، جنگل‌ها و مراتع و به ویژه مزارع گشته و یا آنها را مورد تهدید قرار می‌دهد (کمک‌پناه، ۱۳۷۰، ص ۱۲۱). این حرکات براساس تلفیقی از فرآیندهای مختلف در مناطق با توپوگرافی کوهستانی و با لیتولوژی رسوبی رخ می‌دهد و ممکن است به شکل حرکات سریع و یا کند به وقوع بپیوندد (مقیمی و همکاران،۱۳۸۷، ص ۶۱).

همجواری سامانه‌های شهری با مناطق پایکوهی و شیب‌های تند طبیعی در حوضه‌های کوهستانی کلان شهر تهران، آسیب‌پذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی را در گستره شمالی این کلان شهر افزایش داده است. عدم ارزیابی دقیق سطوح مختلف این خطر، سبب گسترش ساخت و ساز در پهنه‌های نا امن نیز شده است. در این بخش‌ها به علت وجود شیب‌های تند، تغییرات شدید توپوگرافی، فعالیت‌های زمین‌ساختی، گسلش و وجود زون‌های خرد شده، بارندگی و آب‌های سطحی فراوان، آب و هوای سرد و یخبندان‌های زمستانی، خطر وقوع انواع مختلف زمین‌لغزه‌ها بسیار زیاد است. وقوع زمین‌لغزش‌ها در چند سال اخیر در مناطق شمالی و شمال شرقی کلان شهر تهران و ایجاد خسارت‌های ناشی از این پدیده، لزوم توجه بیش از پیش به شناسایی و تعیین مناطق آسیب‌پذیر و همچنین پیش‌بینی تمهیدات لازم برای جلوگیری از وقوع آنها را الزامی می‌نماید. از سوی دیگر وقوع زمین لغزش‌ها معمولاً در اثر زلزله تشدید شده، که این موضوع نیز می‌تواند بر شدت خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها بیافزاید(صفاری، ۱۳۸۷، ص ۱۵۴). حوضه کوهستانی رود دره فرحزاد با مساحت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

حدود ۲۳ کیلومترمربع یکی از مناطق شهری- کوهستانی است کـه در معـرض آسـیب‌پـذیری ناشی از حرکات دامنه‌ای از نوع لغزشی قرار دارد (شکل شـماره ۱). ایـن مقالـه درصـدد پاسـخ گویی به این سوال است که چند درصد از کاربری‌های شهری واقـع در ایـن حوضـه در معـرض خطر این آسیب‌پذیری قرار دارد؟

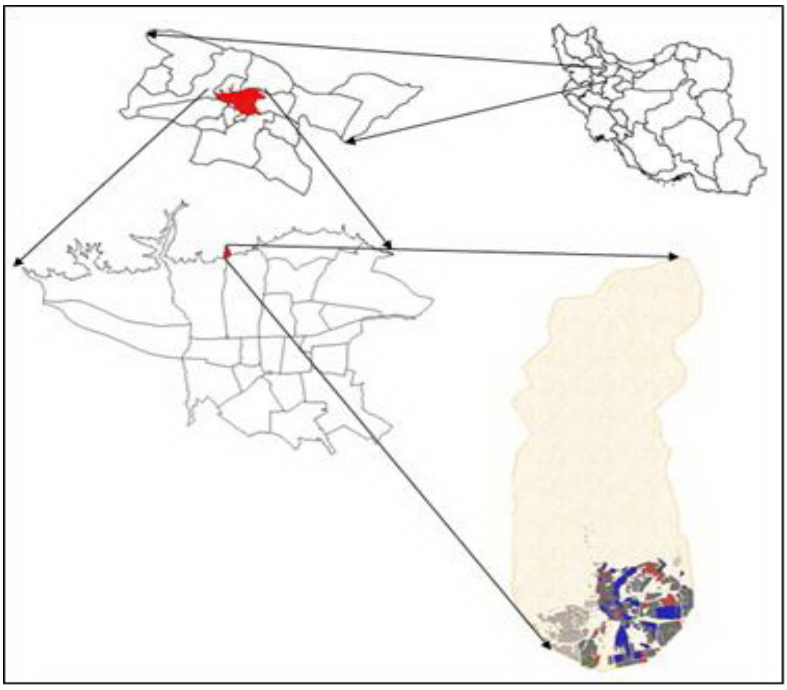
روش‌های اولیه مانند متدهای مورد استفاده آنبالاگان[۱]، پاچوری و پانت[۲] و مجیا نـاوارو[۳]، بـه طور عمده بر اساس تحلیل همپوشانی نقشه‌های عاملی، وزن‌دهی و ترکیـب آنهـا اسـتوار بـوده است. در سال‌های اخیر نیز تحقیقات با ارزش در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بـر اسـاس روش‌های آمـاری چنـد متغیـره، بـا اسـتفاده از داده‌هـای سـنجش از دور و سیـستم اطلاعـات جغرافیایی و ارایه مدل‌های کمی به کشف روابط بین وقوع حرکات تـوده‌ای و متغیرهـای مـورد نظرپرداخته است(کرمی و همکاران، ۱۳۸۶، ص۳). باتوجه به اینکه ازبین انواع‌مخاطرات‌طبیعی، پدیده زمین لغزش مدیریت‌پذیرتر می‌باشد، لذا جهت استفاده بهینه از محیط طبیعـی و منـابع موجود در آن و همچنین برای ایجاد تاسیسات اقتصادی و زیربنایی، با شناخت کامل از محـیط و با اعمال مدیریت صحیح در استفاده از آن، می‌تـوان نـسبت بـه تـشدید و تـسهیل لغـزش‌هـا جلوگیری نموده و با برنامه‌ریزی دقیق و درک شرایط طبیعی حاکم بر محیط به ساخت و ایجاد تاسیسات‌زیربنایی‌اقدام‌کرد(امیراحمدی و همکاران،۱۳۸۹، ص۱۸۳). پهنه‌بندی‌خطرزمین لغزش با استفاده از مدل‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی نیز توسط محققین مختلف از جمله مهدوی فر و همکاران (۱۳۷۶)، فاطمی‌عقدا و همکاران(۱۳۸۴)، پورقاسمی و همکاران (۱۳۸۸)، باینـاجی و همکاران (۱۹۹۸)[۴] ، چـای و همکـاران (۲۰۰۲)[۵]، پیـستوچای و همکـاران (۲۰۰۲)[۶]، تنگستانی (۲۰۰۳)، کومک(۲۰۰۶)[۷]، چامپاتی ری (۲۰۰۷)[۸] و لی (۲۰۰۷)[۹] انجام شده است.

---

[۱] - Anbalagan
[۲] - Pachauri & Pant
[۳] - Megia- Navarru
[٤] - Binaghi et.al.(۱۹۹۸)
[٥] - Chi et.al.(۲۰۰۲)
[٦] - Pistocchi et.al.(۲۰۰۲)
[۷] - Komac(۲۰۰٦)
[۸] - Champati- ray et.al.(۲۰۰۷)
[۹] - Lee(۲۰۰۷)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

بر این اساس، در این مقاله با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تلفیق مدل‌های وزن‌دهی چند معیاره صورت گرفته است.



شکل (۱) موقعیت محدوده مورد مطالعه

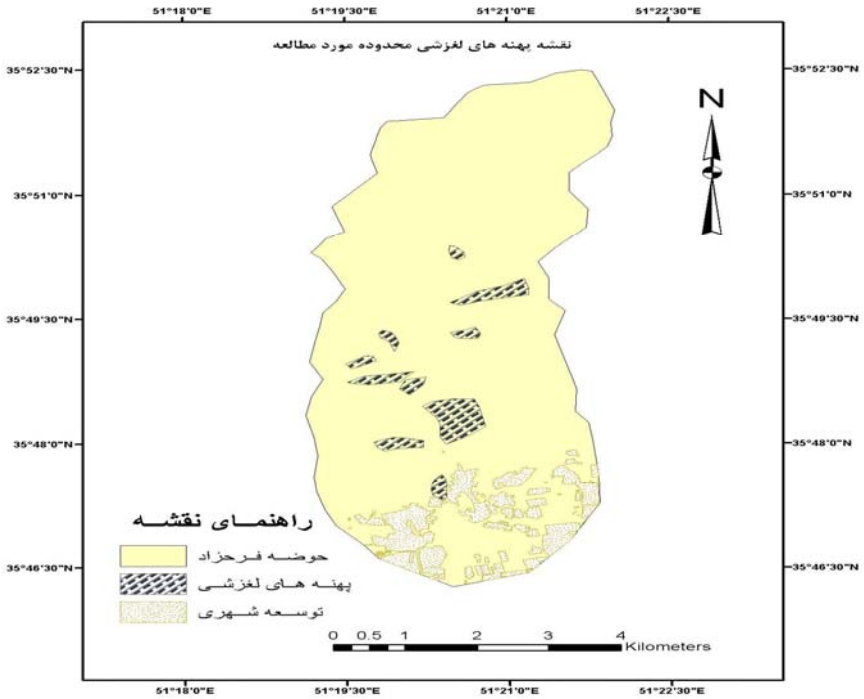
مواد و روش ها

در این مقاله با هدف تحلیل ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب پذیری ناشی از حرکات زمین‌لغزش در حوضه رود دره فرحزاد، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌ها با استفاده از تلفیق مدل‌های وزن دهی چند معیاره انجام شده است. در ابتدا محدوده مورد مطالعه با استفاده از روش تفکیک و طبقه‌بندی و به کمک نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سال ۱۳۸۰ سازمان نقشه‌برداری کشور تعیین حدود گردید؛ سپس با تفسیر عکس‌های هوایی منطقه و بازدیدهای میدانی، زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه با دستگاه موقعیت یاب جهانی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

(GPS)[۱] برداشت و در نهایت نقشه زمین لغزش‌های رخ داده به عنوان نقشه متغیر وابسته تهیه شد (شکل ۲).

پس از بررسی در مورد ویژگی‌های طبیعی حوضه مطالعاتی، بازدید میدانی، مطالعه زمین لغزش‌های رخ داده در آنها، تهیه پایگاه داده‌های جغرافیایی، با توجه به اهداف تحقیق و استفاده از تجارب متخصصین، شش عامل و متغیر مستقل شامل عوامل سنگ شناسی، ارتفاع، شیب دامنه‌ها، جهت دامنه‌ها، فاصله ازگسل‌ها و فاصله از شبکه زهکشی به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه انتخاب و به شکل نقشه‌های فاکتور در نرم افزار مورد استفاده (Arc GIS) ساخته شدند. اطلاعات پایه‌ای این نقشه‌ها از طریق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده مورد مطالعه استخراج گردیده است.



شکل (۲) نقشه پهنه‌های لغزشی محدوده مورد مطالعه

[۱] - Global Positioning System

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه‌های فاکتور به منظور تحلیل نهایی در عملگرهای فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرند. قابل ذکر است که جهت دست یابی به وزن نهایی در مدل AHP از نرم افزار Expert Choice ۲۰۰۰ استفاده شده است.

مدل منطق فازی

مفهوم منطق فازی اولین بار توسط دکتر لطفی زاده استاد دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، در سال ۱۹۶۵ ارائه گردید. منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن، علاوه بر اختیار اعداد صفر یا یک می‌توانند تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز اختیار کنند. تعلق هر عضو مجموعه مرجع به یک عضو زیر مجموعه خاص، به صورت قطعی نیست، یعنی با قاطعیت نمی‌توان گفت که عضو مورد نظر متعلق به این مجموعه هست یا نه. این عدم قطعیت با نسبت دادن یک عدد بین صفر یا یک به این عضو انجام می‌گیرد(Karnik and Mendel, ۲۰۰۰: ۳۲۸, ۳۲۹). به این

اپراتورهای مدل منطق فازی مشتمل بر موارد زیر هستند:

الف) عملگر اجتماع فازی[۱] ب) عملگر اشتراک فازی[۲] ج) عملگر ضرب جبری فازی[۳]

د) عملگر جمع جبری فازی[۴] ی) عملگر گاما فازی[۵]

عملگر اجتماع فازی:

این عملگر اجتماع مجموعه هاست. به این صورت که حداکثر درجه‌ی عضویت را استخراج می‌کند و از دقت بالایی در تعیین آسیب‌پذیری برخوردار نمی‌باشد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu \text{ Combination} = \text{MAX}\ [\mu A, \mu B, \mu C,]$$

عملگر اشتراک فازی:

این عملگر اشتراک مجموعه هاست. به این صورت که حداقل درجه‌ی عضویت را استخراج

[۱]- Fuzzy OR
[۲]- Fuzzy AND
[۳]- Fuzzy Algebraic Product
[۴]- Fuzzy Algebraic Sum
[۵]- Fuzzy Gamma

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

می‌کند، یعنی در بین کلیه لایه‌های اطلاعاتی حداقل ارزش (وزن) هر پیکسل را استخراج کرده و در نقشه نهایی منظور می‌کند .این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$\mu combination = MIN\ [\mu A, \mu B, \mu C,]$

عملگر ضرب جبری فازی:

در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه فازی می‌باشد، این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک تر شده و به سمت صفر میل کنند؛ در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرارمی‌گیرد. (قدوسی ،۱۳۸۲، ص ۴۵). این عملگر به صورت رابطه‌ی زیر تعریف می‌شود:

$$\mu Combination = \Pi \mu i$$

عملگر جمع جبری فازی:

این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبری است. به همین دلیل در نقشه خروجی برخلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu Combination = 1 - \Pi(1 - \mu i)$$

عملگر گاما فازی:

این عملیات برحسب حاصلضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu Combination = [1 - \Pi(1 - \mu i)\gamma \times (\Pi \mu)1 - \gamma]$$

توابع گاما از ۰/۱ تا ۰/۹ متغیر است. مقدار گاما به طور کلی از طریق کارشناسی مبتنی بر نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده شده یا تجربیات موجود درباره موضوع مورد بررسی تعیین و یا از طریق آزمون‌های سعی و خطا در تطبیق با شواهد واقعی می‌گردد. از این رو استفاده از عملگر گاما موجب دست‌یابی به خروجی‌هایی می‌شود که می‌توان مناسب‌ترین مقادیر γ را در تطبیق با واقعیت‌ها و در مقایسه با خروجی‌های‌حاصل از به‌کارگیری سایر عملگرها، مشخص نمود. زیرا انتخاب مناسب‌ترین خروجی به صورت حالت میانه مقایسه‌ای بین مقادیر حداکثر یا حداقل عضویت و اشتراک هر یک از زیر مجموعه‌ها که به ترتیب تاثیرات افزایشی و کاهشی در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تلفیق موارد مورد نظر و خروجی‌ها دارند، به دلیل امکان در نظر گرفتن مقادیر مختلف برای تمامی گاما میسر می‌باشد. علت این موضوع به ساختار تابع گاما بر می‌گردد. زیرا به ازای مقادیر $\gamma = 1$ و $\gamma = 0$مقدار خروجی‌ها به ترتیب مساوی مقادیر حاصل از توابع جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی خواهد بود(عبادی نژاد و همکاران، ۱۳۸۶، ص۴۳). انتخاب صحیح و آگاهانه γ بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگرجمع و ضرب فازی می‌باشند. این عملگر زمانی استفاده می‌شود که اثر برخی شواهد کاهشی و اثر برخی افزایشی باشد (امیری، ۱۳۸۶، ص۶۰).

مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP

از اوایل دهه ۸۰ میلادی آنچه که دانشمندان علم مدیریت به آن توجه ویژه نمودند، در نظر گرفتن بیش از یک معیار یا گزینه برای هر مسأله و نیز مؤثردانستن معیارهای کیفی در کنار معیارهای کمی در تصمیم‌گیری‌ها بود. از این رو محققی به نام توماس ال ساعتی در دهه ۸۰ میلادی به منظور سیستماتیک نمودن تصمیم سازی در شرایطی که تلفیقی از معیارهای کمی و کیفی مد نظر است و مدیران علاقمند نظرات و تجربیات شخصی خود را در تصمیم اعمال نمایند، فرآیند تحلیلی سلسله مراتبی را به عنوان یکی از شاخه‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه ابداع نمود (احمدی، ۱۳۸۰، ص۵).

همچنین، AHP روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، مورد استفاده قرار می‌گیرد که تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف از جمله برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای داشته است (زبردست،۱۳۸۰). این تکنیک یکی از کارآمدترین مدل‌های تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی چند متغیره است که علاوه بر این ویژگی‌های خاصی‌را نیز بدان می‌افزاید. یک مسأله زمانی می‌تواند یک تصمیم‌گیری چند متغیره باشد که در شرایط زیر صدق نماید (تقوایی و همکاران، ۱۳۸۵):

الف) دارای چند شاخص باشد ب) هدف، اولویت‌بندی گزینه‌ها یا انتخاب گزینه‌ها برتر از میان چند گزینه باشد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

تجزیه و تحلیل

- تهیه نقشه های فاکتور

پس از شناسایی و آماده سازی کلیه معیارها و عوامل موثر در آسیب‌پذیری زمین لغزش، در این مرحله لازم است نقشه‌های فاکتور هریک از لایه‌ها آماده شود. آماده سازی نقشه‌های فاکتور مشتمل بر دو مرحله پردازش و وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد. برای این منظور از روش معمول پردازش داده‌ای موجود در GIS مانند تبدیل ساختار برداری به ساختار رستری، ترکیب چند لایه به صورت یک لایه، تهیه نقشه آنالیز و طبقه‌بندی مجدد و ... استفاده می‌شود.

- تهیه نقشه فاکتور فازی

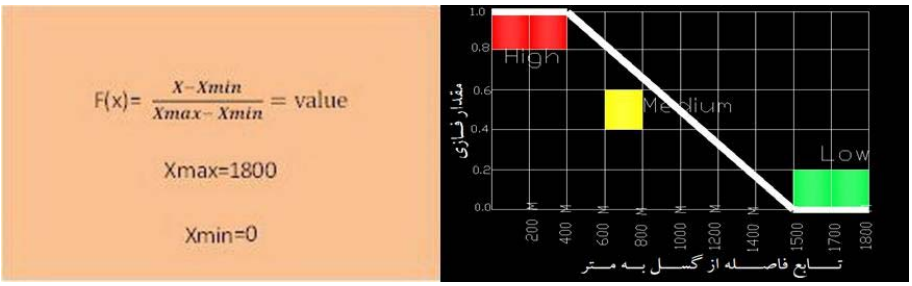
در این مرحله وزن‌دهی در هر یک از زیر معیارها (فاکتورها) بر اساس تاثیر نسبی که در تعیین درجه آسیب زمین‌لغزش دارند با استفاده از منطق فازی انجام می‌شود. در هر نقشه فاکتور فازی، ارزش هر یک از کلاس‌ها و واحدهای مکانی موجود با درجات عضویت فازی حد واسط بین صفر تا یک نشان داده می‌شود. به منظور تهیه نقشه فاکتور فازی در این پژوهش با تعریف توابع خطی و با توجه به اثر مثبت و یا منفی هر پارامتر و در نظر گرفتن معیارها و ضوابط ارئه شده، دستوراتی در نرم افزار GIS و با استفاده از ابزار Raster Calculator نوشته و اجرا شده است. در نهایت خروجی حاصل از هر مرحله، لایه رستری است که برای هر لایه اطلاعاتی بر اساس طبقه‌بندی و ضوابط تعریف شده، ارزش‌هایی بین صفر و یک در نظر گرفته شده است. نقشه‌های فاکتور به تفکیک هر یک از لایه‌ها به شرح زیر نمایش داده شده است.

- لایه گسل

لایه گسل‌های موجود در محدوده فرحزاد بر مبنای فاصله (Distance) از محدوده و عوارض، ابتدا رستری شده و سپس به نقشه فاکتور فازی، بر مبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است.

شکل شماره ۹ (الف) مقدار فازی شده فاصله از گسل‌های موجود را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که بیشترین فاصله از گسل ۱۸۰۰ متر و کمترین برابر با صفر متر بوده است. مقدار فازی آن برای ۱۸۰۰متر برابر با صفر در نظر گرفته شد. بیشترین مقدار فازی یک است که در فواصل صفر و نزدیک به آن است. تابع این لایه به صورت خطی کاهشی است. در شکل شماره ۳ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

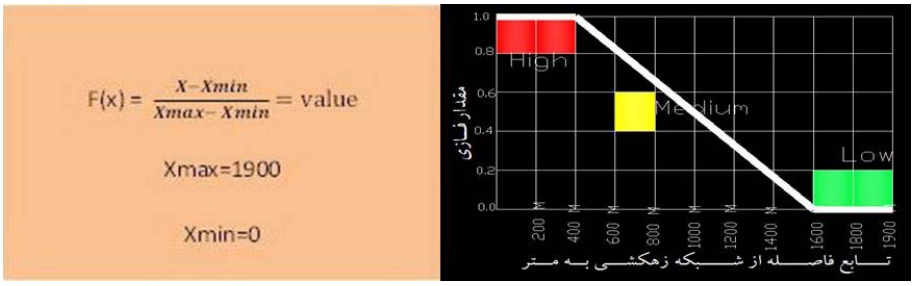


شکل (۳) فرمول و تابع فاصله از شبکه گسل (خطی کاهشی)

لایه شبکه زهکشی

لایه شبکه زهکشی موجود در محدوده فرحزاد نیز برمبنای فاصله (Distance) از منطقه و عوارض، ابتدا رستری شده و سپس به نقشه فاکتور فازی، بر مبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است.

شکل ۹ (ب) مقدار فازی را برای شبکه زهکشی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که بیشترین فاصله از شبکه زهکشی۱۹۰۰ متر و کمترین برابر با صفر متر بوده است. مقدار فازی آن نیز برای۱۹۰۰ برابر با صفر و بیشترین مقدار فازی یک است که در فواصل صفر و نزدیک به آن است. تابع آن به صورت خطی کاهشی است. در شکل شماره ۴ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است.



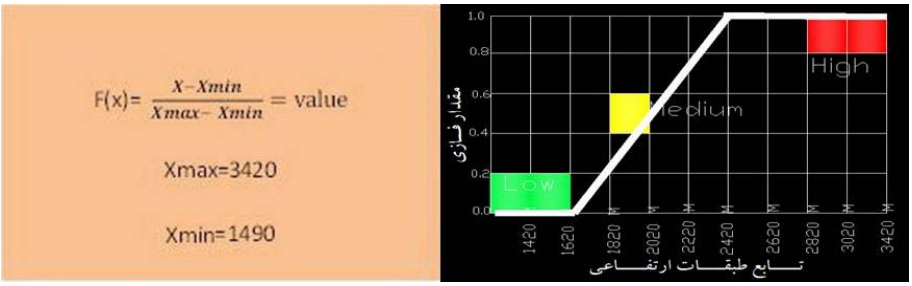
شکل (۴) فرمول و تابع فاصله از شبکه زهکشی (خطی کاهشی)

- لایه طبقات ارتفاعی

لایه طبقات ارتفاعی‌در محدوده فرحزاد برمبنای میزان ارتفاع ، ابتدا رستری شده و سپس به نقشه فاکتور فازی، بر مبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

شکل ۹ (ج) مقدار فازی برای طبقات ارتفاعی را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که بیشترین ارتفاع برابر۳۴۲۰متر و کمترین برابر با ۱۴۹۰ متر بوده است. مقدار فازی آن نیز برای ۱۴۹۰ برابر با صفر و بیشترین مقدار فازی یک است که ارتفاع ۳۴۲۰ متر و نزدیک به آن است. تابع آن به صورت خطی افزایشی است. در شکل شماره ۵ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است.



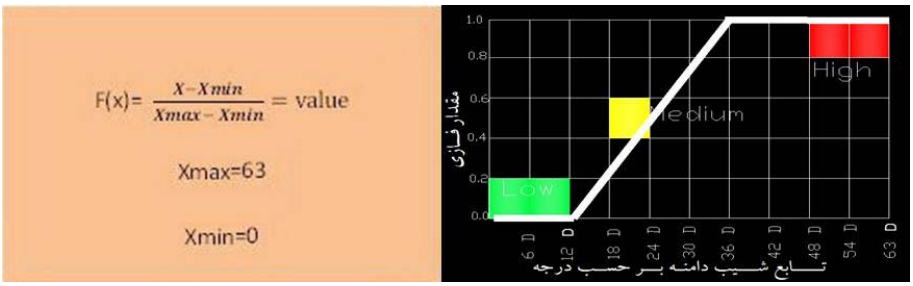
شکل (۵) فرمول و تابع طبقات ارتفاعی (خطی افزایشی)

-لایه شیب دامنه

لایه شیب دامنه در محدوده مورد مطالعه برمبنای درجات شیب، ابتدا رستری شده است و سپس به نقشه فاکتور فازی، برمبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است.

شکل شماره ۹ (د) مقدار فازی برای شیب دامنه را نشان می‌دهد. بدین ترتیب که بیشترین درجه شیب برابر۶۳ درجه و کمترین برابر با صفردرجه بوده است. مقدار فازی آن نیز برای صفر درجه برابر با صفر و بیشترین مقدار فازی یک است که ۶۳ درجه و نزدیک به آن است. تابع آن به صورت خطی افزایشی است. در شکل شماره ۶ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۶) فرمول و تابع شیب دامنه (خطی افزایشی)

- لایه جهت شیب

لایه جهت شیب در محدوده فرحزاد بر مبنای جهات آن، ابتدا رستری شده و سپس به نقشه فاکتور فازی، بر مبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است.

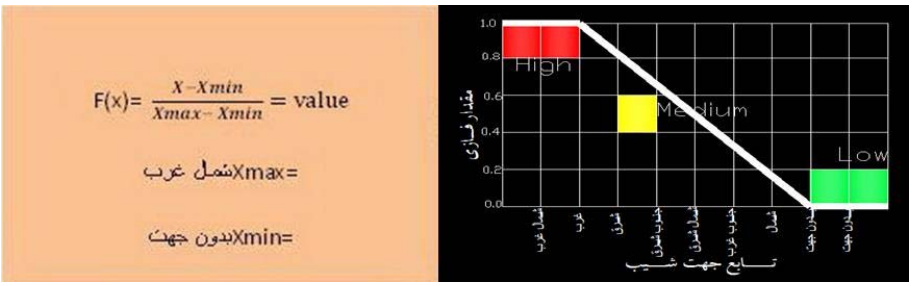
شکل شماره ۹ (ه) مقدار فازی برای جهات مختلف شیب را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار فازی برای جهت شیب شمال غرب که برابر با یک و کمترین مقدار فازی برای بدون جهت شیب است. تابع آن به صورت خطی کاهشی بوده که در شکل شماره ۷ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است. قابل ذکر است که در این لایه از وزن‌های محاسبه شده طبقات با توجه به مدل LIM (صفاری، ۱۳۸۸، ص۶۳) استفاده شده است.

در مدل تحلیل آماری "روش شاخص زمین‌لغزش" (LIM) وزن‌دهی بر اساس میزان تراکم هر واحد یا طبقه لایه عاملی در پهنه‌های لغزش یافته صورت می‌گیرد. این مدل مبتنی بر رابطه زیر می‌باشد(وان‌وستن و ترلین, ۱۹۹۶, ص ۸۵۹).

$$wi = ln\left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum NPix(Si)}{\sum NPix(Ni)}}\right]$$

که در آن: w_i = وزن نهایی هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $Npix(Si)$ = فراوانی لغزش‌ها در هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $Npix(Ni)$ = فراوانی هر واحد یا طبقه از لایه عاملی، $\sum NPix(Si)$ = فراوانی کل لغزش‌ها درحوضه‌های زهکشی، $\sum NPix(Ni)$ = فراوانی کل حوضه‌های زهکشی و ln = لگاریتم نپرین می‌باشد. متغیرهای کیفی با استفاده از این روش کمی می‌شوند. استفاده از لگاریتم نپرین که نوعی تغییر متغیر محسوب می‌شود، باعث شده تا جزئی‌ترین عوامل موثر در وقوع حرکت‌های لغزشی در پهنه‌بندی پتانسیل خطر تاثیر نماید.

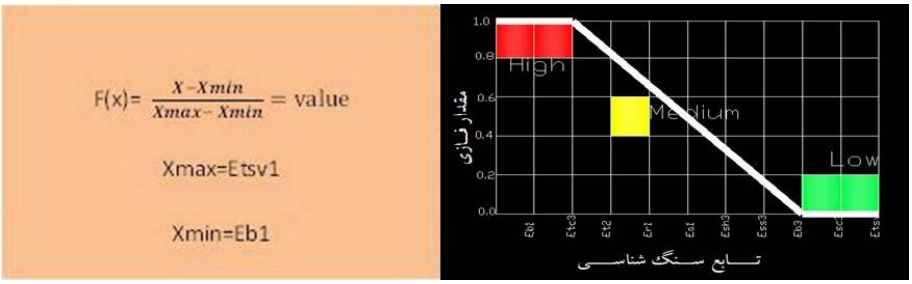
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۷) فرمول و تابع جهت شیب (خطی کاهشی)

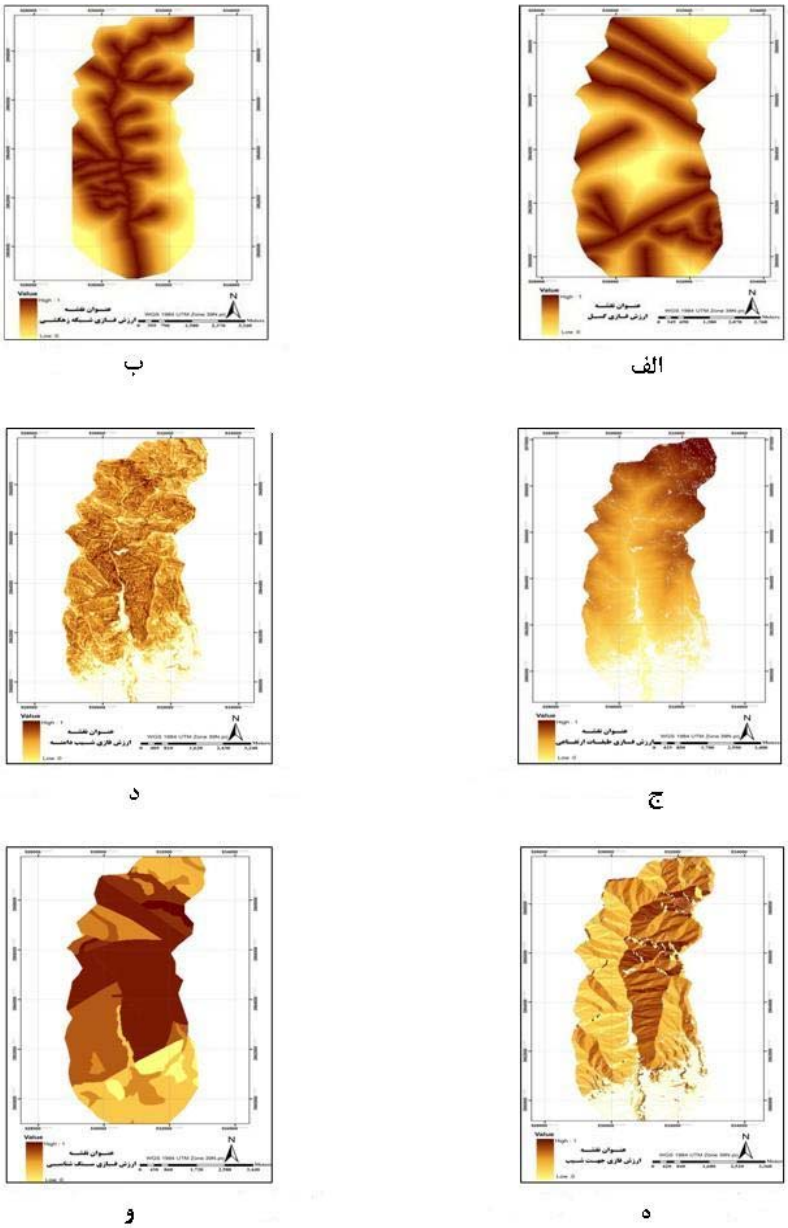
- لایه سنگ شناسی

لایه سنگ شناسی در محدوده بر اساس نوع سنگ، ابتدا سلولی شده و سپس به نقشه فاکتور فازی، بر مبنای وزن صفر و یک تبدیل شده است. شکل شماره ۹ (و) مقدار فازی برای انواع سنگ را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار فازی برای Etsv۱ (توف‌های سبز رنگ همراه با شیل) که برابر با یک و کمترین مقدار فازی برای لایه سنگی Eb۱ (گدازه‌های آندزیتی- بازالتی با رگه‌های سیلیسی) است. تابع آن به صورت خطی کاهشی بوده که در شکل شماره ۸ فرمول محاسبه و شکل تابع نشان داده شده است. قابل ذکر است که در این لایه نیز از وزن‌های محاسبه شده طبقات با توجه به مدل LIM (صفاری، ۱۳۸۸، ص۶۳) استفاده شده است.



شکل (۸) فرمول و تابع جهت سنگ شناسی(خطی کاهشی)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۹) نقشه‌های ارزش فازی لایه‌های مورد استفاده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

- تلفیق با استفاده از مدل Fuzzy

در این بخش با استفاده از سه عملگرفازی(Gamma, And, OR)، پهنه بندی زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه مشخص شده است. نقشه‌های این عملگرها به ترتیب در شکل‌های شماره ۱۰ (الف)، (ب) و ۱۲ (الف) نشان داده شده است. در رابطه با خروجی‌هایی که از طریق عملگرهای فازی بدست آمده است باید اشاره کرد که اجتماع فازی(OR) حداکثر درجه عضویت هر پیکسل را در نظر گرفته، بنابراین به طور غیرواقعی به یک میل کرده و بنابراین بیشتر محدوده فرحزاد به عنوان محدوده آسیب‌پذیر شناخته شده است. عملگر اشتراک فازی(And) نیز به صورت واقع بینانه است چرا که حداقل درجه عضویت هر پیکسل را در نظر گرفته؛ بنابراین به سمت صفر میل کرده است. در ادامه عملگرهای گامای فازی(Gamma) مختلف از ۰/۳ تا ۰/۹ محاسبه شد و با توجه به حساسیت خیلی بالای معیارها و همچنین وجود مقادیر زیادی از پیکسل‌ها با ارزش صفر، لذا از گامای نزدیک به Fuzzy Product (گامای ۰/۸) استفاده شده است. در این گاما حساسیت و پیکسل‌های دارای ارزش صفر تعدیل شده است؛ ولیکن با توجه اینکه تعداد زیادی از پیکسل‌ها را حذف کرده، لذا نمی‌توان به تنهایی به آن اکتفا کرد؛ بنابر این از طریق مدل AHP که بر اساس وزن‌دهی کارشناسی است، نیز پهنه‌بندی صورت گرفته است.

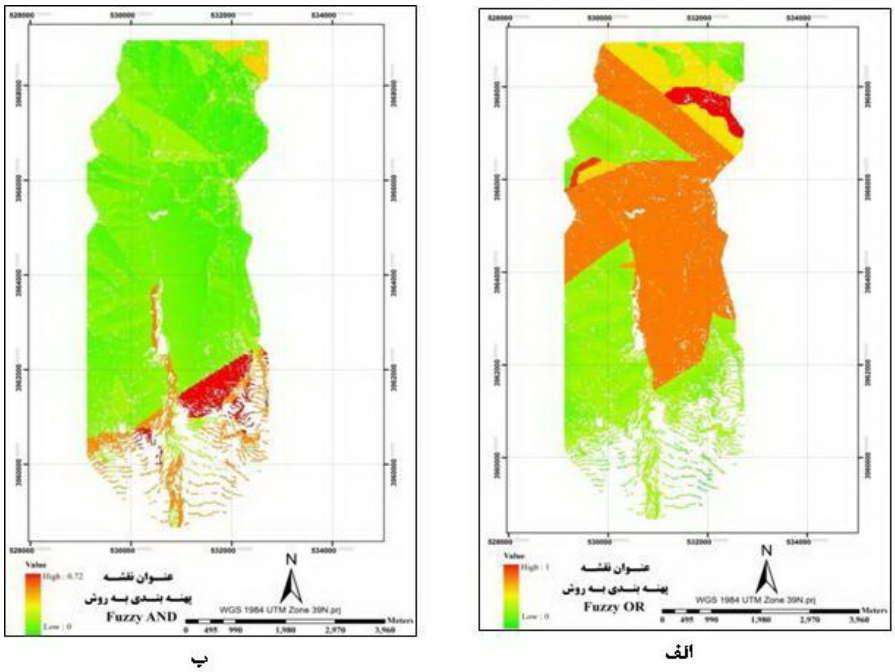
- مدل AHP

جهت محاسبه مدل AHP از نرم افزار Expert Choice ۲۰۰۰ استفاده شده است. همانطور که در جدول شماره (۱) نشان داده شده، بیشترین وزن به شیب دامنه اختصاص یافته است؛ چرا که این معیار نقش موثرتری نسبت به سایر عوامل در ایجاد زمین لغزش دارد. بعد از اعمال ضرایب در نقشه فازی شده لایه ها ، از مدل همپوشانی شاخص ها جهت استخراج شکل شماره ۱۲ (ب) استفاده شد. این نقشه، پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP را نشان می‌دهد. همچنین شکل شماره ۱۱، نتیجه نهایی محاسبات مدل فوق در نرم‌افزار Expert Choice ۲۰۰۰ است.

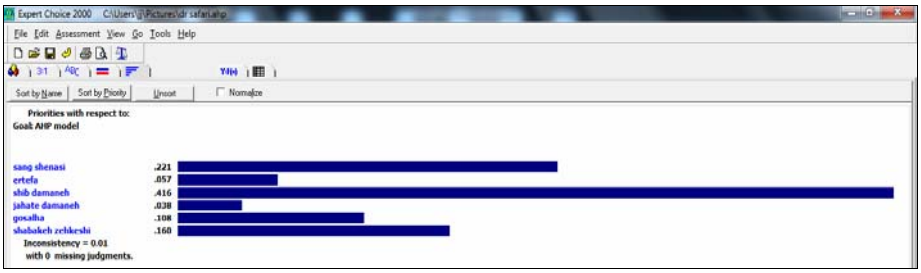
جدول (۱) وزن نهایی معیارها در مدل AHP

	سنگ شناسی	ارتفاع	شیب دامنه	جهت دامنه	گسل‌ها	شبکه زهکشی
وزن نهایی	۰/۲۲۱	۰/۰۵۷	۰/۴۱۶	۰/۰۳۸	۰/۱۰۸	۰/۱۶۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

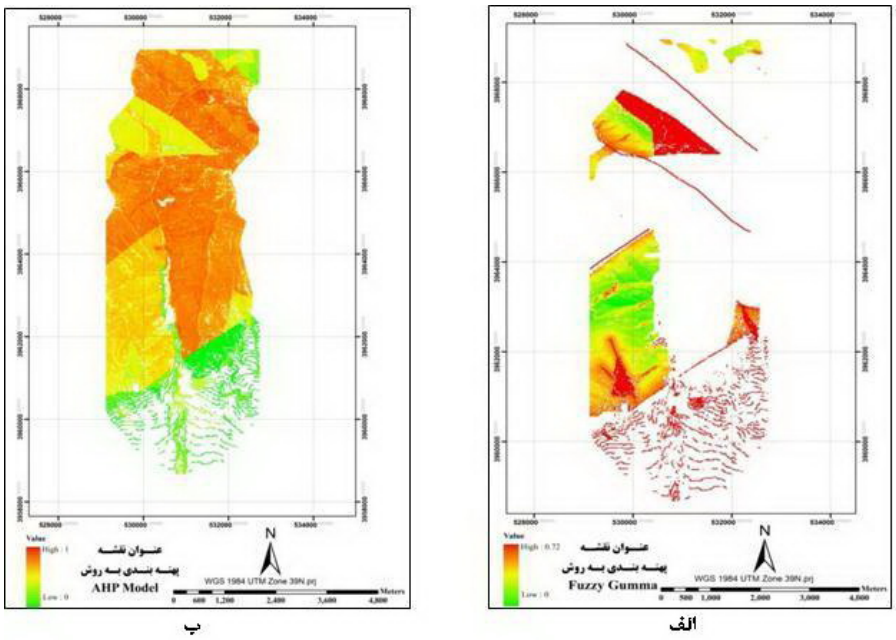


شکل (۱۰) نقشه‌های پهنه‌بندی با روش‌های فازی OR و AND



شکل (۱۱) محاسبات انجام شده در نرم افزار Expert Choice ۲۰۰۰

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]



شکل (۱۲) نقشه‌های پهنه‌بندی با روش فازی Gamma و AHP

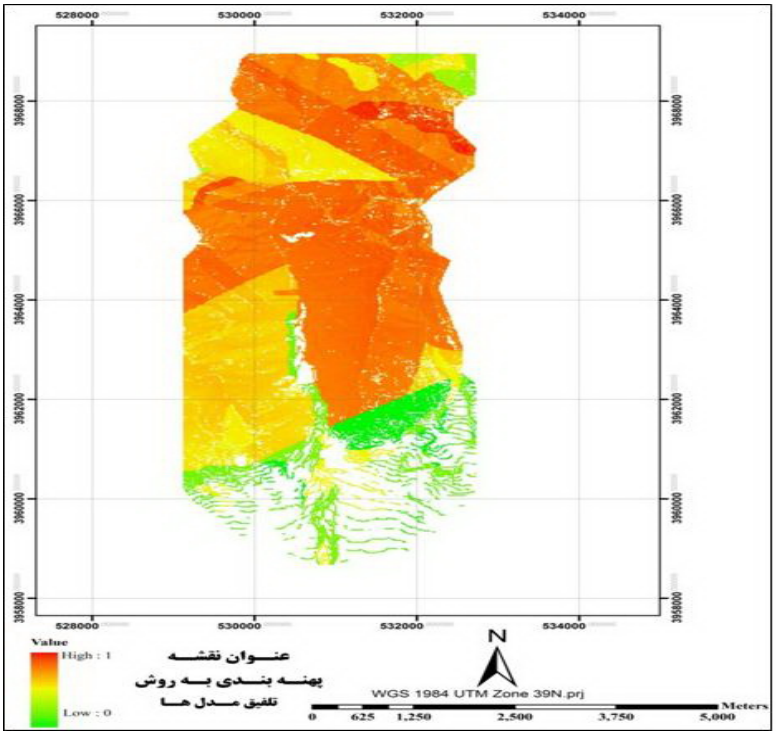
بحث و نتیجه گیری

با توجه اینکه هریک از مدل‌های پهنه‌بندی از معایب و محاسن خاصی برخوردار است، در این تحقیق پهنه‌بندی نهایی با تلفیق مدل‌های فازی و تحلیل سلسله مراتبی انجام شد؛ تا نتیجه بهینه و قابل قبولی را ارائه دهد. شکل شماره (۱۳) نتیجه نهایی این تلفیق را نشان می‌دهد. در این نقشه پهنه‌بندی خطر بر مبنای وزن صفر تا یک ارائه شده است. براین اساس، هر چقدر طیف رنگ به طرف عدد یک میل کند، میزان آسیب‌پذیری بیشتر شده است. قابل ذکر است که نقطه تلاقی مدل AHP با فازی و عملگرهای آن، به صورت همپوشانی نتیجه این مدل با نتایج عملگرهای فازی بوده است که در نهایت با یکدیگر و با تاثیر یک اندازه ادغام شده‌اند.

در این رابطه می‌توان گفت که عامل ارتفاع به طور غیر مستقیم تعیین کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین لغزش‌ها مانند مقدار بارش سالانه، بارش‌های شدید و رگباری، تغییرات دما و یخبندان و ذوب یخ است. با این وجود این عامل می‌تواند به عنوان یک عامل بسیار مهم و اثرگذار در وقوع زمین لغزش‌ها مطرح باشد. تغییر در شیب دامنه‌ها که ممکن است بطور

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

طبیعی و یا به صورت مصنوعی (مثلاً توسعه شهری) ایجاد شده باشد، باعث افزایش گرادیان شیب و در نتیجه افزایش تنش‌های درونی توده‌های سنگی و ایجاد شرایط آستانه‌ای لغزش‌ها به واسطه تغییر نیروهای برشی خواهد شد.



شکل (۱۳) نقشه پهنه بندی نهایی با استفاده از تلفیق مدل ها

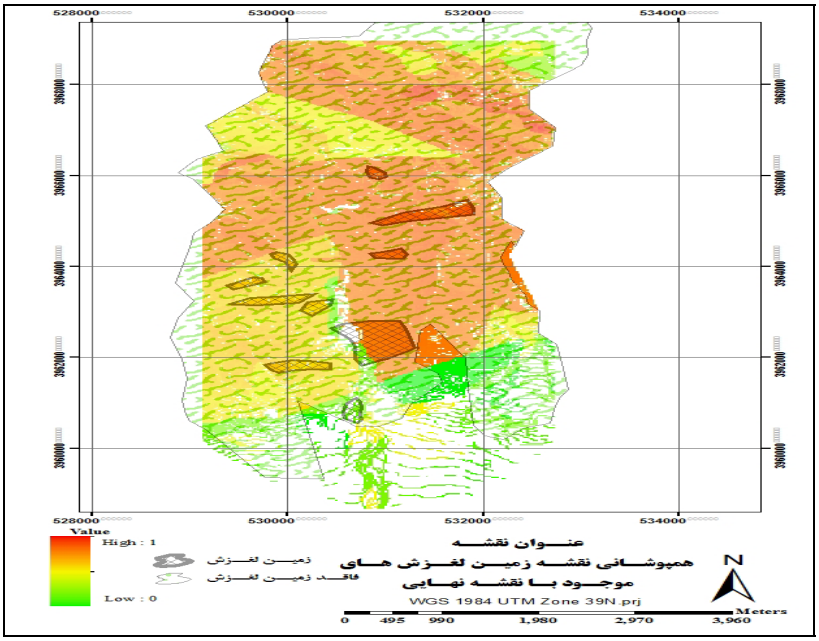
به منظور تحلیل بین آسیب‌پذیری ناشی از زمین لغزش‌ها و طبقات توسعه یافته شهری، نقشه کاربری زمین در حوضه مورد مطالعه با نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش همپوشانی داده شد. جدول شماره ۲ نتیجه حاصل از این همپوشانی را در پهنه‌های با خطر بسیار کم تا بسیار زیاد نشان می‌دهد. بر این اساس از حدود ۱۳/۲ درصد مساحت محدوده مورد مطالعه (۳/۰۳۹۵۹۶ کیلومترمربع) که توسط کاربری‌های مختلف شهری اشغال گردیده است، ۸۷/۶۶ درصد در محدوده با خطر کم و بسیار کم، ۳/۳۶ درصد در محدوده با خطر متوسط و ۸/۹۶ درصد در محدوده با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد. برای تدقین موضوع نیز

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

نقشه نهایی پهنه‌بندی با نقشه زمین‌لغزش‌های برداشت شده همپوشانی گردید. شکل (۱۴) نتیجه این تلفیق را نشان می‌دهد.

جدول (۲) میزان آسیب پذیری مناطق شهرسازی شده در تقابل با زمین لغزش

طیف آسیب	آسیب‌پذیری بسیار کم	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری بسیار زیاد
مساحت	۱۷۴۸۳۱۸	۹۱۶۶۴۲	۱۰۲۲۱۵	۲۵۱۵۴۳	۲۰۸۷۸
درصد	۵۷/۵۱	۳۰/۱۵	۳/۳۶	۸/۲۷	۰/۶۹



شکل (۱۴) نقشه تلفیق پهنه بندی نهایی با زمین‌لغزش‌های برداشت شده

این نتایج بیانگر لحاظ ننمودن شرایط ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی دامنه‌های پرشیب در امر توسعه شهری‌تهران است، که لازم است توجه جدی به این مهم صورت گیرد و از توسعه شهری به ویژه کاربری‌های مسکونی در این نقاط جداً جلوگیری به عمل آید. کاهش آسیب پذیری ناشی از حرکات لغزشی می‌تواند با تدوین دستور العمل‌های ویژه ساخت و ساز در مناطق کوهپایه‌ای و کوهستانی، توجه به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها، رعایت الزامات مربوط

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

به پایدارسازی دامنه‌های پرخطر و انجام مطالعات ویژه از طریق به کارگیری افراد متخصص و با تجربه در مراکز تصمیم‌گیری حاصل شود.

منابع و ماخذ

۱. احمدی، منصور(۱۳۸۰) **روش AHP و کاربرد آن در ارزیابی عملکرد دستگاه‌های اجرایی براساس فعالیت عمرانی، فصل‌نامه اندیشه و برنامه‌ریزی** ، شماره پاییز و زمستان.

۲. امیراحمدی، ابولقاسم، کامرانی دلیر، حمید، صادقی، محسن(۱۳۸۹) **پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز چلاو آمل**، فصل‌نامه جغرافیا، دوره جدید، سال هشتم، شماره ۲۷، صص ۲۰۳-۱۸۱.

۳. امیری، فرشاد (۱۳۸۶) **مکان‌یابی پست‌های فشارقوی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

۴. پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، فاطمی‌عقدا، سید محمود، مهدوی فر، محمدرضا، محمدی، مجید(۱۳۸۸) **ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره فازی**، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال سوم، شماره ۸، صص ۶۲-۵۱.

۵. تقوایی، مسعود، غفاری، سید رامین (۱۳۸۵) **اولویت بندی بحران در سکونتگاه‌های روستایی با روش AHP**، مجله پژوهشی دانشگاه اصفهان، جلد بیستم، شماره۱، صص۷۴-۴۷.

۶. زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰) **کاربرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای**، نشریه هنرهای زیبا، شماره۱۰.

۷. سازمان زمین شناسی کشور، **نقشه زمین شناسی**۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه.

۸. سازمان نقشه برداری کشور، **نقشه توپوگرافی** ۱:۲۵۰۰۰(سال۱۳۸۰) محدوده مورد مطالعه.

۹. سازمان نقشه برداری کشور، **عکس‌های هوایی** ۱:۴۰۰۰۰(سال ۱۳۸۱) محدوده مورد مطالعه.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

۱۰. سرداری، محمدرضا (۱۳۸۶) **شناسایی و پهنه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر جهت رشد سکونتگاه‌های غیررسمی**، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۱. صفاری، امیر(۱۳۸۷) **قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژیکی کلان‌شهرتهران به منظور توسعه و ایمنی**، رساله دکتری، دانشگاه تهران.

۱۲. صفاری، امیر، مقیمی، ابراهیم (۱۳۸۸) **ارزیابی ژئومورفولوژیکی توسعه شهری و آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لغزش در دامنه‌های کوهستانی کلان‌شهر تهران** ، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۷، صص ۷۱-۵۳.

۱۳. عبادی نژاد، سید علی، یمانی، مجتبی، مقصودی، مهران، شادفر، صمد (۱۳۸۶) **ارزیابی عملگرهای فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش(مطالعه موردی حوزه آبریز شیرود)**، علوم و مهندسی آبخیز داری ایران، سال اول، شماره ۲، صص ۴۴- ۳۹.

۱۴. قدوسی، جعفر، (۱۳۸۲) **مدل‌سازی مورفولوژی فرسایش خندقی و پهنه‌بندی خطر آن(مطالعه موردی در آبخیز زنجان ورد)**، پایان نامه دکتری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۱۵. فاطمی‌عقدا، سید محمود، غیومیان، جعفر، تشنه لب، محمد، اشقلی فراهانی، عقیل (۱۳۸۴) **بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی(مطالعه موردی منطقه رودبار)**، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۱، صص۶۴-۴۳.

۱۶. کرمی، فریبا، بیاتی خطیبی، مریم، مختاری، داود (۱۳۸۶) **ارزیابی و پهنه‌بندی خطرحرکات توده‌ای مواد در حوضه آبریز اوجان چای**، مجله جغرافیا و توسعه، بهار و تابستان ۱۳۸۶.

۱۷. کمک‌پناه، علی (۱۳۷۰) **بررسی عوامل موثر بر زمین‌لغزش‌های کشور**، مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی راهبردهای کاهش خسارات زمین لغزش در کشور، چاپ اول، موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

۱۸. مقیمی، ابراهیم، علوی‌پناه، سیدکاظم، جعفری، تیمور (۱۳۸۷) ار**زیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ(مطالعه موردی حوضه**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

زهکشی چناران در استان خراسان رضوی)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۷۵-۵۳.

۱۹. مهدوی فر، محمدرضا، فاطمی‌عقدا، سید محمود، (۱۳۷۶) **کاربرد تحلیل مجموعه‌های فازی در پهنه‌بندی خطرزمین‌لغزش و شرح سیستم کامپیوتری تهیه شده**، مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارت‌های آن، موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.

Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. and Rampini, A. (۱۹۹۸) ***Slope instability zonation:a comparison between certainty factor and fuzzy dempster-shafer approaches***, Natural Hazards, ۱۷: ۷۷- ۹۷.

Champati-ray, P.K., Dimri, S., Lakhera, R.C.and Sati, S. (۲۰۰۷) ***Fuzzy-based method for landslide hazard assessment in active seismic zone of Himalaya, Landslides***, ۴: ۱۰۱- ۱۱۱.

Chi, K.H., Park, N.W. and Chung, C.J. (۲۰۰۲) ***Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea***. Symposium Geospatial Theory, processing and Applications, Ottawa, ۲۰۰۲. ۶pp.

Guanrong Chen, Trung Tat Pham (۲۰۰۱)" ***Introduction to fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy control systems***" Boca Raton London New York Washington, D.C. ISBN ۰-۸۴۹۳-۱۶۵۸-۸ (alk. Paper)

Karnik, Nilesh N. and Mendel, Jerry M.(۲۰۰۰), ***"Operations on type-۲ fuzzy sets" Signal and Image Processing Institute***, Department of Electrical Engineering-Systems, ۳۷۴۰ McClintock Ave., EEB۴۰۰, University of Southern California, Los Angeles, CA ۹۰۰۸۹-۲۵۶۴, USA.

Komac, M. (۲۰۰۶) ***A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia***, Geomorphology, ۷۴, ۱۷-۲۸.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

Lee, S. (۲۰۰۷) ***Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping***, Environmental Geology, ۵۲: ۶۱۵-۶۲۳.

Pistocchi, A., Luzi, L. and Napolitano, P.(۲۰۰۲) ***The use of predictive modeling techniques for optimal exploitation of spatial databases: a case study in landslide hazard mapping with expert system-like methods***, Environmental Geology, ۴۱: ۷۶۵-۷۷۵.

Tangestani, M.H. (۲۰۰۳) ***Landslide susceptibility mapping using fuzzy gamma operation in GIS, Kakan catchment area***, Iran, Proceedings of the Map India ۲۰۰۳ Conference, copyright GIS Development.

Van Westen, C. J. and Terlien, M. T. J. (۱۹۹۶) ***An approach towards deterministic landslide hazard analysis in GIS. A case study from Manizales (Colombia)***. Earth surface processes and landforms, ۲۱: ۸۵۳-۸۶۸.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]