

مقایسه سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، شبکه عصبی مصنوعی و تراکم سطح در ارزیابی کمی و پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش در محیط GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سیمره هومیان)

محسن بختیاری - دانشجوی دکتری رشته GIS & RS، دانشگاه تهران، تهران، ایران

زینت گومه^۱ - دانشجوی دکتری رشته GIS & RS، دانشگاه تهران، تهران، ایران

هادی معاریان - استادیار دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۱۲ تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۶/۱۷

چکیده

پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش به‌عنوان تقسیم‌بندی زمین، برحسب درجه حساسیت‌پذیری واقعی یا بالقوه زمین‌لغزش می‌تواند در مدیریت کارآمد بحران یاری دهنده باشد؛ اما ماهیت نامشخص متغیرهای لازم جهت بررسی، تأثیر متفاوت هر متغیر و عدم امکان تعیین مرزهای دقیق نواحی آسیب‌پذیر، موجب عدم قطعیت در نقشه‌های آسیب‌پذیری می‌گردد. استفاده از فن‌آوری‌های نوین مانند GIS و الگوریتم‌های هوش محاسباتی می‌تواند در تهیه نقشه‌های دقیق‌تر پهنه‌بندی زمین‌لغزش مفید واقع گردند. در این مطالعه با هدف پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش در حوزه آبخیز سیمره هومیان، به دلیل وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد در این منطقه، به مقایسه سه روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP^۲)، شبکه عصبی مصنوعی و تراکم سطح بر اساس معیارهای مختلفی از جمله توپوگرافی، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی، عمق گسیختگی خاک، فاصله از رودخانه، گسل و جاده و رده مقاومتی زمین پرداخته شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده نواحی شمالی محدوده مطالعاتی مستعد وقوع حرکات دامنه‌ای هستند؛ از طرفی مقادیر پارامترهای صحت‌سنجی مؤید دقت بالاتر نتایج دو رویکرد شبکه عصبی و تراکم سطح به ترتیب با مقادیر صحت کلی ۰/۷۳ و ۰/۷۱ بوده که ناشی از عملکرد بهتر دو روش فوق نسبت به روش FAHP با صحت کلی ۰/۵۸ می‌باشد. در مجموع روش شبکه عصبی بر اساس آماره‌های صحت‌سنجی مورد استفاده

شامل، صحت کلی، صحت کاربر و صحت تولید کننده به ترتیب با مقادیر ۰/۷۳، ۰/۸ و ۰/۵۹ بالاترین صحت را به خود اختصاص داده است.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی زمین لغزش، شبکه عصبی مصنوعی، تراکم سطح، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

۱- مقدمه

حرکت توده‌ای مواد تشکیل دهنده زمین، از یک شیب به سمت پایین را زمین لغزش می‌نامند که حالت خاصی از ناپایداری دامنه است (IAEG, 1990). این حرکت رو به پایین مواد سطحی، تحت تأثیر گرانش زمین صورت گرفته و میزان تحرک آن با حضور آب موجود در رسوبات افزایش می‌یابد (Pareta et al., 2012). زمین لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی اصلی تأثیرگذار بر چشم‌انداز تکاملی در مناطق کوهستانی است که می‌تواند سبب حوادث فاجعه باری شود (Hattanji & Moriwaki, 2009). به‌منظور کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش، شناسایی پهنه‌های دارای پتانسیل زمین لغزش و به نقشه درآوردن آن‌ها امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش^۱ (LHZ) به‌عنوان تقسیم‌بندی زمین به چند منطقه و طبقه‌بندی این مناطق، برحسب درجه حساسیت‌پذیری واقعی یا بالقوه زمین لغزش و یا دیگر حرکات توده‌ای شیب‌ها می‌باشد (Varnes, 1984). جهت انجام این امر، روش‌های متعددی توسط محققین و برنامه‌ریزان در کشورهای مختلف مورد مطالعه و استفاده قرار گرفته است که هر یک از این روش‌ها تحت شرایط ویژه‌ای ارائه شده‌اند (Jade & sarkar, 1993; Mora & Vahrson, 1994; Baeza & Corominas, 1997; Yalcin et al., 2011). ازجمله روش‌های مختلفی که برای پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش ارائه شده است می‌توان روش AHP (کامران زاد و همکاران، ۱۳۹۴)، روش آماری دومتغیره (نصرآزادانی و شیرانی، ۱۳۸۸؛ نادری و همکاران، ۲۰۱۰)، روش رگرسیون چند متغیره (جوادی و همکاران، ۱۳۹۱)، روش مدل آنتروپی (مقیم و همکاران، ۱۳۹۱)، روش فاکتور اطمینان (بهشتی راد و همکاران، ۱۳۸۸)، روش منطق فازی (سوری و همکاران، ۱۳۹۲)، روش FAHP (کریمی و نجفی، ۱۳۹۱) و روش شبکه عصبی مصنوعی (بهاروند و سوری، ۱۳۹۴) را نام برد. ایزدی و انتظاری (۱۳۹۲) نیز در مطالعه‌ای زمین لغزش‌های ایران را معرفی و عوامل به وجود آورنده آن‌ها را به‌طور کلی بررسی نمودند. آن‌ها اظهار داشتند که بزرگ‌ترین زمین لغزش ایران و شاید جهان در امتداد رودخانه سیمره به وقوع پیوسته است. وحیدنیا (۲۰۰۹) به پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش با استفاده از ترکیبی از نمونه‌های کمی شامل AHP، شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون خطی و وزن واقعه (WOE) در استان مازندران پرداخت، بر اساس نتایج حاصل تلفیق مدل‌های WOE و شبکه عصبی دارای بیش‌ترین کارایی بوده‌اند. حضری

(۲۰۱۱) نیز در مطالعه‌ای پتانسیل و استعداد زمین لغزش را با استفاده از شیوه تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در حوزه زاب در شمال غرب ایران برآورد و پهنه‌بندی نمود.

کانوک و همکاران (۲۰۰۶) با به‌کارگیری روش‌های وزن دهی دانش کارشناسی^۱، فازی و شبکه عصبی مصنوعی^۲، عوامل مؤثر در لغزش زمین را وزن دهی کردند و دریافتند که اگر از مقادیر کلاس‌ها در شبکه عصبی استفاده شود این شبکه بهترین نتایج را به بار خواهد آورد. یلماز (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای با مقایسه روش‌های نسبت فراوانی، رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی در ارزیابی حساسیت‌پذیری زمین لغزش در شهر کات ترکیه به این نتیجه رسید که مدل شبکه عصبی نسبت به دو روش دیگر از صحت بیشتری برخوردار است. بیسواجیت (۲۰۱۰) با استفاده از شبکه عصبی حساسیت‌پذیری زمین لغزش در منطقه سلانگور مالزی را ارزیابی کرد. لان و همکاران (۲۰۰۴) نیز بر اساس ارزیابی عوامل لیتولوژی، ساختمان زمین‌شناسی، زاویه شیب، جهت شیب، ارتفاع و فاصله از گسل و تأثیر این عوامل در ناپایداری شیب‌ها مدلی را طراحی و نقشه حساسیت‌پذیری نسبی زمین لغزش آبخیز ژیا و جینگ چین را تهیه نموده‌اند.

با توجه به توسعه روزافزون قدرت پردازش کامپیوترها و تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی، تعداد قابل توجهی از روش‌های کمی و آماری در ارزیابی قابلیت رخداد زمین لغزش گسترش یافته است (Wang et al., 2013). میزان اطمینان به نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش با کیفیت داده‌ها و روش یا مدل مورد استفاده برای آماده‌سازی نقشه‌ها در ارتباط است (Ayalew & Yamagashi, 2005; Srivastava et al., 2010).

روش‌های آماری باهدف غیر ذهنی نمودن بیشتر روش‌های پهنه‌بندی، ابداع شده‌اند و در ایران نیز مطالعات چندی با استفاده از این روش انجام شده است (Van Westen, 1993). بختیاری و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به منظور پهنه‌بندی زمین لغزش با روش آنالیز حساسیت، ابتدا عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه را شناسایی نمودند و سپس به پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری وقوع این پدیده با استفاده از فراوانی وقوع در لایه‌ها و کلاس‌های مختلف اطلاعاتی پرداختند. آن‌ها با به‌کارگیری روش آماری آنالیز حساسیت، اعلام نمودند که این روش از روند قابل قبول و منطقی‌ای در تفکیک رده‌های حساسیت‌پذیری و تغییرات اندیس لغزش برخوردار می‌باشد. جید و سارکار (۱۹۹۳) با استفاده از مدل آماری به طبقه‌بندی ناپایداری دامنه‌ای در دره آلکاندا در هیمالیا با در نظر گرفتن فاکتورهای زاویه و ارتفاع شیب، نوع سنگ و ساختارهای زمین‌شناسی همچون گسل‌ها و تراس‌ها پرداختند و نقشه پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش را تهیه نمودند.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشد؛ زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و امکان در نظر گرفتن

1 Expert Knowledge

2 Artificial Neural Networks

معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد (قدسی پور، ۱۳۸۵). اوتمن و همکاران (۲۰۱۲) یک سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره را به منظور پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش پیشنهاد کردند.

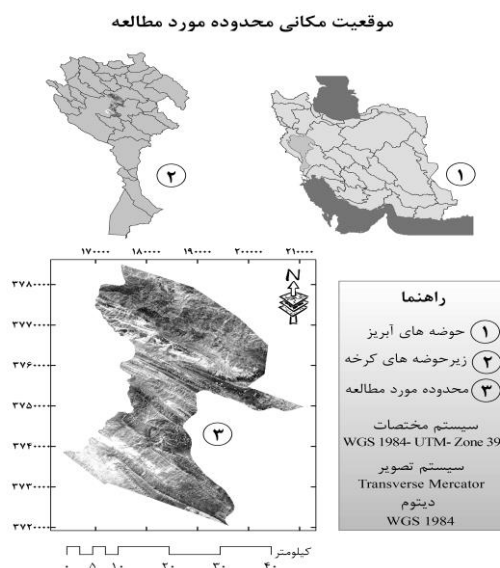
شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ (ANN)، به‌طور کلی گروهی متصل از گره‌هایی است که با استفاده از شیوه‌های ریاضی به پردازش اطلاعات می‌پردازند. شبکه پرسپترون چندلایه یکی از مدل‌های ANN است که به صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد و دلیل عمده آن قابلیت بالای این نوع شبکه‌ها برای حل بسیاری از مسائل طبقه‌بندی تصویر است. لی و همکاران (۲۰۰۴) با استفاده از شبکه‌های عصبی وزن‌های عوامل مؤثر بر وقوع زمین-لغزش را تعیین و اقدام به پیاده نمودن نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش کردند. مالچیور و همکاران (۲۰۰۸) با تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و آنالیز گسیختگی به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی، روشی مناسب برای پهنه‌بندی زمین لغزش است.

در این مطالعه سه شیوه تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و تراکم سطح به ترتیب به عنوان نماینده‌های سه چهارچوب کلی تصمیم‌گیری گروهی، شیوه‌های محاسباتی غیرقطعی و شیوه‌های آماری در ارزیابی کمی و حساسیت‌سنجی مکانی مخاطره زمین لغزش با هم مقایسه و کارایی، نقاط ضعف و قوت هر کدام مورد کاوش قرار گرفته‌اند. این مطالعه جهت تعیین یک مدل مناسب به منظور پهنه‌بندی زمین لغزش بر اساس کارآمدترین روش اجرایی، در محدوده‌ای مستعد حرکات توده‌ای با زمین لغزش‌های متعدد ثبت‌شده، بخشی از حوضه آبریز سیمره هومیان، صورت گرفت. در پایان مقایسه ۳ روش مذکور با استفاده از پارامترهای اعتبار سنجی صحت کلی، صحت کاربر و صحت تولیدکننده انجام شد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی در غرب استان لرستان با طول‌های جغرافیایی ۲۲° ۴۷ تا ۵۲° ۴۷ شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴° ۳۳ تا ۳۴° ۹ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه عمدتاً در حوزه آبخیز سیمره هومیان که در مراتب بالاتر به ترتیب جزء زیرحوضه‌های آبخیز سیمره و حوضه کرخه تقسیم‌بندی می‌شود، با وسعتی در حدود ۱۲۸۰۰۰ هکتار در ارتفاع متوسط ۱۶۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد (بهاروند و سوری، ۱۳۹۴).



شکل ۱- موقعیت مکانی محدوده مورد مطالعه

۲-۲- داده‌ها

۲-۲-۱- لایه‌های اطلاعاتی

به منظور تعیین معیارهای مؤثر بر پهنه‌بندی باید از عواملی بهره جست که با در نظر گرفتن موقعیت محلی و کلی منطقه و محدودیت‌های موجود قادر به حل مسئله باشند. لایه‌های اطلاعاتی که در این پژوهش بر اساس مشورت با کارشناسان زمین شناسی، آبخیزداری و جغرافیا و مطالعات انجام شده روی محدوده مطالعاتی استفاده شد عبارتند از: لایه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، رطوبت نسبی، عمق گسیختگی خاک، فاصله از رودخانه، گسل و جاده و رده مقاومتی زمین.

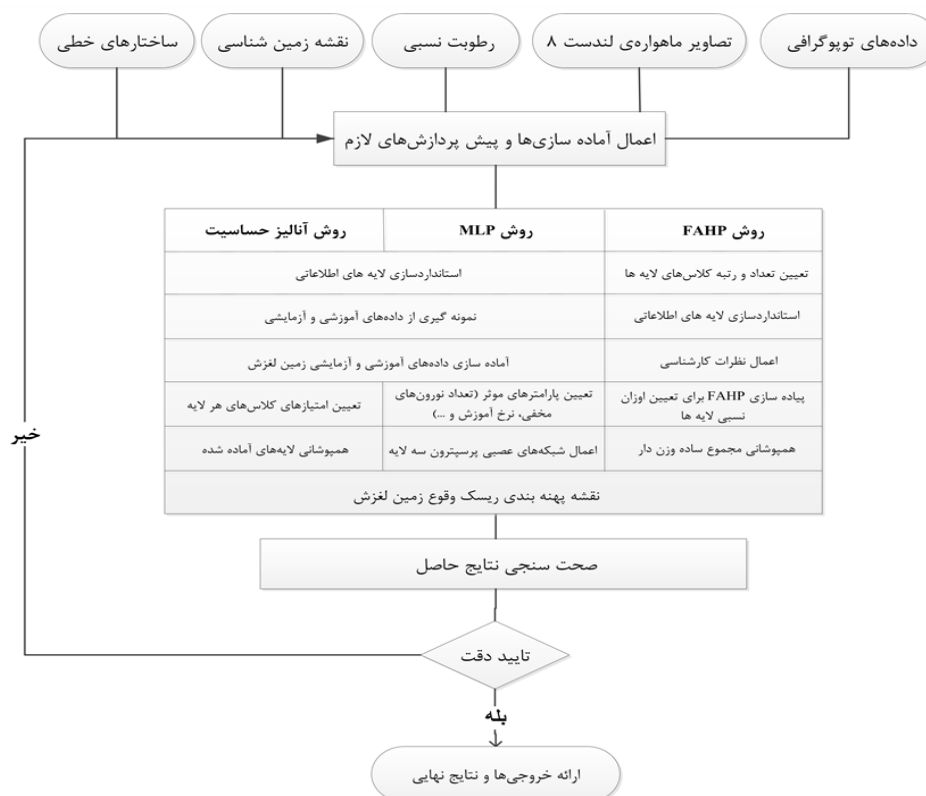
لایه‌های شیب، جهت شیب و انحنای نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حاصل از خطوط تراز ارتفاعی با فرمت DGN تولید شده توسط سازمان نقشه‌برداری، با پیکسل سایز ۳۰ متر، استخراج شدند. لایه انحنای دامنه^۱ یا همان محدب و مقعر بودن دامنه نیز بر اساس تابعی که مشتق دوم سطح ارتفاعی را حساب می‌کند، حاصل می‌شود که می‌تواند خصوصیات فیزیکی یک حوضه زهکشی را به منظور درک فرآیندهای رواناب و فرسایش توصیف نماید. به منظور تولید نقشه پوشش گیاهی و استخراج شاخص NDVI، از چهار تصویر Landsat 8 در دو فصل سبز و خشک، برای هر فصل از دو تصویر، به تاریخ‌های ۲۹-۰۹-۲۰۱۳، ۲۶-۰۸-۲۰۱۵، ۲۸-۰۴-۲۰۱۴ و ۲۰-۰۴-۲۰۱۵ بهره گرفته شد. دلایل انتخاب تصاویر در تاریخ‌های مذکور، علاوه بر رعایت تفاوت زمانی معنی‌دار بین دو

تاریخ اخذ تصویر، تفاوت پوشش گیاهی، وجود شرایط ابری و به‌طور کلی وضعیت هوایی محدودکننده بود. هم‌چنین نقاط و پهنه‌های زمین لغزش اتفاق افتاده، به‌منظور پیاده‌سازی و اعتبارسنجی روش‌های به‌کاررفته، از تلفیق داده‌های اداره آبخیزداری استان لرستان و نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده مطالعاتی شناسایی شدند. برای تهیه پارامتر رطوبت، به سبب موقعیت محدوده مطالعاتی از میانگین داده‌های رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه‌های هواشناسی سه استان لرستان، کرمانشاه و ایلام، ۱۸ ایستگاه سینوپتیک، از زمان تأسیس ایستگاه تا سال‌های اخیر استفاده شد. هم‌چنین پس از ایجاد دولایه فاصله از رودخانه‌ها و جاده‌ها با استفاده از تابع فاصله اقلیدسی، و تلفیق آن‌ها از طریق عملگر جمع، لایه فاصله از ساختارهای خطی تهیه شد.

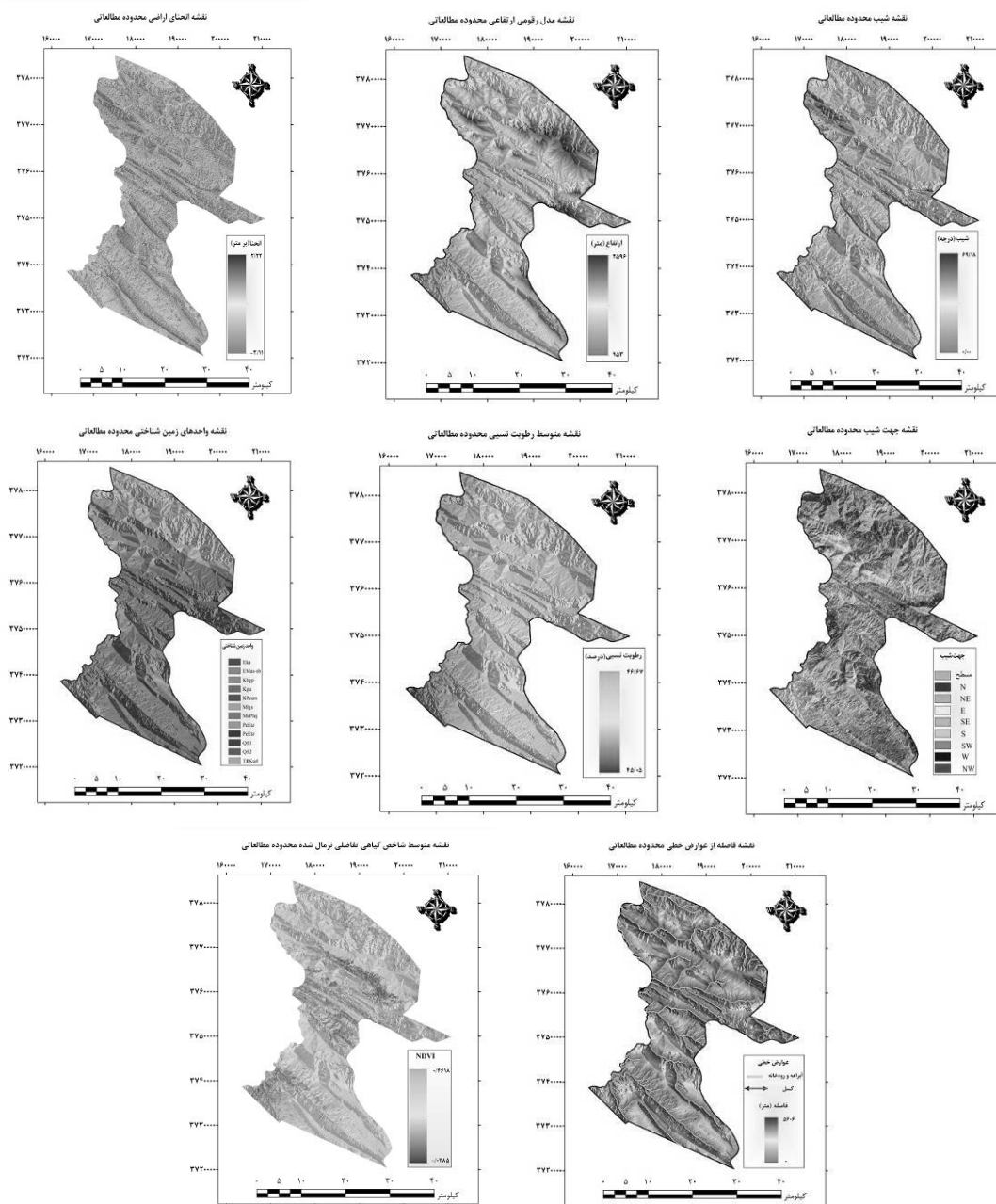
باتوجه به این‌که عمق سطح گسیختگی وابسته به شرایط زمین‌شناسی است. برای تهیه این لایه از رابطه‌ی نمایی میان متغیرهای شیب و عمق گسیختگی خاک (رابطه ۱) استفاده شده‌است (Salciarini et al, 2010).

$$d_{lb} = 14 \exp(-0.0693\alpha) \quad [1]$$

در رابطه فوق d_{lb} ضخامت خاک (متر) و α شیب (درجه) را نشان می‌دهد. به‌منظور تهیه لایه رده مقاومتی زمین نیز از لایه‌های واحدهای زمین‌شناسی و زمین‌لغزش‌های رخ داده در محدوده موردنظر استفاده شد.



شکل ۲- نمودار مراحل اجرایی تحقیق



شکل ۳- لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین‌لغزش محدوده مورد مطالعه

جدول ۱- توضیحات نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (منبع: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی

کشور)

توصیف	واحد زمین‌شناسی
سازند کشکان، کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ و سیلتستون	EkN

ادامه جدول ۱

واحد زمین‌شناسی	توصیف
EMas-sb	سنگ‌های تفکیک نشده سازندهای آسماری و شهبازان
Kbgp	گروه بنگستان تفکیک نشده غالباً آهک و شیل مشتمل بر کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
Kgu	سازند گورپی، مارن خاکستری مایل به آبی و شیل به صورت فرعی حاوی آهک آرژیلی نازک لایه
Kpeam	سازند امیران، سیلتستون کمی هوازده زیتونی تیره‌ای تا قهوه‌ای و ماسه‌سنگ با توسعه محلی از کنگلومرای چرتی و آهک صدفی
Mlgs	سازند گچساران، شامل انیدریت، نمک، کارن‌های دگرسان شده خاکستری و قرمز با انیدریت، آهک‌های آرژیلی و آهک
PeEtz	سازند تله زنگ، آهک فسیل دار توده‌ای متوسط لایه خاکستری و قهوه‌ای
Plc	کنگلومرای پلی متال و ماسه‌سنگ
TRKurl	چرت با میان لایه‌های سنگ‌آهک پلاژیک
Qft1	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی کم ارتفاع
Qft2	ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع

۲-۲-۲- استانداردسازی لایه‌ها

اندازه‌گیری معیارها در قالب لایه‌های اطلاعاتی، با دامنه متنوعی از مقیاس‌ها صورت می‌پذیرد؛ بنابراین لازم است ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف به واحدهای قابل مقایسه و در تناسب باهم تبدیل شوند. به این منظور در این پژوهش برای لایه‌های پیوسته، لایه‌هایی که هر پیکسل ارزش منحصر به فردی را به خود اختصاص می‌دهد، از توابع عضویت فازی استفاده شد که با توجه به پارامترهای تعریف شده به پیکسل خروجی مقادیری بین صفر تا واحد اختصاص می‌دهند، از طرفی استانداردسازی و نرمال‌سازی پیکسل‌های گسسته، پیکسل‌هایی که گروهی از پیکسل‌ها مقدار واحدی را به خود اختصاص داده‌اند و به عبارتی یک رستر طبقه‌بندی شده را ایجاد نموده‌اند، از طریق نرمال‌سازی معمولی صورت گرفت (Lee et al. 2006).

$$X_{nom} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad [۲]$$

در رابطه فوق X_{nom} مقدار نرمال شده لایه ایجاد شده است در حالی که X_i ، X_{max} و X_{min} هم به ترتیب مقادیر اولیه، بیشینه و کمینه رستر را نشان می‌دهند. جداول ۲ و ۳ پارامترهای نرمال‌سازی خطی و سیگموئیدی لایه‌های پیوسته و گسسته را نشان می‌دهند.

جدول ۲- پارامترهای نرمال‌سازی خطی لایه‌های ورودی در روش فازی

لایه‌ها	یکنوایی*	Min.	Max.
انحنای دامنه	صعودی	-۳	۲

ادامه جدول ۲

لايه‌ها	يكنوايي*	Min.	Max.
شيب زمين	صعودی نزولی	۱	۳۵
شاخص پوشش گیاهی متوسط	نزولی	۰/۴۵	۰/۱
رطوبت نسبی متوسط	صعودی	۴۵	۴۶/۶
رده مقاومتی زمین	صعودی	۰	۰/۱۶
* يکنوايي صعودی یا نزولی بودن روند متغير وابسته نسبت به متغير مستقل است			

جدول ۳- پارامترهای نرمال‌سازی سیگموئیدی لایه فاصله از ساختارهای خطی

(مجموع لایه‌های فاصله از گسل، رودخانه و آبراهه‌ها) در روش فازی

لايه‌ها	يكنوايي	ضريب ميانگين	ضريب انحراف معيار
فاصله از ساختارهای خطی	نزولی	۲۶۰۰	۳

به‌منظور استانداردسازی زیرمعیارهای ورودی FAHP به‌جز دو لایه ارتفاع و جهت شیب، برای بقیه ورودی‌ها از همان پارامترهای نرمال‌سازی آمده در جداول ۲ و ۳ استفاده شد، در لایه جهت شیب، استانداردسازی با محاسبه میزان رخداد زمین‌لغزش‌ها در هر کدام از جهت‌های ۹ گانه و با در نظر داشتن سطح هر کدام از کلاس‌های جهت شیب و آنگاه استفاده از رابطه ۲ حاصل شد. استانداردسازی DEM با تابع فازی سازی و در جهت انطباق با تحلیل زمین‌لغزش‌های تاریخی رخ داده در طبقات ارتفاعی و نظرات کارشناسی انجام گرفت و در نهایت از تابع فازی سازی دوزنقه‌ای با اعداد دوزنقه‌ای (۲۴۰۰, ۲۲۰۰, ۱۹۰۰, ۱۲۰۰) استفاده شد.

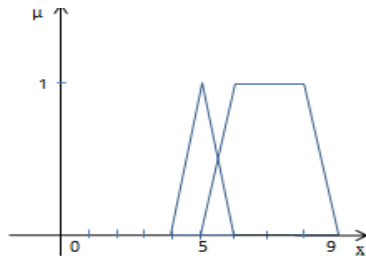
۲-۳- روش‌های پهنه بندی

۲-۳-۱- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

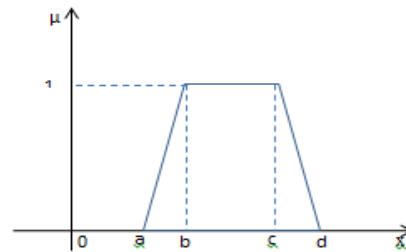
FAHP از شیوه‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره محسوب می‌شود که در قالب مجموعه‌های فازی نظرات کارشناسی را در مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها وارد می‌نماید. در واقع با استفاده از عبارتهای زبانی، مفهوم فازی بودن در تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی دخالت داده می‌شود (کوره پزان و همکاران، ۱۳۸۷).

روش FAHP ارائه شده توسط باکلی، تعمیم‌یافته AHP کلاسیک است. در این روش تصمیم‌گیرنده می‌تواند مقایسات زوجی المان‌های هر سطح را در قالب اعداد فازی دوزنقه‌ای بیان نماید. یک عدد فازی دوزنقه‌ای به صورت (a,b,c,d)، نمایش داده می‌شود (شکل ۴)، به‌عنوان مثال در شکل ۵، عدد فازی دوزنقه‌ای (۵, ۶, ۹, ۸) نشان‌دهنده ارجحیت «در حدود ۵ به ۸» و عدد (۹, ۸, ۶, ۵) مشخص‌کننده ارجحیت «در حدود ۶ به ۹ تا در حدود ۸ به ۹» می‌باشد.

در جدول (۴) اعداد فازی ذوزنقه‌ای و متغیرهای زبانی متناظر آورده شده، البته علاوه بر حالات پنج‌گانه جدول، عبارت‌هایی که گویای اهمیت‌های بینابینی هستند نیز در صورت نیاز باید متصور شد.



شکل ۵- اعداد فازی نمونه برای نشان دادن ارجحیت در روش باکلی



شکل ۶- نحوه نمایش اعداد ذوزنقه‌ای فازی

جدول ۴- اعداد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به عبارت‌های زبانی بیان‌کننده ارجحیت

متغیرهای زبانی ارجحیت	اعداد فازی ذوزنقه‌ای
خیلی ضعیف	(۰,۱,۲,۳)
ضعیف	(۱,۲,۳,۴)
متوسط	(۳,۴,۵,۶)
خوب	(۵,۶,۷,۸)
خیلی خوب	(۷,۸,۹,۱۰)

در این تحقیق از روش FAHP به شیوه باکلی برای وزن دهی و اولویت‌بندی لایه‌ها استفاده شده است. این روش در سه مرحله قابل بیان می‌باشد.

گام اول: ماتریس‌های مقایسات زوجی توسط شخص تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود. به‌طورکلی ارجحیت المان i بر المان j را با $\tilde{a}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij}, d_{ij})$ نشان می‌دهند. همچنین ارجحیت المان j بر المان i به صورت $\tilde{a}_{ji} = (\frac{1}{d_{ij}}, \frac{1}{c_{ij}}, \frac{1}{b_{ij}}, \frac{1}{a_{ij}})$ بیان می‌گردد. اگر $i = j$ باشد، آنگاه $\tilde{a}_{ij} = \tilde{a}_{ji} = (1, 1, 1, 1)$ خواهد بود (کوره‌پزان و همکاران، ۱۳۸۷).

گام دوم: در این مرحله اوزان فازی (W_i) محاسبه می‌گردد. ابتدا میانگین هندسی هر سطر از ماتریس‌های مقایسه زوجی با کمک رابطه زیر تعیین می‌شود.

$$z_i = (\tilde{a}_{i1}, \tilde{a}_{i2}, \dots, \tilde{a}_{in})^{1/n} \quad [۳]$$

سپس وزن فازی از رابطه ۴ حاصل می شود.

$$\tilde{w}_i = \tilde{z}_i \cdot (\tilde{z}_1 \oplus \tilde{z}_2 \oplus \dots \oplus \tilde{z}_n)^{-1} \quad [4]$$

به شیوه مشابه گام دوم برای تمام مقادیر \mathbf{i} و \mathbf{j} تکرار و تمام ارجحیت های فازی ها \tilde{r}_{ij} ، محاسبه می شود. گام سوم: در این مرحله باترکیب اوزان حاصل، مقادیر مطلوبیت فازی، \tilde{u}_{ij} با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می شود.

$$\tilde{U}_i = \sum_{j=1}^m \tilde{w}_j \cdot \tilde{r}_{ij} \quad [5]$$

به طور کلی برای اینکه اعداد فازی ذوزنقه ای به مقادیر قابل استفاده تبدیل شوند، باید مقادیر خروجی از حالت فازی خارج شوند. تبدیل اعداد فازی به اعداد حقیقی قطعی، غیرفازی سازی نامیده می شود (عطائی، ۱۳۸۹). در این مطالعه غیرفازی سازی با روش میانگین وزنی صورت گرفته است. اگر (a, b, c, d) یک عدد فازی ذوزنقه ای باشد آنگاه N عدد قطعی حاصل از غیرفازی سازی آن می باشد.

$$N = \frac{a + 2b + 2c + d}{6} \quad [6]$$

۲-۳-۲- شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

این شیوه با ساختاری نورونی و هوشمند از طریق الگوبرداری مناسب از نورون های موجود در مغز انسان سعی می کند تا از طریق توابع تعریف شده ریاضی رفتار درون سلولی نورون های مغز را شبیه سازی کند و از طریق وزن های محاسباتی موجود در خطوط ارتباطی نورون های مصنوعی، عملکرد سیناپسی را در نورون های طبیعی به مدل درآورد. یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه می تواند به سادگی با تعریف اوزان و توابع مناسب مورد استفاده قرار گیرد. آموزش این گونه شبکه ها معمولاً با روش پس انتشار خطا انجام می شود. نمونه ای از یک شبکه پرسپترون چندلایه در شکل ۶ نمایش داده شده است (منهاج، ۱۳۸۸).

طبقه بندی کننده MLP از الگوریتم زیر برای محاسبه ورودی هایی که یک گره منفرد \mathbf{j} دریافت می کند، بهره می برد (منهاج، ۱۳۸۸).

$$\text{net}_j = \sum_i w_{ij} I_i \quad [7]$$

در رابطه فوق، net_j ورودی است که نورون منفرد \mathbf{j} دریافت می کند، w_{ij} اوزان بین نورون \mathbf{i} و نورون \mathbf{j} را نشان می دهد و I_i خروجی نورون \mathbf{i} متعلق به لایه فرستنده، لایه ورودی یا مخفی، می باشد. خروجی حاصل از نورون \mathbf{j} از رابطه ۸ حاصل می شود (منهاج، ۱۳۸۸).

$$O_j = f(\text{net}_j) \quad [8]$$

تابع f معمولاً یک تابع سیگموئیدی غیرخطی است. در این پژوهش لایه های ورودی متناظر با لایه های اطلاعاتی آماده شده در GIS و لایه خروجی نیز معادل نقشه پهنه بندی ریسک وقوع زمین لغزش در محدوده مورد مطالعه است

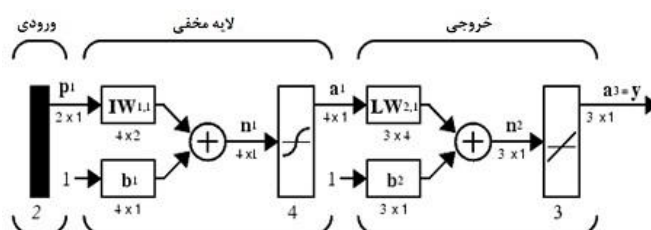
که معمولاً مقادیری بین ۰ تا ۱ را نشان می‌دهد و طبیعتاً ارزش‌های بالاتر حکایت از احتمال بالاتر وقوع حرکات توده-ای خواهند داشت.

تعداد نورون‌های لایه مخفی نیز از رابطه ۹ حاصل می‌شود (منهاج، ۱۳۸۸):

$$N_h = INT \sqrt{N_i \times N_o} \quad [9]$$

در رابطه بالا N_h تعداد نورون‌های لایه مخفی، N_i تعداد نورون‌های لایه ورودی و N_o تعداد نورون‌های لایه خروجی را نشان می‌دهد.

در این مطالعه برای نمونه‌های آموزشی و آزمایشی که به ترتیب به منظور یادگیری و برآورد خطای شبکه عصبی استفاده می‌شوند، باید از پیکسل‌های رستر نشان‌دهنده زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده در گذشته استفاده نمود. در پایان این بخش لازم به ذکر است که برای اجرای الگوریتم MLP از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی در برنامه Matlab استفاده شده است.



شکل ۶- ساختار پرسپترون چندلایه با نورون‌های پنهان و نورون‌های خروجی با تابع خطی (۳۰)

جدول ۵- پارامترهای الگوریتم MLP اجرا شده

مقدار	پارمتر
۸	تعداد لایه‌های ورودی
۵	تعداد نورون‌های لایه مخفی
۰/۰۱۲	نرخ آموزش
۰/۶	فاکتور لحظه‌ای
۱۰۰۰	بیشینه میزان تکرار
۵۶۳	تکرار اجرا شده
۱/۰	ثابت سیگموئید

۲-۳-۳- روش تراکم سطح

روش تراکم سطح روشی ساده و مؤثر در تحلیل‌های آماری برای تعیین اهمیت عوامل مختلف وقوع زمین‌لغزش با استفاده از قطع دوبه‌دوی نقشه زمین‌لغزش با عوامل مؤثر می‌باشد. در این روش، تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر یک از زیرگروه‌ها به راحتی قابل محاسبه است (Hu and Weng, 2009).

$$D_{area} = \frac{ASx_i}{Ax_i} \times 100 \quad [10]$$

که در آن ASx_i سطح درگیر زمین‌لغزش در زیرگروه i ام و Ax_i مساحت زیرگروه i ام می‌باشند. در ادامه برای محاسبه امتیاز هر زیرگروه، بایستی تراکم سطحی هر یک از آن‌ها با تراکم متوسط لغزش در کل منطقه بر اساس رابطه زیر مقایسه گردد (وحیدنیا و همکاران، ۱۳۸۸).

$$R_{area} = \frac{ASx_i}{Ax_i} \times 100 - \frac{AS}{A} \times 100 \quad [11]$$

در این رابطه AS مساحت کل لغزش‌ها و A مساحت کل محدوده مورد مطالعه می‌باشد و R_{area} امتیاز زیرگروه محاسبه شده در تراکم سطحی است.

۴-۲- ارزیابی صحت

به منظور سنجش صحت نتایج حاصل از اجرای سه شیوه از داده‌های زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده در محدوده مورد مطالعه استفاده شد، به این صورت که با داده‌های حاصل از نمونه‌برداری تصادفی ساده در نواحی دچار حرکات توده‌ای، محاسبه پارامترهای صحت سنجی در دستور کار قرار گرفت. به طور کلی از ۵۰٪ زمین لغزش‌ها برای اجرای روش‌ها و از ۵۰٪ باقی مانده به منظور ارزیابی روش‌ها استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

با توجه به تعداد لایه‌های اطلاعاتی مهیا شده برای این مطالعه، ۸ لایه، از دو شاخص برای دسته مرتبه بالاتر آن‌ها در تحلیل سلسله مراتبی فازی با نام‌های «توپوگرافی» و «طبیعی و زمین‌شناختی» استفاده شد. جدول ۶ معیارها و شاخص‌هایی را که بر اساس نظرات کارشناسان (۲۸ کارشناس) حاصل شده است، نشان می‌دهد. بر این اساس ۳ ماتریس برای انجام مقایسات زوجی وجود دارد که شامل ماتریس شاخص‌ها و دو ماتریس معیارهای «طبیعی و زمین‌شناختی» و «توپوگرافی» می‌باشد. در مرحله بعد با استفاده از شیوه FAHP باکلی که از اعداد دوزنقه‌ای فازی استفاده می‌کند و در محیط برنامه متلب نوشته شده است، اهمیت نسبی معیارها برای همپوشانی در محیط GIS تعیین شده است. جدول ۷ اوزان تولید شده برای لایه‌های اطلاعاتی نشان می‌دهد.

جدول ۶- شاخص‌ها و معیارهای دسته‌بندی شده برای پیاده‌سازی FAHP

شاخص‌ها	توپوگرافی	طبیعی و زمین‌شناختی
معیارها	شیب زمین	پوشش گیاهی
	ارتفاع	فاصله از ساختارهای خطی
	جهت شیب	رطوبت نسبی متوسط
	انحنای دامنه	رده مقاومتی زمین

جدول ۷- اوزان استخراج شده از روش FAHP برای لایه‌های اطلاعاتی

معیارها	درجه اهمیت
جهت شیب	۰/۰۳۸۰
ناهمواری (انحنای دامنه)	۰/۰۶۱۳
فاصله از ساختارهای خطی	۰/۰۸۳۳
شیب زمین	۰/۱۶۹۳
ارتفاع	۰/۱۰۴۷
شاخص پوشش گیاهی متوسط	۰/۱۴۹۴
رطوبت نسبی متوسط	۰/۰۶۹۳
رده مقاومتی زمین	۰/۳۲۴۷

در نهایت همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی با اوزان به دست آمده، با شیوه همپوشانی شاخص یا مجموع ساده وزن‌دار (SAW) انجام گرفت این روش متداول‌ترین مدل کار بر روی مسائل تصمیم‌گیری چند صفتی مکانی می‌باشد (رابطه ۱۲). با همپوشانی لایه‌های استاندارد شده، نقشه پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری وقوع زمین‌لغزش در محدوده مورد مطالعه حاصل شده است (شکل ۹- الف).

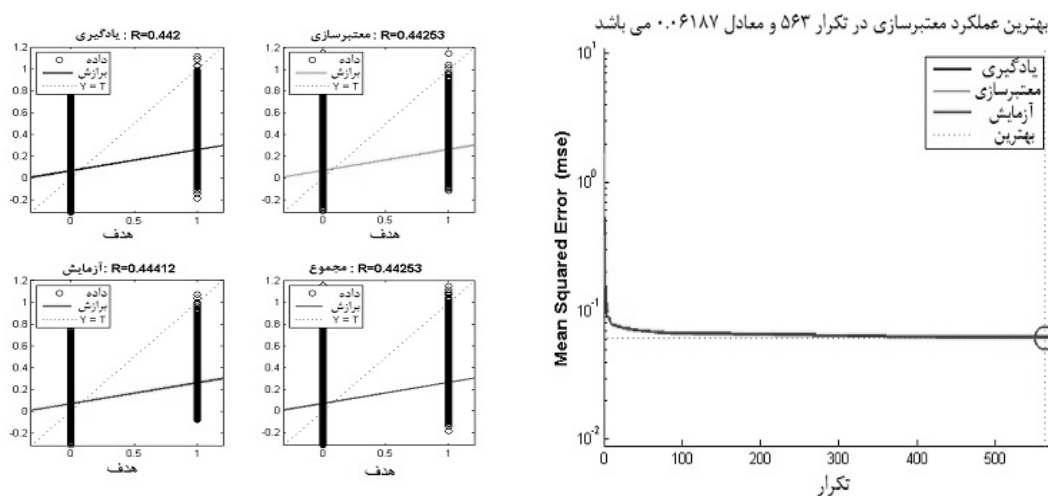
$$A_j = \sum w_j x_{ij} \quad [12]$$

$$\sum w_j = 1$$

۳-۲- روش شبکه‌های عصبی مصنوعی

اجرای الگوریتم شبکه عصبی تماماً در محیط نرم‌افزار Matlab و با بهره گرفتن از جعبه‌ابزار شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام گرفت. برای آموزش و آزمایش شبکه عصبی ۵۰٪ از نواحی که قبلاً متأثر از زمین‌لغزش بوده‌اند و ۱۰٪ از مناطقی که قبلاً دچار زمین‌لغزش نشده بودند به صورت تصادفی ساده نمونه‌برداری شد. به عبارتی از ۱۰٪ این نواحی در کنار ۵۰٪ پهنه‌های لغزشی ثبت شده برای آموزش استفاده شد.

برای پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری وقوع زمین‌لغزش با شیوه ANN از مدل پرسپترون چندلایه استفاده شد و پارامترهای مختلف شبکه به‌جز تعداد لایه‌های اطلاعاتی ورودی (۸ ورودی آماده‌شده در مراحل قبلی) و خروجی (نقشه پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری وقوع حرکات توده‌ای) بیشتر با سعی و خطا و کنترل میزان خطا و دقت شبکه تعیین شدند. به این صورت که بهترین پارامترها با توجه به بیشینه شدن دقت برگزیده شدند. شکل (۷) نمودار آموزش و اعتبارسنجی شبکه اجرا داده شده را نمایش می‌دهد در شکل (۸) نیز ضرایب همبستگی بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب نمایش داده شده است.



شکل ۸- ضرایب همبستگی بین خروجی شبکه و خروجی مطلوب

شکل ۷- آموزش و اعتبارسنجی MLP اجراشده

پس از اجرای الگوریتم شبکه عصبی، خروجی حاصل که ماتریسی به ابعاد لایه‌های اطلاعاتی ورودی را نشان می‌داد، در محیط برنامه تولید شد. این ماتریس پس از نرمال‌سازی، مقادیری بین ۰ تا ۱ را شامل می‌شد که مقادیر بالاتر نشان‌دهنده احتمال وقوع بالاتر زمین‌لغزش و حرکات توده‌ای می‌باشند (شکل ۹-ب).

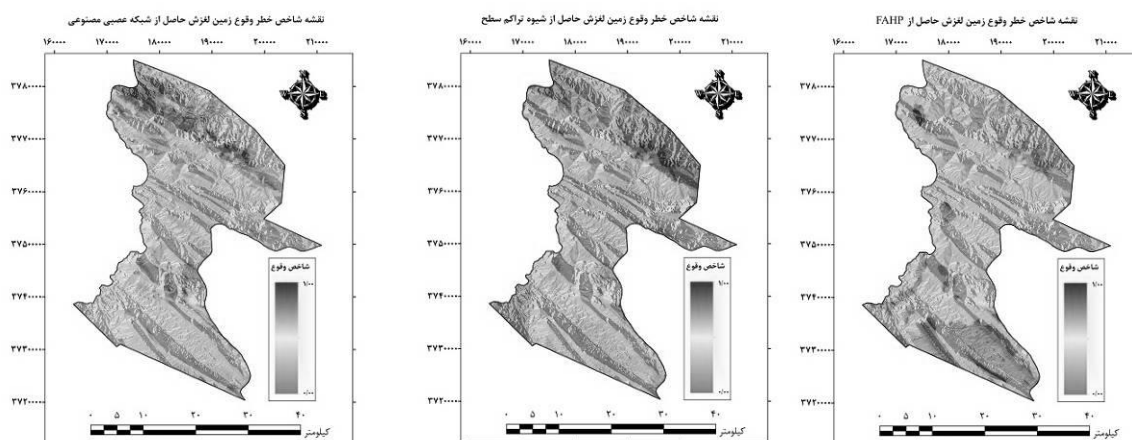
۳-۳- روش تراکم سطح

روش تراکم سطح از روند قابل قبول و منطقی‌ای در تفکیک رده‌های حساسیت‌پذیری و تغییرات اندیس لغزش برخوردار است. نتایج حاصل از این شیوه پس از تعیین تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر یک از زیرگروه‌ها و امتیازدهی به آن‌ها در جدول ۸ ارائه شده است. برای انتخاب طبقات مختلف از روش شکست طبیعی استفاده شده است که با نتایج بهینه همراه است و بر اساس واریانس میان داده‌ها تعداد کلاس‌ها تغییر داده شد.

جدول ۸- رتبه‌های استخراج شده برای لایه‌های اطلاعاتی حاصل از شیوه تراکم سطحی

امتیاز	طبقات انحنایی	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	واحدهای زمین‌شناختی
-۰/۰۰۱۷	-۲/۲۲ - ۳-	-۰/۰۰۳۷	مسطح	۰/۰۳۲۷	Ekn
۰/۰۰۲۷	-۱/۴۴ - ۲/۲۲-	-۰/۰۰۴۸	شمالی	-۰/۰۰۴۴	EMas-sb
۰/۰۰۰۷	-۰/۷۷ - ۱/۴۴-	-۰/۰۱۷۸	شمال‌غربی	-۰/۰۰۱۱	Kbgp
-۰/۰۰۰۷	-۰/۲۲ - ۰/۷۷-	۰/۰۰۱۶	غربی	-۰/۰۱۳۰	Kgu
-۰/۰۰۱۱	۰/۱۱ - ۰/۲۲-	-۰/۰۰۱۷	جنوب‌غربی	-۰/۰۲۸۰	KPeam
۰/۰۰۱۴	۰/۵۵ - ۰/۱۱	-۰/۰۰۳۶	جنوبی	-۰/۰۳۱۱	Mlgs
۰/۰۰۲۳	۰/۵۵ - ۱/۱۱	۰/۰۰۷۰	جنوب‌شرقی	-۰/۰۲۵۶	MuPlaj
۰/۰۰۴۰	۱/۱۱ - ۲/۱۱	۰/۰۰۹۹	شرقی	۰/۰۴۸۸	PeEtz
		۰/۰۰۸۰	شمال‌شرقی	-۰/۰۳۳۸	Plc
				-۰/۰۳۳۸	Qft1
				-۰/۰۳۳۸	Qft2
				-۰/۰۳۳۸	TRKurl
امتیاز	طبقات ارتفاعی	امتیاز	شیب (درجه)	امتیاز	طبقات رطوبت نسبی متوسط (%)
-۰/۰۰۸۳	۹۵۳-۱۲۱۰	-۰/۰۱۵۹	۰-۵/۸۸	۰/۰۰۰۰	۴۵/۰۵-۴۵/۳۵
-۰/۰۰۸۱	۱۲۱۰-۱۳۸۳	-۰/۰۰۵۴	۵/۸۸-۱۰/۱۱	۰/۰۷۰۶	۴۵/۳۵-۴۵/۵۳
-۰/۰۰۷۴	۱۳۸۳-۱۵۲۹	۰/۰۰۶۱	۱۰/۱۱-۱۴/۴۳	۰/۰۴۴۴	۴۵/۵۳-۴۵/۷۱
-۰/۰۰۱۲	۱۵۲۹-۱۶۶۳	۰/۰۱۱۱	۱۴/۴۳-۱۹/۰۷	۰/۰۳۰۳	۴۵/۷۱-۴۵/۸۹
۰/۰۰۱۲	۱۶۶۳-۱۸۰۶	۰/۰۱۰۵	۱۹/۰۷-۲۴/۳۱	۰/۰۲۷۶	۴۵/۸۹-۴۶/۰۴
-۰/۰۰۳۳	۱۸۰۶-۱۹۷۹	۰/۰۰۳۳	۲۴/۳۱-۳۰/۶۳	۰/۰۱۲۲	۴۶/۰۴-۴۶/۲۲
-۰/۰۰۰۲	۱۹۷۹-۲۱۹۶	-۰/۰۱۲۶	۳۰/۶۳-۳۹/۲۵	۰/۰۳۷۸	۴۶/۲۲-۴۶/۴۰
۰/۰۹۳۲	۲۱۹۶-۲۵۹۶	-۰/۰۲۱۰	۳۹/۲۵-۶۹/۱۸	۰/۰۴۱۵	۴۶/۴۰-۴۶/۶۶
امتیاز	طبقات NDVI متوسط	امتیاز	طبقات فاصله از ساختارهای خطی		
-۰/۰۳۱۳	۰/۰۹۰۶ - ۰/۰۲۸۵-	۰/۰۰۰۸	۰/۰۰ - ۳۲۴/۴۹۹		
-۰/۰۲۱۵	۰/۱۲۷۲ - ۰/۰۹۰۶	۰/۰۰۱۵	۳۲۴/۴۹۹ - ۶۷۴/۱۶۶		
-۰/۰۰۳۶	۰/۱۵۷۹ - ۰/۱۲۷۲	۰/۰۰۰۶	۶۷۴/۱۶۶ - ۱۰۵۰/۴۲۸		
۰/۰۰۶۲	۰/۱۸۴۹ - ۰/۱۵۷۹	۰/۰۰۲۱	۱۰۵۰/۴۲۸ - ۱۴۶۵/۴۰۱۰		
۰/۰۰۶۹	۰/۲۰۹۹ - ۰/۱۸۴۹	۰/۰۰۱۵	۱۴۶۵/۴۰۱۰ - ۱۹۳۶/۸۰۱۵		
۰/۰۱۰۶	۰/۲۳۶۸ - ۰/۲۰۹۹	۰/۰۰۱۶	۱۹۳۶/۸۰۱۵ - ۲۵۰۴/۵۹۵۷		
۰/۰۲۹۹	۰/۲۶۹۵ - ۰/۲۳۶۸	-۰/۰۲۵۷	۲۵۰۴/۵۹۵۷ - ۳۳۵۶/۷۸۴۱		
۰/۰۲۶۸	۰/۴۵۹۹ - ۰/۲۶۹۵	-۰/۰۳۳۸	۳۳۵۶/۷۸۴۱ - ۵۶۰۶/۰۶۸۳		

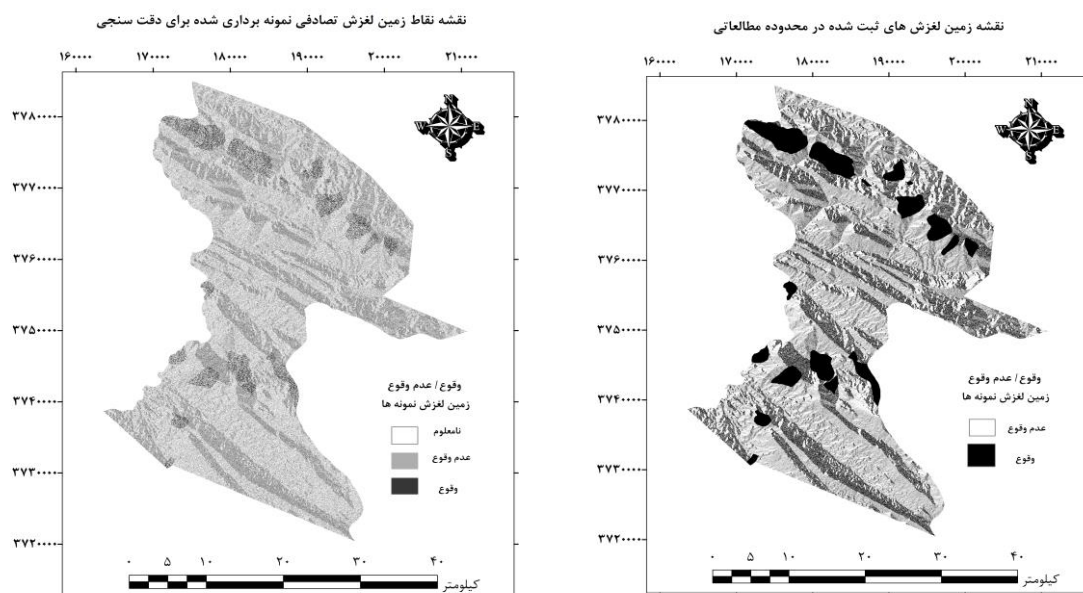
بعد از آن‌که برای هر کدام از زیرگروه‌ها امتیازدهی و وزن دهی انجام شد. در محیط GIS، نقشه مربوط به این لایه‌ها تهیه می‌گردد. پس از انجام مراحل فوق، برای تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی، لایه‌های وزنی پارامترها با یکدیگر تلفیق می‌شوند. شکل (۹-ج) نقشه استخراج شده از این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری زمین لغزش حاصل از ۳ روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (الف) شبکه عصبی مصنوعی (ب) و تراکم سطح (ج).

۳-۴- برآورد صحت نتایج حاصل از سه روش

برای تعیین صحت خروجی‌ها از ۵۰٪ نواحی دچار زمین لغزش و ۱۰٪ نواحی که زمین لغزش و حرکات توده‌ای برای آن‌ها ثبت نشده بود، بهره برده شد، لازم به ذکر است که جهت اعتبار سنجی منطقی، نمونه‌برداری این نواحی از مناطقی که به منظور آموزش شبکه عصبی بکار رفت صورت نگرفته است (شکل ۱۰).



شکل ۱۰- نقشه موقعیت نواحی زمین لغزش به وقوع پیوسته و نواحی زمین لغزش نمونه‌برداری شده

در مجموع با توجه به نوع انتخاب داده‌های آموزشی و آزمایشی به کاررفته صحت حاصل برای سه شیوه به کاررفته می‌تواند قانع‌کننده تلقی گردد (جدول ۹) ولی درعین حال صحت شیوه ANN و تراکم سطح به‌طور قابل ملاحظه‌ای بهتر از شیوه FAHP خود را نشان داده است که می‌تواند ناشی از عملکرد ضعیف FAHP در مقایسات زوجی مناسب باشد، به عبارتی نظرات آن دسته از کارشناسانی را باید دخیل نمود که علاوه بر تسلط به جنبه‌های علمی مسئله، وقوف و آشنایی کاملی با منطقه مورد مطالعه را داشته باشند تا بتوانند مقایسات زوجی مناسب را در مورد شاخص‌ها و معیارها توصیه کنند. از طرفی ثبت بالاترین صحت برای شیوه ANN می‌تواند به دلیل عملکرد مناسب این روش تلقی شود که توانسته است با بهره‌گیری مناسب از داده‌های آموزشی و یافتن روابط درونی مقادیر هدف و ورودی‌ها، به تولید خروجی‌های مناسب بپردازد.

جدول ۹- نتایج آماره‌های صحت سنجی برای خروجی‌های حاصل از MLP، FAHP و تراکم سطح

Area Density		FAHP		ANN		آماره صحت سنجی
۰/۷۱۸۶		۰/۵۸۰۹		۰/۷۳۲۲		صحت کلی
۰/۷۱۹۶	۰/۷۱۶۹	۰/۶۷۷۳	۰/۴۰۷۴	۰/۶۸۹۶	۱۰/۸۰۹	صحت کاربر
۰/۲۸۰۴	۰/۲۸۳۱	۰/۳۲۲۷	۰/۵۹۲۶	۰/۳۱۰۴	۰/۱۹۱	خطای اضافه
۰/۸۲۰۶	۰/۵۸۶۹	۰/۶۷۲۹	۰/۴۱۲۳	۰/۸۶۶۶	۰/۵۹۱۵	صحت تولیدکننده
۰/۱۷۹۴	۰/۴۱۳۱	۰/۳۲۷۱	۰/۵۸۷۷	۰/۱۳۳۴	۰/۴۰۸۵	خطای اضافه

۴- جمع بندی

یکی از مراحل حساس در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای، پهنه‌بندی یک ناحیه در برابر مخاطرات طبیعی است. از طرفی استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای ورود، ذخیره اطلاعات و نهایتاً مدل‌سازی و پهنه‌بندی علاوه بر افزایش صحت، سرعت و کارایی، امکان انجام محاسبات مختلف، تحلیل‌ها و نتیجه‌گیری‌ها را به نحو بسیار مناسبی فراهم می‌کند. در دهه‌های اخیر گسترش و توسعه روش‌های متنوع تجربی، آماری، شبکه عصبی مصنوعی و کاربردهای آن‌ها در برآورد و مدل‌سازی جنبه‌های مختلف مخاطره زمین لغزش رو به افزایش بوده است.

با دقت در نتایج حاصل معلوم شد که در دو روش MLP و تراکم سطح پهنه‌های مشابهی به عنوان نواحی مستعد وقوع زمین لغزش شناسایی شده‌اند، در حالی که پهنه‌های مستعد در FAHP عمدتاً در جنوب محدوده مطالعاتی متمرکز بوده‌اند (شکل ۹)؛ به عبارتی FAHP پهنه‌های بیشتری را به عنوان نواحی حساس‌تر، در قیاس با دو رویکرد دیگر، شناسایی کرده است. لذا رفتار دو اسلوب شبکه عصبی و تراکم سطح در برآورد نواحی مستعد وقوع

۱ مقدار خانه سمت راست برای کلاس نواحی متأثر از زمین لغزش و خانه سمت چپ در هر شیوه برای نواحی بدون حرکات توده‌ای مد نظر قرار گرفته است.

زمین لغزه منجر به آرایش مشابهی از پهنه‌های حساس به وقوع این مخاطره شده است. همچنان که این تفاوت عملکرد در اختلاف معنی دار میان پارامترهای اعتبار سنجی (جدول ۹) منعکس شده است. در تحلیل عملکرد تطبیقی دو الگوریتم MLP و تراکم سطح می‌توان گفت که ماهیت روش تراکم سطح بر حساسیت سنجی کلاس‌های لایه‌های اطلاعاتی به پهنه‌های زمین لغزش‌های رخ داده استوار می‌باشد، بنابراین لزوم انتخاب تعداد و فاصله کلاس مناسب برای تعیین رتبه‌های کلاس‌های هر لایه اطلاعاتی از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد، با بالارفتن تعداد کلاس‌ها عملکرد تراکم سطح نیز بالاتر می‌رود ولی این افزایش از حدی به بعد دیگر اثر خود را از دست می‌دهد. با این حال نقطه قوت آن در مقایسه با شبکه عصبی مصنوعی، یکپارچگی مراحل استانداردسازی و وزن دهی عدم وابستگی و به طور کلی سادگی اجرای آن می‌باشد. در صورتی که نقاط قوت MLP را می‌توان در عدم حساسیت به چگونگی توزیع داده‌ها، دخالت کمتر کاربر و توانایی مدلسازی عدم قطعیت‌های موجود برشمرد. از این رو این تفاوت‌ها به دقت بالاتر شبکه عصبی مصنوعی منجر شده است. به‌طورکلی این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از شیوه‌های محاسباتی غیرقطعی در تحلیل مکانی پدیده‌ها و مخاطرات طبیعی با کمترین دخالت عامل انسانی می‌تواند به استنباط دقیق‌تری از واقعیت موجود پدیده‌ها منجر گردد.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده (شکل ۹) نواحی شمالی و جنوب شرقی به‌طرف نواحی مرکزی که پتانسیل بالاتر را برای وقوع زمین‌لغزش نشان می‌دهند می‌توانند به‌عنوان حساس‌ترین نواحی معرفی شوند. بنابراین در برنامه‌های مدیریتی و سیاست‌گذاری‌های محیطی باید با دقت بیشتری مدنظر قرار گرفته شوند و از هرگونه عملیات غیرمهندسی مانند تغییرات کاربری و جاده‌سازی غیراستاندارد به جهت در امان ماندن از وارد آمدن خسارات جانی و مالی احتمالی، در این مناطق خودداری گردد.

منابع

- ایزدی، ز؛ انتظاری، م؛ ۱۳۹۲. زمین‌لغزش‌های ایران، معرفی، عوامل و مدیریت. رشد آموزش جغرافیا. شماره ۴ صص ۳۲-۳۷
- آهنی، ع؛ امامقلی زاده، ص؛ موسوی ندوشنی، س. س؛ اژدری، خ؛ ۱۳۹۵. منطقه بندی حوزه‌های آبخیز با بکارگیری نوعی از شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور تحلیل فراوانی منطقه‌ای سیلاب. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز. شماره ۷(۱۴). صص ۱۱۸_۱۰۶
- بختیاری، م، ع. صابری. و ک. رنگزن؛ ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه شیرین بهار خوزستان با استفاده از GIS به روش آنالیز حساسیت. اولین همایش ملی علمی دانشجویی انجمن علمی زمین شناسی.
- بهاروند، س؛ سوری، س؛ ۱۳۹۴. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: حوزه سپیددشت، لرستان). فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی. شماره ۶(۴). صص ۳۱-۱۵.

- بهشتی راد، م؛ فیض نیا، س؛ سلاجقه، ع؛ احمدی، ح؛ ۱۳۸۸. بررسی کارایی مدل پهنه بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان (CF) مطالعه موردی حوضه آبخیز معلم کلایه. *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. ۲(۵): ۱۹-۲۸.
- جوادی، م. ر؛ طهرانی پور، ه؛ غلامی، ش.ع؛ فتاحی اردکانی، م. ع؛ ۱۳۹۱. مقایسه روش های مورا و وارسون و رگرسیون چندمتغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش حوضه آبخیز کن. *پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز*. شماره ۳(۵).
- حسن زاده، محمد؛ ۱۳۷۹. *پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز سلمانرود*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- رنگزن، ک؛ ظاهری، ز؛ مرادزاده، م؛ کلی، م. ع؛ ۱۳۸۷. ارزیابی پارامترهای مؤثر بر زمین لغزش در حوزه آبخیز اعلاء - رود زرد باغملک با استفاده از تکنیک های سنجش از دور. **GIS** و روش های آماری. همایش ژئوماتیک ۸۷ - رنگزن، ک؛ کابلی زاده، م؛ منصورنعمی، ا؛ ۱۳۹۴. پهنه بندی خطرپذیری زلزله با استفاده سیستم استنتاج فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی. *فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. شماره ۶(۲). صص ۱-۱۸.
- سوری، س؛ لشکری پور، غ؛ غفوری، م؛ فرهادی نژاد، ط؛ ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوزه چم سنگر). *فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*. شماره ۴(۴). صص ۶۰-۴۷.
- عطائی، محمد؛ ۱۳۸۹. *تصمیم گیری چندمعیاره فازی*. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قدسی پور، حسن؛ ۱۳۹۲. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران).
- کامران زاد، ف؛ محصا افشار، ع؛ مجرب، م؛ معاریان، ح؛ ۱۳۹۴؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. *علوم زمین*. شماره ۲۵(۹۷). صص ۱۱۴ - ۱۰۱.
- کریمی، م؛ نجفی، م؛ ۱۳۹۱. ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل ترکیبی Fuzzy-AHP در راستای توسعه و امنیت شهری (مطالعه موردی: منطقه یک کلان شهر تهران). *فصلنامه پژوهش های فرسایش محیطی*. شماره ۲(۸). صص ۷۷-۹۵.
- کوره پزان دزفولی، امین؛ ۱۳۸۷. *اصول تئوری مجموعه های فازی*. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.
- مقیم، ا؛ باقری سید شکری، ط؛ صفرراد، ط؛ ۱۳۹۱. پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: اقدیس نسا زآگرس شمال باختری). *پژوهش های جغرافیای طبیعی*. شماره ۷۹. صص ۷۷ - ۹۰.
- منهاج، محمد؛ ۱۳۸۸. *مبانی شبکه های عصبی*. تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- نصرآزادانی، ا؛ شیرانی، ک؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و مقایسه روش های پهنه بندی آماری دومتغیره با استفاده از GIS مطالعه موردی (حوضه آبخیز دز علیا). همایش ژئوماتیک ۸۸

- Ayalew, L. & Yamagishi, H., 2005. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in Kakuda-Yahiko Mountains. Central Japan, *Geomorphology*. 65, 15–31.
- Baeza, C. & Corominas, J., 1996. Assessment of shallow landslide susceptibility by means of statistical techniques proceedings of the seventh international symposium on landslides: Trondheim: pp 147-153.
- Biswajeet Paradhan., 2010, Remote sensing and GIS based Landslid hazard analysis and cross validation using multivariate logistic regression model on three test ares in Malaysia.
- Hattanji, T. & Moriwaki, H., 2009. Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance of future landslides. *Journal of Geomorphology*. 103, 447-454.
- Hu, X. & Weng, Q., 2009. Estimating impervious surfaces from medium spatial resolution imagery using the self-organizing map and multi-layer perceptron neural networks. *Remote Sensing of Environment*. 113, 2089-2102.
- IAEG Commission on Landslides, 1990. Suggested nomenclature for landslides *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. 41, 13-16.
- Jade, S. & Sarkar, S., 1993. Statistical Models for Slope Instability Classification. *Engineering geology*. 36, 91-98.
- Jensen, J.R., 1995, *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. University of South Carolina. Third Eddithion.
- Kanungo, D., Arora., M., Sarkar, S., & Gupta, R., 2006. A comparative study of conventioanal, ANN Blak Box, Fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedureds for landslide suceptibility zonation in darjeeling himalayas, *Engineering Geology*. 85, 347-366.
- Kavzoglu, T., & Mather, P.M., 2003. The use of backpropagating artificial neural networks in land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*. 24, 4907–4938.
- Khezri, S., 2011. Landslide susceptibility in the Zab Basin, northwest of Iran. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 726-731.
- Lan, H.X., Zhau, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., & Li, R.H., 2004. Landslide hazard spatial analysis and prediction using gis in the xiaojiang watershed, yunnan: china, *Engineering Geology*. 76, 109-128.
- Lee, S., Ryu, J.H., Lee, M.J., & Won, J.S., 2006. The application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea, *Mathematical Geology*. 38(2), 199-220.
- Lee, S., Ryu, J.H., Won, J., & Park, H., 2004. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*. 71, 289-302.
- Melchiorre, C., Matteucci, M., & Azzoni, A., 2008. Artificial neural networks and cluster analysis in landslide susceptibility zonation, *Geomorphology*. 94, 379 – 400.
- Mora, S., & Vahrson, W.G., 1994. Macrozonation methodology for landslide hazard determination. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*. 31, 49-58.
- Naderi, F., Naseri, B., Karimi, H., & Habibi Bibalani, G.H., 2010. Efficiency evaluation of different landslide susceptibility mapping methods (Case study: Zangvan watershed, Ilam province). First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005). Ardebil Province. Iran.
- Othman, A.N., Naim, W.M., & Noraini, S., 2012. GIS based multi-criteria decision making for landslide hazard zonation. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 35, 595-602
- Pareta, K., Kumar, J., & Pareta, U., 2012. Landslide hazard zonation using quantitative methods in gis. *International Journal of Geospatial Engineering and Technology*. 1(1): 1-9.

- Salciarini, D., Godt, J.W., Savage, W.Z., Conversini, P., Baum, R.L., & Michael, J.A., 2006. Modeling regional initiation of rainfall-induced shallow landslides in the eastern Umbria Region of central Italy. *Landslides*. 3, 181-194.
- Srivastava, V., Srivastava, H.B., & Lakhera, R.C., 2010. Fuzzy gamma based geomatic modelling for landslide hazard susceptibility in a part of Tons river valley, northwest Himalaya, India. *Geomatics, Natural Hazards & Risk*. 3, 225-242.
- Torkashvand, A.M., Irani, A., & Sorur, J., 2014. The preparation of landslide map by Landslide Numerical Risk Factor (LNRF) model and Geographic Information System (GIS). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 17(2), 159-170.
- Vahidnia, M.H., Alesheikh, A.A., Ali mohammadi, A., & Hosseinali, F., 2009. Landslide hazard zonation using quantitative methods in gis. *International Journal of Civil Engineering*. 7(3), 1-14.
- Van Westen, C.J., 1993. Application of geographic information systems to landslide hazard zonation. *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Publication*. 1(15).
- Varnes, D.J., 1984. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO). France.
- Wang, L.J., Kazuhide, S., & Shuji, M., 2013. Landslide susceptibility analysis with logistic regression model based On FCM sampling strategy. *Computers & Geosciences* 57, 81-92.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., & Yomralioglu, T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey. *Catena*. 85, 274-287.
- Yilmaz, I., 2010. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: A case study from kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*. 35, 1125-1138.