



اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز از نظر ریسک خطر وقوع زمین لغزش در استان کرمانشاه بر اساس مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره (ELECTRE-1)

مژگان انتظاری^{۱*}، طاهره جلیلیان^۲

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۶/۲۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۷

چکیده

زمین لغزش یکی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی از نوع حرکات دامنه‌ای با خسارت‌های اکولوژیکی و اقتصادی بالا می‌باشد. اولویت‌بندی زیرحوضه‌های یک حوضه آبخیز براساس پتانسیل وقوع زمین لغزش، با هدف تعیین اولویت در سیاست‌گذاری‌ها و اقدامات مدیریتی می‌تواند نقش مهمی در مدیریت بهینه آبخیزها داشته باشد. در تحقیق حاضر از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (الکترا) به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز استان کرمانشاه از نظر ریسک خطر وقوع زمین‌لغزش استفاده شده است. معیارهای در نظر گرفته شده، شامل ده معیار مختلف شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، تراکم آبراه، تراکم گسل، دما، بارش، زمین‌شناسی، کاربری و تراکم گسل است که از معیارهای مهم و تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش هستند. وزن معیارها بر اساس مدل آنتروپی آنها به دست آمده و با استفاده از مدل الکترا شش زیرحوضه آبخیز در استان اولویت‌بندی، بررسی و سپس نقشه‌ی اولویت‌بندی این شش زیرحوضه آبخیز تهیه شد. تهیه نقشه‌ی اولویت‌بندی این امکان را فراهم می‌سازد که مناطق آسیب‌پذیر شناسایی و در برنامه‌ریزی محیطی مد نظر قرار گیرند. نقشه‌ی اولویت‌بندی منطقه‌ی مورد نظر نشان می‌دهد که زیرحوضه‌ی ریزه‌وند ماهیدشت در اولویت اول و زیرحوضه‌ی کنگیر در اولویت آخر قرار دارند. به‌گونه‌ای که براساس نتایج به‌دست آمده حدود ۳۴ درصد لغزش‌های منطقه در زیرحوضه‌ی ریزه‌وند ماهیدشت رخ داده که علت اصلی آن تکتونیک و جنس سازنده‌ی سطحی است. در نتیجه این منطقه از لحاظ ضرورت انجام اقدامات مدیریتی در اولویت است.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، مخاطرات، حوضه آبخیز، آنتروپی، تصمیم‌گیری چندمعیاره.

۱- دانشیار، گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده‌ی مسئول). E-mail: m.entezari@geo.ui.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

مقدمه

رشد جمعیت و پیشرفت علم این امکان را به بشر داده تا منابع طبیعی را بیش از پیش بهره‌برداری کند و نتیجه‌ی این بهره‌برداری بیش از حد، افزایش بلایای طبیعی بوده است (بشیری و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۵۸). بر طبق گزارش‌های جهانی مخاطرات طبیعی در سال ۲۰۱۲، لغزش در میان هفت بلایای طبیعی خطرناک جهانی قرار گرفت (فتحی و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۱۶) زمین‌لغزش پدیده‌ی پیچیده‌ای است که بر زندگی انسان، منابع طبیعی و اموال در سراسر جهان تأثیر می‌گذارد. سالانه رانش زمین باعث مرگ ۱۰۰۰ نفر و از بین رفتن ۴ میلیارد دلار اموال در سراسر جهان می‌شود (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۸: ۲۳). این پدیده موجب بروز خسارت‌های زیادی از جمله خسارت به انسان‌ها، مناطق مسکونی، صنعتی و محیط زیست شده است (محمدی و پورقاسمی، ۱۳۹۶: ۱۶۱). به علت این آسیب‌ها، سیاست‌مداران توجه زیادی به پژوهش در خصوص زمین‌لغزش برای تهیه‌ی نقشه‌ی پهنه‌بندی برای شناسایی مناطق حساس و مناطق باثبات برای توسعه‌ی آینده دارند (یو و همکاران^۱، ۲۰۱۶: ۳۵). زمین‌لغزش در ایران به عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۹۶). به منظور کاهش و یا کنترل خسارت ناشی از زمین لغزش، تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت، خطر و ارزیابی ریسک زمین لغزش امری ضروری است (ونگ و همکاران^۲، ۲۰۱۶: ۲۱۶). تاکنون مطالعات فراوانی درباره‌ی زمین‌لغزش‌ها در کشور و جهان صورت گرفته است. عرب عامری و شیروانی (۱۳۹۵) در حوضه‌ی ونک سمیرم استان اصفهان از تئوری احتمالاتی دمپستر- شفر به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر در این حوضه استفاده کردند. نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد که عامل نزدیکی به جاده مهم‌ترین تأثیر را در شکست شیب‌های حوضه‌ی مورد مطالعه داشته است. قویمی پناه و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی و مقایسه صحت دو روش سلسله مراتبی و رگرسیون چندمتغیره در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

1- Yu et al.,

2- Wang et al.,

در حوضه‌ی آبخیز ولی عصر در استان اردبیل پرداختند. بر پایه این پژوهش روش رگرسیون چندمتغیره نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی در منطقه‌ی مورد مطالعه دقت بیشتری دارد. روستایی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی ویژگی‌ها و تأثیرات ژئومورفولوژیکی لغزش سیمره و چگونگی تحول ژئومورفیک این زمین لغزش و مقایسه با زمین لغزش‌های بزرگ دنیا پرداخته‌اند. چن^۱ و همکاران (۲۰۱۶) در استان شانکسی چین به مقایسه‌ی روش‌های دمپستر شیفر، رگرسیون لجستیک و شبکه‌ی عصبی مصنوعی جهت پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی بیشترین دقت را دارد. پولکریتیس^۲ و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی عملکرد مدل استنتاج عصبی فازی تطبیقی (انفیس) با استفاده از ۶ تابع عضویت و هفت عامل ورودی در منطقه‌ی پلوپونز یونان پرداختند، نتایج نشان از توانایی این مدل در منطقه دارد. پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۸) در منطقه‌ی جوامون جین در کره جنوبی اقدام به تولید نقشه‌های حساسیت زمین لغزش کردند. در این پژوهش از سه الگوریتم یادگیری ماشین LR، LB و NB استفاده کرده‌اند و نتایج پژوهش آنها نشان داد مدل‌های LR و LB دقت منطقی نسبت به مدل NB در ارزیابی حساسیت وقوع لغزش دارند. در سال‌های اخیر، توجه به روش‌های رتبه‌بندی در مطالعات محیطی به ویژه مدیریت ریسک مخاطرات طبیعی و به کارگیری این روش‌ها، گستره‌ی زیادی یافته است. در پژوهش‌های مختلف از تکنیک‌های متفاوتی نظیر مدل AHP، مدل‌های آنتروپی، منطق فازی و... استفاده شده است. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن شرایط و خصوصیات تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش در منطقه‌ی مورد مطالعه از تکنیک ELECTER به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز نسبت به خطر وقوع زمین لغزش استفاده شده است. لذا با استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، امکان در نظر گرفتن معیارهای متنوع کمی و کیفی و استفاده از برآیند نظرات کارشناسی در وزن‌دهی معیارها

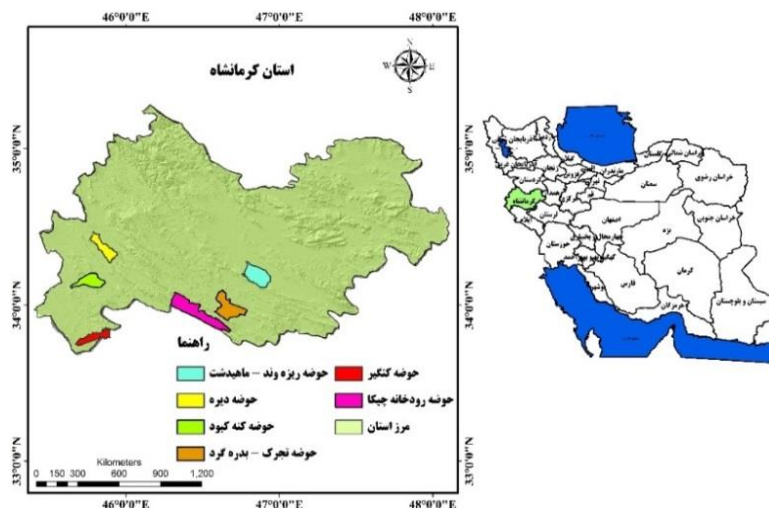
1- Chen et al.,

2- Polykretis et al.,

میسر می‌شود که در این حالت تصمیم‌گیری نهایی با شرایط واقعی موجود در طبیعت هم‌خوانی بیشتری خواهد داشت.

محدوده و قلمرو پژوهش

استان کرمانشاه از شمال به استان کردستان، از شرق به استان همدان، از جنوب به استان ایلام و از غرب به کشور عراق محدود شده است. این استان در میانه‌ی ضلع غربی کشور بین ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۶ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف‌النهار گرینویچ قرار دارد. استان کرمانشاه دارای آب و هوای معتدل کوهستانی است. متوسط میزان بارندگی در مناطق مختلف استان بین ۸۰۰-۳۰۰ میلی‌متر در نوسان است. با در نظر گرفتن موقعیت زمین ساختی ایران، استان کرمانشاه در برگیرنده‌ی بخشی از زون‌های زمین ساختی زاگرس، سنندج-سیرجان و زون زاگرس خرد شده است که تمامی این زون‌ها هم روند با کوه‌های زاگرس می‌باشند. در این پژوهش، ۶ زیرحوضه‌ی آبخیز در استان کرمانشاه مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل ۱).



شکل (۱) نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوضه‌های مورد مطالعه

– روش تحقیق

شاخص‌های مختلفی برای ارزیابی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش در حوضه‌ها وجود دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر وقوع زمین لغزش در منطقه‌ی مورد بحث، مهم‌ترین معیارهای تأثیرگذار که عبارتند از سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، تراکم گسل، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، دما، بارش و تراکم لغزش انتخاب شده‌اند.

سنگ‌شناسی: با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ها مشاهده می‌شود که بیش‌ترین میزان زمین لغزش‌ها در سازندهای مارنی و کواترنری است. برای استخراج این لایه، از نقشه‌ی رقومی و طبقه‌بندی شده زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور استفاده شده است. امتیازدهی به سازندهای منطقه براساس جدول مربوط به دسته‌بندی حساسیت به لغزش سازندهای زمین‌شناسی زون زاگرس صورت گرفته است.

ارتفاع: تغییرات ارتفاعی می‌تواند تأثیر بسزایی بر سه عامل دما، بارش و رطوبت بگذارد (ایلدرمی و روزبهانی، ۱۳۹۳: ۱۷). برای ترسیم نقشه ارتفاعی از مدل رقومی ارتفاعی محدوده‌های مورد مطالعه (۳۰ متر) استفاده شد و در محیط نرم‌افزاری ArcGIS استخراج شد.

شیب: حرکات دامنه‌ای زمانی اتفاق می‌افتد که زاویه شیب از زاویه‌ی سکون مواد دامنه بیش‌تر شود. در یک دامنه‌ی یک شکل، با خواص مواد برابر، افزایش شیب دامنه، بیش‌ترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده‌ای دارد. با افزایش زاویه شیب، سطح لغزشی کاهش یافته و تنش برشی درخاک‌های آبرفتی افزایش می‌یابد. بنابر این دامنه‌های با شیب ملایم‌تر کمتر در معرض زمین لغزش هستند (عرب عامری و شیرانی، ۱۳۹۵: ۹۷). نقشه شیب در فرمت رستری تهیه شده و به عنوان مدل مورد استفاده قرار گرفته است.

جهت شیب دامنه: جهت شیب نشان‌دهنده‌ی تأثیر متفاوت نور آفتاب، بادهای گرم و خشک و بارش در جهات مختلف است. نقشه جهت شیب منطقه در ۹ گروه در محیط GIS تهیه شده است.

تراکم شبکه‌ی زهکشی: نسبت طول کل آبراه‌ها به مساحت حوضه‌ی آبخیز، تراکم زهکشی است. هرچه تراکم بیشتر باشد، نفوذپذیری کاهش و سرعت جریان‌های سطحی افزایش می‌یابد.

تراکم گسل: گسل‌ها در خردشدگی سنگ‌های پیرامون خود مؤثرند و این خردشدگی باعث لغزش‌های سنگی در مناطق با شیب متوسط می‌شود. نفوذ آب در درون این مناطق خرد شده باعث بالا رفتن سطح آب زیرزمینی و فشار منفذی می‌شود (حایری، ۱۳۷۵: ۳۴). تراکم گسل و تراکم لغزش این لایه‌ها با استفاده از تابع Density به صورت رستر درآمده و تراکم را در واحد سطح نشان می‌دهد.

کاربری اراضی: نقشه‌ی کاربری اراضی نحوه‌ی توزیع پوشش گیاهی، غیرگیاهی و همچنین، نوع پوشش گیاهی در نقاط مختلف را نشان می‌دهد. نقشه‌ی کاربری اراضی حوضه‌های منطقه‌ی مورد مطالعه از نقشه‌ی کاربری اراضی استان کرمانشاه استخراج شده است.

دما و بارش: شدت تأثیر عامل بارش در ناپایداری دامنه‌ها به شرایط آب و هوایی، توپوگرافی منطقه، ساختار زمین‌شناسی دامنه‌ها، نفوذپذیری و سایر خواص توده‌های سنگی و خاکی بستگی دارد (عرب عامری و شیرانی، ۱۳۹۴: ۹۷). اطلاعات بارش و دمای مورد استفاده در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استان کرمانشاه استخراج و به دست آمده است.

– روش ELECTRE-I

الکتره مخفف عبارت "Elimination Et Choix Traduisant La REalité" به معنای "حذف و انتخاب مطابق با واقعیت" می‌باشد (روی^۱، ۱۹۹۱: ۷۳) که یکی از بهترین فنون MADM است. اساس این مفهوم، غیررتبه‌ای است؛ یعنی لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها نمی‌انجامد و ممکن است گزینه‌هایی را حذف کند. این روش شامل چندین نسخه (ELECTRE I, II, III, TRI, IV) است که تمام آن‌ها دارای مبانی مفهومی پایه یکسان هستند و تنها از نظر عملی قدری متفاوتند. در این روش از شاخص‌های کمی و کیفی استفاده می‌شوند و با مقایسات زوجی میان گزینه‌ها، رتبه‌بندی آن‌ها به دست می‌آید. روش الکتره، هم مانند دیگر مدل‌های تصمیم‌گیری برای انتخاب گزینه‌ی برتر بین چند گزینه کاربرد دارد. کارکرد این روش مشابه با مدل تاپسیس است و به دنبال اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌ها از طریق معیارهای مختلف است. در روش الکتره هم باید وزن معیارها برای هر گزینه محاسبه شود. در این مطالعه به منظور اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از روش الکتره استفاده شده که مراحل آن به شرح زیر است:

گام اول: ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری. هرگاه دسته‌ای از اعداد، متغیرها و یا عبارات با آرایش سطری و ستونی در جدول مستطیل شکل قرار داده شود، آرایش به دست آمده یک ماتریس نامیده می‌شود. در این روش، ماتریسی متشکل از گزینه‌ها و شاخص‌ها تشکیل می‌شود که معمولاً گزینه‌ها در سطر و شاخص‌ها در ستون آن قرار می‌گیرند.

گام دوم: نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌سازی ماتریس. شاخص‌های کمی، مقیاس اندازه‌گیری مخصوص به خود را دارند که این کار مقایسه‌ی آنها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. بنابراین باید به روشی آن‌ها را مستقل از واحد اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد.

$$n_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum a_{ij}^2}} \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

در رابطه‌ی (۱) مقدار بی‌مقیاس گزینه i از گزینه j است.

گام سوم: وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده با استفاده از انتروپی شانون. روش یاده شده بر این اصل استوار است که هرچه پراگندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص اهمیت بیشتری دارد. بنابراین، برای محاسبه وزن‌های شاخص به صورت زیر عمل می‌کنیم (m تعداد گزینه‌هاست).

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{i=1}^m x_{ij}} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$E_j = K \sum_{ij} (r_{ij} \cdot \ln r_{ij}) \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$

$$d_j = 1 - E_j \quad \text{رابطه‌ی (۵)}$$

$$w = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j} \quad \text{رابطه‌ی (۶)}$$

در رابطه‌ی (۴ و ۵) مقدار آنتروپی شاخص j ام را نشان می‌دهد.

در رابطه‌ی (۵ و ۶) مقدار اطمینان یا درجه انحراف را برای شاخص j ام بیان می‌کند.

گام چهارم: تشکیل ماتریس هماهنگی. در این مرحله همه‌ی گزینه‌ها دو به دو با هم مقایسه می‌شوند و سپس شاخص‌هایی که گزینه‌ی i ام در آنها با j ام برتری دارد، در مجموعه هماهنگی قرار می‌گیرد و بقیه را در مجموعه‌ی ناهماهنگی می‌نویسیم.

$$C_{ij} = \sum w_j \quad \text{رابطه‌ی (۷)}$$

گام پنجم: تشکیل ماتریس ناهماهنگی. این ماتریس فاقد عناصر قطری است و عناصر دیگر از مجموع وزن‌های اعضای مجموعه هماهنگ تشکیل شده است.

$$d_{ij} = \frac{\max |v_j - v_j|}{\max |v_i - v_j|} \quad \text{رابطه‌ی (۸)}$$

گام ششم: تشکیل ماتریس بولینی هماهنگی. در این ماتریس گزینه‌هایی که مطلوبیت آن‌ها پایین‌تر از حد مشخص است را به صفر و باقی را به یک تبدیل می‌کنیم. این حد آستانه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$c = \frac{\sum c}{m^*(m-1)} \quad \begin{array}{l} C \geq C \\ C \leq C \end{array} \quad \begin{array}{l} B = 1 \\ B = 0 \end{array} \quad \text{رابطه‌ی (۹)}$$

گام هفتم: تشکیل ماتریس بولینی ناهماهنگی، همان‌طور که گفته شد گزینه‌هایی که مطلوبیت آن‌ها کمتر از حد مشخص است را به صفر و باقی را به یک تبدیل می‌کنیم. این حد آستانه از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$d = \frac{\sum d}{m^*(m-1)} \quad \begin{array}{l} d \geq d \\ d \leq d \end{array} \quad \begin{array}{l} h = 0 \\ h = 1 \end{array} \quad \text{رابطه‌ی (۱۰)}$$

گام هشتم: تشکیل ماتریس چیرگی نهایی. ماتریس نهایی از ضرب ماتریس بولین و ماتریس بولین H به دست می‌آید. ماتریس کلی Z نشان‌دهنده‌ی ترتیب نسبی از گزینه‌ها است.

$$Z = H^* \times B \quad \text{(رابطه‌ی (۱۱))}$$

گام نهم: محاسبات چیرگی نهایی

بحث و نتایج

تشخیص نواحی حساس به زمین لغزش‌ها می‌تواند برنامه‌ریزان را به پیش‌بینی نتایج فعالیت‌های انسانی و هدایت درست این فعالیت‌ها براساس آسیب‌رسانی کمتر به منابع

طبیعی، سرمایه‌های ملی و حتی خصوصی یاری رساند. لذا به منظور مدیریت بهینه و صرفه‌جویی در هزینه و زمان، تعیین زیرحوضه‌های پرخطر از لحاظ وقوع زمین لغزش در طرح‌ها و اقدامات آبخیزداری ضروری به نظر می‌رسد. روش ELECTRE توانایی به کارگیری معیارهای کیفی با مقیاس‌های وصفی یا ترتیبی در همان ماهیت اولیه و بدون تبدیل مقیاس را دارد (انوری رستمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۱). این روش در بسیاری از زمینه‌ها مانند انرژی، محیط زیست یا مدیریت آب، انتخاب پروژه، آنالیز تصمیم‌گیری و حمل و نقل کاربرد داشته است. انتخاب روش الکتراه به دلیل نداشتن مقایسات زوجی زیاد و طاقت‌فرسای روش‌هایی مانند AHP و همچنین کاربردهای موفقیت‌آمیز آن در رتبه‌بندی مناطق از نظر وقوع مخاطرات نسبت به سایر روش‌ها برتری دارد و تاکنون از این روش در رتبه‌بندی حوضه‌های مورد مطالعه در استان کرمانشاه نسبت به وقوع لغزش استفاده نشده است. با توجه به موقعیت منطقه، به‌منظور شناسایی نواحی پرخطر، از بین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش، پارامترهای سنگ‌شناسی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، تراکم گسل، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، دما، بارش و تراکم لغزش انتخاب شدند و در ادامه برای اولویت‌بندی شش زیرحوضه مورد نظر، این ده معیار ارزیابی شده و به دلیل پیچیدگی و حجم بالای محاسبات مورد نیاز، الگوریتم تکنیک مدل الکتراه در نرم‌افزار EXCEL برنامه نویسی شده و مقادیر هر مرحله به دست آمده است.

– ایجاد ماتریس کارایی (تصمیم‌گیری)

در ماتریس کارایی معیارها در مقابل گزینه‌ها به صورت ماتریسی مقایسه می‌شوند. در ستون ماتریس نام گزینه‌ها (حوضه) و در سطرهای آن نام معیار نوشته شده است. لازم است ارزش کلیه معیارها به صورت کمی وارد مدل پیشنهادی گردد. جدول (۱) ماتریس تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

جدول (۱) ماتریس اولیه تصمیم‌گیری

کاربری	تعداد لغزش	زمین شناسی	بارش	دما	تراکم گسل	تراکم آبراهه	ارتفاع	جهت شیب	شیب	گزینه‌ها
۲۱	۱۱۲	۲۹	۳۱/۷۴	۵/۶۱	۷/۸۴	۰/۴۶	۱۴۹۰/۴	۷	۱۱/۲۸	۱
۲۵	۲۸	۱۹	۳۰/۹۰	۱۰/۳۴	۷/۵۱	۰/۳۷	۷۸۱/۵	۷	۲۴/۵۸	۲
۲۶	۴۵	۳۰	۳۰/۲۵	۱۳/۵۹	۱۹/۸۷	۰/۳۷	۴۸۰/۴	۵	۲۰/۴۴	۳
۲۲	۶۸	۲۴	۳۵/۷۸	۳/۸۴	۶/۱۹	۰/۲۷	۱۳۸۸/۵	۷	۱۵/۶۲	۴
۱۳	۱۳	۸	۲۰/۳۶	۱۴/۸۶	۶/۳۴	۰/۵۶	۵۴۶/۹	۴	۲۳/۰۰	۵
۱۶	۵۹	۱۴	۳۵/۸۱	۱۱/۲۱	۸/۶۵	۰/۲۴	۱۶۱۷/۶	۵	۲۵/۴۳	۶

- تعیین مقادیر وزن معیارها

میزان اهمیت و وزن هر کدام از معیارها، یکی دیگر از داده‌های است که برای اجرای مدل لازم می‌باشد. برای این کار از روش وزن‌دهی به روش آنترپی شانون استفاده شده است. این روش بر این پایه استوار است که هرچه پراگندگی در مقادیر یک شاخص بیشتر باشد، آن شاخص از اهمیت بیشتری برخوردار است. برای محاسبه‌ی اوزان شاخص‌ها به ترتیب زیر عمل می‌شود. جدول (۲) وزن معیارها را نشان می‌دهد.

جدول (۲) وزن معیارها در مدل ELECTRE

کاربری	تعداد لغزش	زمین شناسی	بارش	دما	تراکم گسل	تراکم آبراهه	ارتفاع	جهت شیب	شیب
۰/۰۴۷	۰/۰۹۷	۰/۱۴۰	۰/۰۲۶	۰/۱۵۶	۰/۱۸۵	۰/۰۷۱	۰/۱۷۷	۰/۰۳۹	۰/۰۶۰

- نرمال‌سازی یا بی‌مقیاس‌سازی ماتریس

شاخص‌های کمی، مقیاس اندازه‌گیری مخصوص به خود را دارند که این کار مقایسه‌ی آنها با یکدیگر را غیرممکن می‌سازد. بنابراین باید به روشی آنها را، مستقل از واحد،

اندازه‌گیری کرد تا بتوان عمل مقایسه را انجام داد. ماتریس بی‌مقیاس وزین در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳) ماتریس بی‌مقیاس وزین

کاربری	تعداد لغزش	زمین شناسی	بارش	دما	تراکم گسل	تراکم آبراهه	ارتفاع	جهت شیب	شیب	گزینه‌ها
۱	۰/۰۱۵۹۱۳	۰/۰۷۰۵۴۶	۰/۰۶۲۱۷۶	۰/۰۰۹۱۰۱	۰/۰۲۷۷۴۰	۰/۰۴۶۵۰۶	۰/۰۲۸۰۶۱	۰/۰۷۷۹۸۷	۰/۰۱۵۴۴۱	۰/۰۱۱۱۵۰۳۴
۲	۰/۰۱۸۹۴۴	۰/۰۱۷۶۳۷	۰/۰۴۰۷۳۶	۰/۰۰۸۸۵۹	۰/۰۵۱۱۲۹	۰/۰۴۴۵۴۸	۰/۰۲۲۸۷۵	۰/۰۴۰۸۹۵	۰/۰۱۵۴۴۱	۰/۰۲۴۲۹۷۴۶
۳	۰/۰۱۹۷۰۲	۰/۰۲۸۳۴۵	۰/۰۶۴۳۲	۰/۰۰۸۶۷۲	۰/۰۶۷۱۹۹	۰/۱۱۷۸۶۶	۰/۰۲۲۵۱۰	۰/۰۲۵۱۳۷	۰/۰۱۱۰۲۹	۰/۰۲۰۲۰۱۸۸
۴	۰/۰۱۶۶۷۱	۰/۰۴۲۸۳۲	۰/۰۵۱۴۵۶	۰/۰۱۰۲۵۳	۰/۰۱۸۹۸۷	۰/۰۳۶۷۱۸	۰/۰۱۶۶۲۷	۰/۰۷۲۶۵۴	۰/۰۱۵۴۴۱	۰/۰۱۵۴۴۵۸۴
۵	۰/۰۰۹۸۵۱	۰/۰۰۸۱۸۸	۰/۰۱۷۱۵۲	۰/۰۰۵۸۳۷	۰/۰۰۷۳۴۷۹	۰/۰۲۷۶۰۸	۰/۰۳۴۵۶۸	۰/۰۲۸۶۱۵	۰/۰۰۸۸۲۴	۰/۰۲۲۷۲۶۷۶
۶	۰/۰۱۲۱۲۴	۰/۰۳۷۱۶۳	۰/۰۳۰۰۱۶	۰/۰۱۰۲۶۷	۰/۰۵۵۴۳۱	۰/۰۵۱۳۱۰	۰/۰۱۴۷۶۹	۰/۰۸۴۶۴۲	۰/۰۱۱۰۲۹	۰/۰۲۵۱۴۱۹۲

- تشکیل ماتریس هماهنگی و ناهماهنگی

این شاخص به صورت زوجی به ازای هر شاخص محاسبه می‌شود. به این صورت که اگر حوضه ۱ از نظر شاخص اول نسبت به حوضه‌ی ۲ برتری داشته باشد، عدد ۱، در غیراین صورت عدد صفر می‌گیرد. عدد ۱ نشان‌دهنده‌ی برتری و عدد صفر نشان‌دهنده‌ی عدم برتری است که برای ممانعت از طولانی شدن مطالب از ارائه آنها خودداری شده است.

- تشکیل ماتریس هماهنگ مؤثر و ناهماهنگ مؤثر

در این مرحله، باید درجه‌ی اعتبار رابطه‌ی غیررتبه‌ای برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از طریق ترکیب شاخص‌های مقادیر هماهنگی و ناهماهنگی محاسبه گردد. محاسبات مورد نظر از طریق رابطه مذکور صورت گرفته شده است و در نتیجه ماتریس هماهنگ مؤثر و ناهماهنگ مؤثر که بیان‌گر درجه اعتبار و برتری یک گزینه برگزیده دیگر براساس جمیع شاخص‌هاست، مطابق جدول (۴) و (۵) به دست می‌آید.

جدول (۴) ماتریس هم‌هنگ مؤثر

گزینه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱		۱	۱	۱	۱	۱
۲	۰		۱	۰	۱	۰
۳	۰	۰		۰	۱	۰
۴	۰	۱	۱		۱	۱
۵	۰	۰	۰	۰		۰
۶	۰	۱	۱	۰	۱	

جدول (۵) ماتریس ناهم‌هنگ مؤثر

گزینه‌ها	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱		۱	۱	۱	۱	۱
۲	۰		۰	۰	۱	۰
۳	۰	۱		۱	۱	۰
۴	۰	۱	۰		۱	۱
۵	۰	۰	۰	۰		۰
۶	۰	۱	۰	۰	۱	

جدول (۶) ماتریس H و رتبه حوضه‌ها

	۱	۲	۳	۴	۵	۶	رتبه
۱		۱	۱	۱	۱	۱	۵
۲			۰	۰	۱	۰	۱
۳		۰		۰	۱	۰	۱
۴	۰	۱	۰		۱	۱	۳
۵	۰	۰	۰	۰		۰	۰
۶	۰	۱	۰	۰	۱		۲

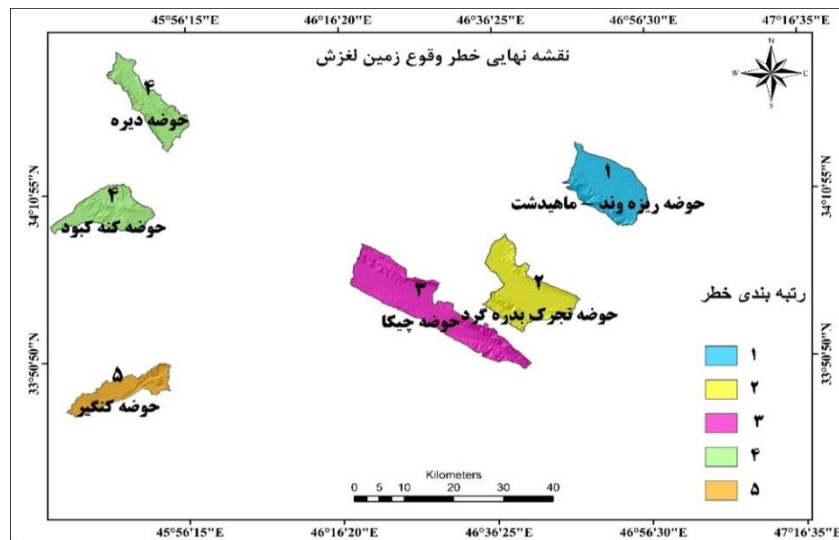
- تشکیل ماتریس چیرگی نهایی

در گام آخر باید نسبت به رتبه‌بندی گزینه‌ها و رتبه‌بندی نهایی آنها اقدام کرد. بدین منظور ابتدا باید ماتریس هم‌هنگ مؤثر را در ماتریس ناهم‌هنگ نامؤثر ضرب کرد و

ماتریس کلی (H) را تشکیل داد. ماتریس کلی، نتیجه کلیه مراحل ذکر شده است. در این ماتریس، با توجه به جمع هر سطر، جایگاه هر حوضه نسبت به حوضه‌های دیگر از نظر اولویت وقوع لغزش رتبه‌بندی می‌شود. جدول (۶) ماتریس نهایی را نشان می‌دهد.

باتوجه به اولویت‌بندی فوق که نتیجه استفاده از تکنیک ELECTRE است، زیرحوضه‌ی ریزه‌وند ماهیدشت با بیشترین مطلوبیت و سازگاری با عمده شاخص‌ها، اولویت اول را در اجرا به‌خود اختصاص داده است. زیرحوضه‌ی تجرک- بدره‌گرد در رتبه‌ی دوم، زیرحوضه‌ی چیکا در رتبه‌ی سوم، زیرحوضه‌ی رودخانه‌ی دیره و زیرحوضه‌ی کنه‌کیود در رتبه‌ی چهارم و زیرحوضه‌ی کنگیر در رتبه‌ی پنجم قرار گرفته‌اند. همچنین بررسی نقشه‌ی پراکندگی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه نشان می‌دهد که تراکم زمین‌لغزش‌ها در حوضه‌ی ریزه‌وند ماهیدشت نسبت به سایر مناطق بالاتر است که علت اصلی آن لیتولوژی منطقه است. لیتولوژی این زیرحوضه عبارت است از سازند امیران، سازند تله‌زنگ، سازند شهبازان، سازند آسماری، سازند آقاجاری، سازند کشگان و رسوبات و آبرفت‌های دوران چهارم که بیشتر شامل پادگانه‌های آبرفتی، مواد منفصل جدید سطح دشت‌ها و نیز مواد کوه رفتی می‌باشد. تجمع آب نفودی در نهشته‌های آبرفتی دوران چهارم زمین‌شناسی و نفوذناپذیر بودن سنگ زیربنا می‌تواند شرایط را برای وقوع این گونه حرکات فراهم کند. از طرفی در حاشیه‌ی اغلب این نهشته‌های کواترنری گسل‌های فعالی وجود دارد. گسل‌ها و عوارض ناشی از آن، نه تنها سبب گسیخته شدن مواد و تضعیف پیوندهای لیتولوژیکی شده‌اند، بلکه، فعالیت دوباره آنها روی وقوع مجدد ناپایداری‌ها، مؤثر شناخته شده است. همچنین وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی نیز شرایط را برای وقوع طیف وسیعی از لغزش‌ها در منطقه فراهم کرده است (شکل ۲).

همچنین بیشتر لغزش‌ها در شیب‌های بین ۱۰-۰ رخ داده‌اند. در شیب‌های کمتر، معمولاً نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای، بیشتر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است و در شیب‌های بیشتر، خاک در حدی تجمع نمی‌یابد که منجر به وقوع زمین لغزش گردد.



شکل (۲) نقشه‌ی رتبه‌بندی خطر زمین لغزش

بررسی ارتباط بین جهت شیب با وقوع زمین لغزش‌ها در این منطقه نشان می‌دهد که تراکم زمین لغزش‌ها در دامنه‌های شمالی که مدت کمتری از نور خورشید بهره‌مند بوده‌اند و دارای میزان رطوبت بالاتری هستند، بیشتر است. کاربری اراضی حوضه نیز نقش تعیین‌کننده‌ای در وقوع زمین لغزش داشته است به طوری که حدود ۹۰ درصد از زمین لغزش‌های حوضه در اراضی دیم و آبی به وقوع پیوسته‌اند. آبیاری اراضی زراعی و ایجاد باغ و احداث شبکه‌های آبیاری بر روی سازندهای حساس در این رخداد تأثیرگذار بوده است. بین فاصله از گسل‌ها و زمین لغزش‌های حوضه نیز ارتباط معنی‌داری وجود دارد، با افزایش فاصله از گسل‌ها، از میزان لغزش کاسته شده است. حدود ۵۰/۸۷ درصد زمین لغزش‌های حوضه تا فاصله‌ی ۵۰۰ متری از گسل‌ها رخ داده‌اند. وجود پهنه‌های لغزشی قدیمی و فعالیت مجدد آنها در حوضه شرایط را برای وقوع طیف وسیعی از لغزش‌ها در منطقه فراهم کرده است. بررسی‌ها حاکی از این بوده است که رابطه‌ی مستقیمی بین میزان بارش و وقوع زمین لغزش‌ها در حوضه وجود دارد و با افزایش میزان بارش، احتمال وقوع زمین لغزش، به طرز چشمگیری افزایش یافته است. در

اطراف آبراهه‌های حوضه میزان لغزش‌ها زیاد است. بیشتر زمین‌لغزش در فاصله‌ی ۱۰۰ متری از آبراهه‌ها رخ داده‌اند (شکل ۲). طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در محیط GIS را در ۵ طبقه نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

بررسی نقشه‌ی رتبه‌بندی نشان می‌دهد که از بین ۶ حوضه‌ی مورد مطالعه، زیرحوضه‌ی ریزه‌وند ماهیدشت با بیشترین مطلوبیت و سازگاری با عمده شاخص‌ها، اولویت اول را در اجرا به خود اختصاص داده است. زیرحوضه تجرک- بدره‌گرد در رتبه‌ی دوم، زیرحوضه‌ی چیکا در رتبه‌ی سوم، زیرحوضه‌ی رودخانه‌ی دیره و زیرحوضه‌ی کنه‌کبود در رتبه‌ی چهارم و زیرحوضه‌ی کنگیر در رتبه‌ی پنجم قرار گرفته‌اند. بررسی نقشه پراکندگی زمین لغزش‌های موجود در منطقه نیز نشان می‌دهد که تراکم زمین لغزش‌ها در حوضه ریزه‌وند ماهیدشت نسبت به سایر مناطق بالاتر است و بیش از ۳۶ درصد لغزش‌ها در محدوده خطر زیاد قرار دارد که نشان‌دهنده‌ی کارایی مناسب مدل الکتره برای شناسایی و تعیین مناطق پرخطر و مستعد لغزش در محدوده‌ی مطالعاتی است. علت پرخطر بودن این حوضه وضعیت زمین‌شناسی آن می‌باشد که با نتایج ملکی و همکاران (۱۳۷۸) در منطقه‌ی چرمه‌ی شهر سنقر و علایی طالقانی (۱۳۸۹) در جوانرود که هر دو جنس زمین را به عنوان عامل اصلی لغزش معرفی کردند و همچنین با نتایج محمدخان (۱۳۹۳) در منطقه‌ی شیرپناه در غرب کرمانشاه که فاصله از گسل و تکتونیک را به عنوان عامل اصلی معرفی کرده‌اند، مطابقت دارد. اما صفاری (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای که در کرمانشاه انجام داده است جنس را بعد از شیب و ارتفاع به عنوان عامل اصلی زمین لغزش مشخص نموده است. مطالعات زارعی (۱۳۹۴) نیز نشان داد که ژئومتری و ویژگی مکانیکی خاک دامنه، عامل اصلی لغزش در منطقه‌ی جوانرود بوده است. نتایج این پژوهش و مدل استفاده شده، می‌تواند در مطالعات بعدی راهگشا و مورد ارزیابی و مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش قرار گیرد. با در دست داشتن نقشه‌ی آسیب‌پذیری می‌توان اقدامات مدیریتی را در مناطق بحرانی متمرکز و از آسیب‌پذیری

هرچه بیشتر زیرحوضه‌ها و مناطق در معرض خطر جلوگیری کرد. در تحقیقات آتی می‌توان آسیب‌پذیری از جنبه‌های دیگر را نیز مورد بررسی قرار داد و معیارهای بیشتری را جهت بررسی مناطق بحرانی در نظر گرفت.

منابع

- امیراحمدی، ابوالقاسم؛ ناعمی تبار، مهناز و بهار گلکار استادی (۱۳۹۶)، اولویت‌بندی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل انتروپی (مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی باجیگران، قوچان)، نشریه‌ی هیدروژئومورفولوژی، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱۱، صص ۱۰۵-۱۲۵.
- ایلدرمی، علیرضا و حبیبه روزبهانی (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها با مدل GIS و LNRF در حوضه‌ی کلان ملایر، نشریه‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره-ی ۴۸، صص ۶۰-۳۷.
- انواری رستمی، علی‌اصغر؛ حسینیان، شهامت و مرتضی رضایی اصل (۱۳۹۱)، رتبه‌بندی مالی شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه و مدل‌های ترکیبی، مجله‌ی تحقیقات مالی، شماره‌ی ۱، صص ۳۱-۴۵.
- بشیری، مهدی؛ کاوسی داودی، سیده‌مائده و علی افضلی (۱۳۹۷)، پهنه‌بندی اثر ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی برالگوی زمین‌لغزش با استفاده از هندسه‌ی فرکتال (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی تویه دروار)، نشریه‌ی هیدروژئومورفولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۴، صص ۱۵۷-۱۷۸.
- حائری، سیدمحمد (۱۳۷۵)، گزارش مرحله نهائی، طرح بررسی جامع رانش زمین در استان مازندران، جلد سوم. صص ۳۴.
- روستایی، شهرام؛ عظیمی‌راد، صمد؛ مختاری، داوود؛ حجازی، سیداسدالله و مجتبی یمانی (۱۳۹۷)، مورفومتری لغزش بزرگ سیمره و بازسازی تأثیرات لندفرمی آن در کواترنری پسین (رشته‌کوه زاگرس در ایران)، نشریه‌ی هیدروژئومورفولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۱۶، صص ۱۳۸-۱۱۹.
- زارعی، پروین؛ علایی طالقانی، محمود و علی طالبی (۱۳۹۴)، بررسی علل وقوع لغزش‌های سطحی در منطقه‌ی جوانرود با استفاده از مدل فرایند محور، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره‌ی ۲، صص ۱۵۳-۱۳۸.

- صفاری، امیر و معصومه هاشمی (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه‌ی موردی: شهرستان کرمانشاه)، فصلنامه‌ی جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۳۴، صص ۴۴.
- عرب عامری، علیرضا و کوروش شیرانی (۱۳۹۵)، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از تئوری احتمالاتی دمپستر شفر، مطالعه‌ی موردی (حوضه‌ی ونک سمیرم، استان اصفهان)، نشریه‌ی علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۸ شماره‌ی ۱، صص ۱۰۷-۹۳.
- علایی طالقانی، محمود و زهرا رحیم‌زاده (۱۳۸۹)، شبیه‌سازی احتمال وقوع لغزش در حوضه‌ی آبخیز جوانرود با مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با تأکید بر ویژگی‌های مورفولوژی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی ۴، صص ۷۲-۵۳.
- قویمی‌پناه، محمدحسین؛ خالدی درویشان، عبدالواحد و محمدرضا قویمی‌پناه (۱۳۹۶)، صحت‌سنجی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چندمتغیره (MR) در پهنه‌بندی زمین لغزش (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز ولیعصر استان اردبیل)، اکوهیدرولوژی، دوره‌ی ۴، شماره‌ی ۳، صص ۷۷۵-۷۸۹.
- ملکی، امجد و علی قربانپور (۱۳۷۸)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه‌ی چرمه شهرستان سنقر استان کرمانشاه، جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۱۲، صص ۱۸۱-۱۹۸.
- Chen, W., Pourghasemi, H.R., Zhao, Z., (2016), **A GIS-based comparative study of Dempster-Shafer, logistic regression and artificial neural network models for landslide susceptibility mapping**, Geocarto international, Vol. 32, No. 4, PP. 367-385.
- Fathi, M.H., Khohdel K., Kandi, Shoreh., A., Ashrafifeini, Z., Khaliji, M A., (2015), **The combination of spectral and spatial data in zoning of landslide susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir)**, Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES). Vol. 6, No. 2, PP. 515-527.
- Havenith, H.B., Strom, A., Torgoev, I., Lamair, L., Ischuk, A., (2015), **Tien Shan Geohazards database: Earthquakes and landslides**, Journal of Geomorphology, Vol. 249, PP. 16-31.

- Polykretis, Ch., Chalkias, Ch., Ferentinou, M., (2017), **Adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) modeling for landslide susceptibility assessment in a Mediterranean hilly area** *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 76, No. 137, PP.1–15.
- Pourghasemi, H.R., Gayen, A., Park, S., Lee, C-W., Lee, S., (2018), **Assessment of Landslide-Prone Areas and Their Zonation Using Logistic Regression, LogitBoost, and NaïveBayes Machine-Learning Algorithms** *Sustainability*, Vol. 10, No. 3697, PP. 1-23.
- Roy, B., (1991), **The Outranking Approach and the Foundation of ELECTRE Methods**, *Theory and Decision*, Vol. 31, No. 1, PP. 155-183.
- Wang, Q., Li, W., Wu, Y., Pei, Y., & Xie, P., (2016), **Application of statistical index and index of entropy methods to landslide susceptibility assessment in Gongliu (Xinjiang, China)**, *Environmental Earth Sciences*, Vol.75, No. 7, PP.599.
- Yu, X., Wang, Y., Niu, R. Hu, Y., (2016), **A Combination of Geographically Weighted Regression, Particle Swarm Optimization and Support Vector Machine for Landslide Susceptibility Mapping: A Case Study at Wanzhou in the Three Gorges Area, China**, *Int J Environ ResPublic Health*, Vol.13, No. 5, PP.1-35.