صص ۳۸-۲۵

شناسایی مناطق وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های تلفیقی و مقایسه‌ای (مطالعه مورد: حوضه پالنگان)-استان کردستان

معصومه غلامی*

کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

عزت‌ا... قنواتی

دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

امیر صفاری

دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۷/۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۱/۲۸

چکیده

حوضه پالنگان به دلیل قرارگیری در منطقه کوهستانی شاهو، از مناطق مستعد زمین‌لغزش در استان کردستان محسوب می‌شود. وقوع زمین‌لغزش‌های مختلف در طی سال‌های اخیر بیان کننده پتانسیل بالای منطقه در این زمینه می‌باشد. با توجه به شرایط حاکم بر منطقه در این پژوهش مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش شناسایی شده است. روش پژوهش مبتنی بر روش‌های نرم‌افزاری، کتابخانه‌ای و تحلیلی است. در این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از ۸ لایه اطلاعاتی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، رودخانه، گسل، لیتولوژی، راه ارتباطی و کاربری اراضی) یک روش وزن دهی (روش تحلیل شبکه‌ای) و سه روش برای پهنه‌بندی استفاده شده است. به‌منظور رسیدن به اهداف پژوهش و شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش، پس از وزن دهی به لایه‌ها، لایه‌های مذکور با استفاده از روش‌های منطق فازی، OWA و WLC با هم ترکیب شده و در نهایت نقشه‌هایی نهایی حاصل شده است. نتایج پژوهش و مقایسه روش‌ها بیانگر این است که حوضه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای لغزش پذیری دارد. مطابق نقشه‌های نهایی، مناطق شرقی حوضه شامل زمین‌های هموار اطراف روستای گشکی دارای کم‌ترین پتانسیل و دیوارهای و مناطق پرشیب غرب و جنوب غربی حوضه از جمله اطراف پالنگان دارای بالاترین پتانسیل برای زمین‌لغزش هستند.

واژگان کلیدی: پالنگان، زمین‌لغزش، منطق فازی، OWA، WLC.

مقدمه

لغزش زمین نتیجه حرکت مواد در روی دامنه است که در اثر عمل آب و نیروی ثقل ایجاد می‌گردد (احمدی، ۱۳۷۴) و در اثر آن توده‌ای از مواد سنگی و خاک به‌طرف پایین دامنه جابه‌جا می‌شود (دیویس و همکاران[1]، ۲۰۰۶). عوامل

* نویسنده مسئول: ۰۹۲۲۶۱۵۶۰۹۸ Email: nnegar0@gmail.com

1. Davis et al

متعددی مانند شرایط زمین‌شناسی، شرایط آب‌شناختی، وضعیت پستی و بلندی، ریخت‌شناسی، آب و هوا و هوازدگی بر پایداری یک دامنه تأثیر گذاشته و می‌توانند باعث ایجاد لغزش شوند (گارفی و برونو[1]، ۲۰۰۷). حرکات دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش‌ها در زمره پر خسارت‌ترین مخاطراتی هستند که هم‌زمان با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲). این حرکات همه‌ساله موجب بروز خسارت‌های فراوان مالی و جانی در سراسر جهان می‌شود در نقاط مختلف کشور می‌شود (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۱). رشد سریع جمعیت، گسترش شهرها در نواحی کوهستانی، مشکل بودن پیش‌بینی زمان رویداد زمین‌لغزش و متعدد بودن عامل‌های مؤثر در رویداد این پدیده، ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را آشکار می‌سازد. از آنجایی که پیش‌بینی زمان دقیق حرکت‌های توده‌ای کار بسیار مشکلی است از این‌رو شناسایی این مناطق بسیار حائز اهمیت است (مصفایی و همکاران، ۱۳۸۸). با استفاده از پهنه‌بندی خطر رویداد زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارائه راهکارها و شیوه‌های مدیریتی مناسب تا حدی از رویداد زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا خسارات ناشی از رویداد آن‌ها را کاهش داد (احمدی، ۱۳۸۲). با توجه به موارد مذکور هدف از پژوهش حاضر شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش در حوضه پالنگان است. حوضه پالنگان از مناطق کوهستانی غرب کشور است که به دلیل شرایط خاص ژئومورفولوژیکی مستعد انواع حرکات دامنه‌ای است. در این پژوهش برای پتانسیل سنجی مناطق مستعد جهت وقوع زمین‌لغزش از سه مدل منطق فازی، WLC و OWA برای پهنه‌بندی و از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای وزن دهی به لایه‌ها استفاده شده است.

در مورد حرکت‌های دامنه‌ای و بخصوص لغزش مطالعاتی مختلفی صورت گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به (نیری و همکاران ۱۳۹۵) اشاره کرد که به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدود شهری بیجار پرداختند. در این پژوهش از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان داده است که ۴۱ درصد از محدوده شهر بیجار جزء مناطق دارای خطر زمین‌لغزش محسوب می‌شود. نتایج دقیق‌تر نشان داده است که از بین متغیرهای مؤثر فاصله از گسل و ارتفاع بیش‌ترین و کاربری اراضی کم‌ترین تأثیر را داشته‌اند. با توجه به موارد مذکور در پژوهش حاضر سعی بر آن شده است تا مناطق مستعد حرکات توده‌ای در گردنه خان شناسایی و جهت کنترل حرکات لغزشی و استقرا مناسب تأسیسات و زیرساخت‌های منطقه برنامه‌ریزی‌های لازم صورت گیرد. (ابراهیمی مقدم و عباس نژاد ۱۳۹۵) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استان کرمان پرداختند. در این پژوهش نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس هفت عامل و با روش‌های AHP و عمل‌گراهای منطق فازی با لانداهای ۷/. ۸/؛ و ۹/. پرداختند. نتایج پژوهش بیانگر این است که در بین عملگرها، عملگر گامای فازی ۷/. نتایج مطلوب دارد. (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶) به پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش در حوضه سرخون کارون پرداختند. در این پژوهش از روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی استفاده شده است. نتایج پژوهش بیانگر این است که اصلی‌ترین

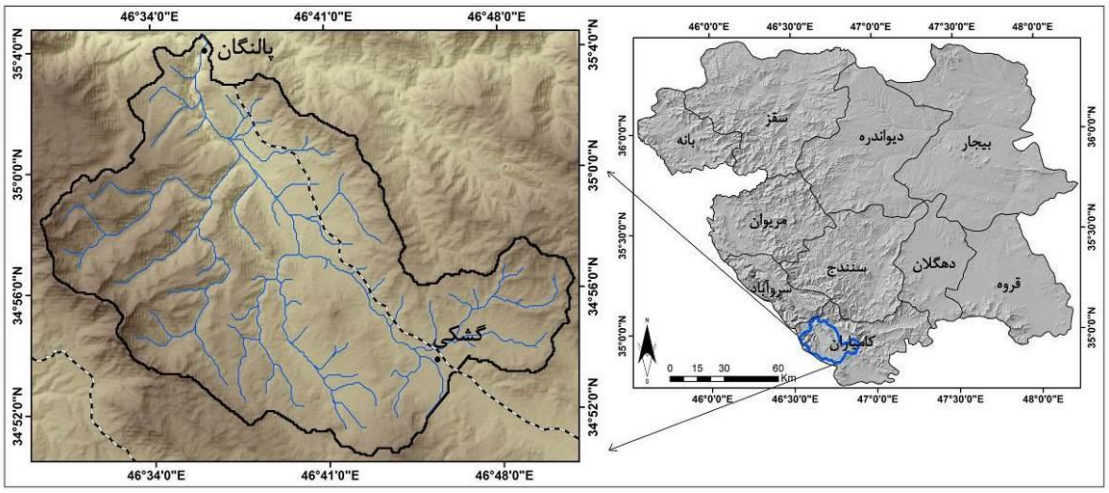
1. Garfi & Bruno

عوامل در بروز زمین‌لغزش‌های این منطقه بر اساس مشاهدات میدانی و نظرات کارشناسی شامل لیتولوژی، فاصله از جاده و ارتفاع به ترتیب با کسب امتیازات (۱۸۱/. ۱۶۳/؛ و ۱۴۵/.) می‌باشند. (حسنی و همکاران، ۱۳۹۶) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جاده کن - سولقان پرداختند. در این پژوهش با استفاده از سیستم منطق فازی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. نتایج پژوهش بیانگر این است که در میان عملگرهای اعمال شده در این پژوهش مشاهده عملگر اشتراک فازی در میان سایر عملگرهای فازی استفاده شده در این پژوهش مناسب‌تر بوده است. (یالسین[1] ۲۰۰۸) بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و آماره دو متغیره، نقشه حساسیت زمین‌لغزش برای منطقه آردسن ترکیه تهیه کرد و به این نتیجه رسید که معیارهای سنگ‌شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز زمین‌لغزش در منطقه هستند، همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به‌عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد. (پردهن[2] ۲۰۱۰) برای تجزیه و تحلیل حساسیت زمین‌لغزش بخش شرقی ایالت سیلانگور مالزی از مدل منطق فازی استفاده کرده است. نتایج این پژوهش بیانگر این است که در میان عملگرهای منطق فازی عملگر گامای فازی ۸/. بالاترین دقت و عملگر جبر فازی پایین‌ترین دقت را داشته است. (وانگ و همکاران[3] ۲۰۱۲) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش وزن دهی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه ساحل جنوبی چین پرداختند و در نهایت پس از وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق لایه‌ها بر مبنای وزن به‌دست‌آمده نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه را تهیه کرده‌اند. (دلاسرنا و همکاران[4] ۲۰۱۶) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و تکنیک GIS در مناطق کوچک مقیاس معدن سوریگائوری شمالی، فیلیپین پرداختند. در این مطالعه چند لایه از عوامل لغزش یعنی شیب، تراکم زهکشی، هوازدگی، سنگ‌شناسی، پایداری زمین، نوع خاک و پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است. نتایج پژوهش بیانگر این است که دو معیار شیب و جابجایی عمودی عامل اصلی در لغزش‌های منطقه است.

محدوده مورد مطالعه

پالنگان در شمال غربی شهرستان کامیاران در استان کردستان در محدوده جغرافیایی ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی تا ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴ دقیقه شمالی قرار گرفته است که بخشی از کوه‌های کارستی شاهو محسوب می‌شود (شکل ۱). این منطقه در زون زاگرس مرتفع قرار گرفته و از نظر ساختاری نیز از خصوصیات این زون پیروی می‌کند. زاگرس مرتفع نوار طویل و نسبتاً باریکی به عرض ۱۰ تا ۶۵ کیلومتر است که در فاصله بین گسل اصلی و گسل زاگرس مرتفع قرار گرفته است (آقا نباتی، ۱۳۸۳).

1. Yalcin
2. Pradhen
3. Wang et al
4. dela Cerna et al



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

روش پژوهش مبتنی بر روش‌های نرم‌افزاری، کتابخانه‌ای و تحلیلی است. در این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش از ۸ لایه اطلاعاتی استفاده شده است. لایه‌های اطلاعاتی عبارتند از: ۱ ارتفاع، ۲ شیب، ۳ جهت شیب، ۴ رودخانه، ۵ گسل، ۶ لیتولوژی، ۷ راه ارتباطی و ۸ کاربری اراضی.

روند کلی پژوهش حاضر به این صورت است که به‌منظور شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش ابتدا لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده است (انتخاب لایه‌های اطلاعاتی برحسب هدف پژوهش و بر اساس نظر کارشناسان بوده است) و سپس این لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسان (۵ متخصص ژئومورفولوژی) و با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارزش‌گذاری شده است. پس از وزن دهی به لایه‌های اطلاعاتی، وزن به دست آمده بر روی هرکدام از لایه‌ها اعمال شده است و سپس به‌منظور تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی از سه روش منطق فازی، WLC و OWA استفاده شده است. در ادامه به تشریح هرکدام از این روش‌های پرداخته شده است:

در این پژوهش پس از اینکه به دست آوردن وزن لایه‌ها و اعمال بر روی لایه‌های اطلاعاتی، این لایه‌ها با استفاده از مدل منطق فازی باهم تلفیق و ترکیب شده‌اند. منطق فازی را اولین بار لطفی زاده در رساله‌ای به نام الگوریتم‌های فازی معرفی کرد. در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموع هست یا نیست. در حقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک پیروی می‌کند. ولی تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را گسترش می‌دهد و عضویت درجه‌بندی شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد (کاسکو[1]، ۱۹۹۲). مدل منطق فازی داری عملگرهای مختلفی است که پس از مقایسه عملگرهای مختلف در نهایت از عملگر گامای ۹/. به دلیل تطابق بیشتر با واقعیت زمین استفاده شده است. پس از استفاده از روش

1. Kosko

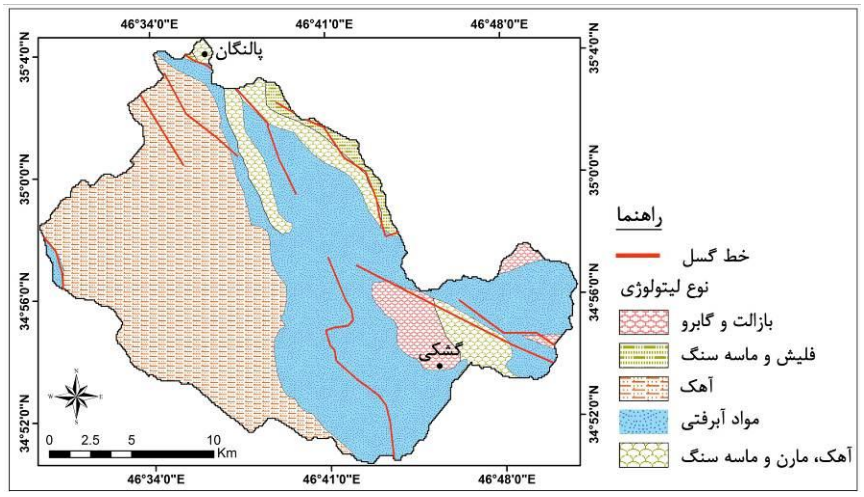
منطق فازی، از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شده است که یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های ارزیابی چند معیاره محسوب می‌شود که روش وزن دهی جمع‌پذیر یا و روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱). آخرین روشی که به‌منظور پهنه‌بندی و در نهایت پتانسیل سنجی مناطق مستعد لغزش زمین‌لغزش استفاده شده روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترکیبی (OWA) است. در روش OWA می‌توان دامنه وسیعی از نتایج را به دست آورد، به‌طوری‌که این روش منجر به درجه‌بندی پیوسته سناریوهای بین عملگر اشتراک (خطر ناسازگاری ریسک ناپذیری) و عملگر اجتماع (ریسک‌پذیری) می‌شود که عملگر اشتراک (AND) ریسک پایین را نشان می‌دهد و عملگر اجتماع (OR) ریسک بالا را در تصمیم‌گیری نشان می‌دهد (رهنما و همکاران، ۱۳۹۱).

بحث و نتایج

بررسی عوامل و معیارهای مؤثر در زمین‌لغزش

به‌منظور بررسی وضعیت حوضه مورد مطالعه از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش از ۸ پارامتر استفاده شده است که در زیر به تشریح هرکدام از آن‌ها پرداخته شده است:

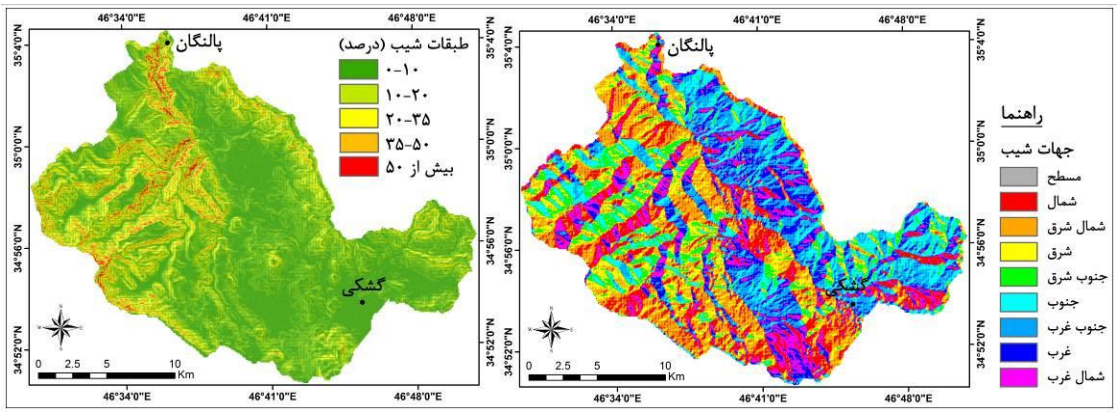
– **زمین‌شناسی:** با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای زمین‌شناسی در لغزش، عامل لیتولوژی نقش مؤثری در پراکندگی زمین‌لغزش‌ها در منطقه دارند. در شکل ۲ نقشه وضعیت زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده است که مطابق شکل مذکور بخش عمده‌ای از محدوده مورد مطالعه را مناطق آهکی در برگرفته است که این سازند نسبت به سازندهای آذرین از جمله بازالت پتانسیل بیش‌تری برای لغزش دارد. همچنین در حوضه مورد مطالعه خطوط گسلی تراکم بالایی دارند و از آنجایی که تراکم سیستم درزه‌ها، شکستگی‌ها و خردشدگی‌ها نقش بسیار مهمی در ناپایدار دارند و گسل‌ها می‌توانند خردشدگی را به وجود آورند، لایه گسل نیز به‌عنوان یکی از پارامترها در نظر گرفته شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

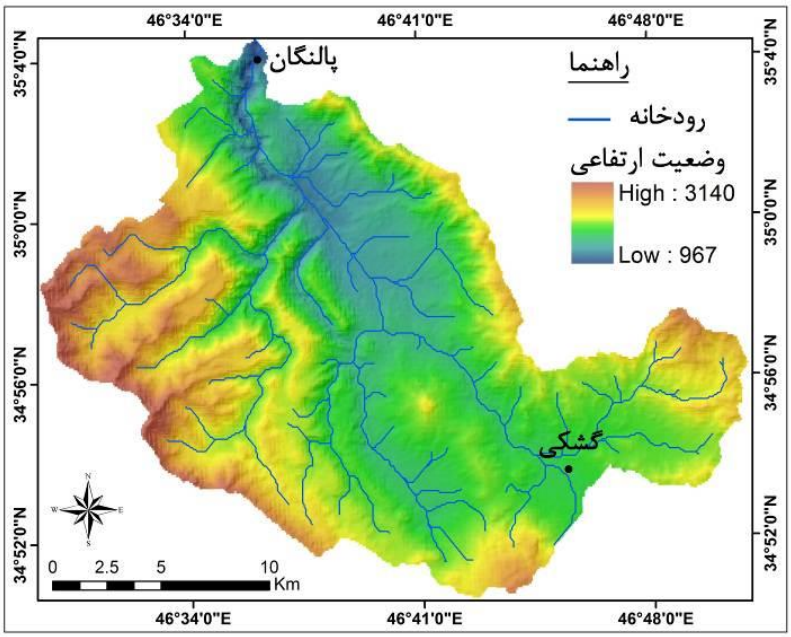
– **شیب و جهت شیب:** شیب از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها بوده است که در صورت مهیا بودن سایر شرایط، توده لغزشی در اثر نیروی ثقل به‌طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد (Westen, 2000). با توجه به کوهستانی بودن منطقه، بخش عمده‌ای از منطقه را مناطق پرشیب در بر گرفته است که پتانسیل زیادی برای زمین‌لغزش دارند. همچنین با توجه به اینکه دامنه‌های شمالی انرژی کمتری از دامنه‌های جنوبی دریافت می‌کنند، میزان رطوبت در این دامنه‌ها بیشتر از سایر دامنه‌ها است و با توجه به اینکه وجود رطوبت می‌تواند تشدید کننده لغزش باشد، جهات شیب به‌عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. در شکل ۳ نقشه شیب و جهت شیب حوضه نشان داده شده است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه وضعیت شیب و جهت شیب منطقه مورد مطالعه

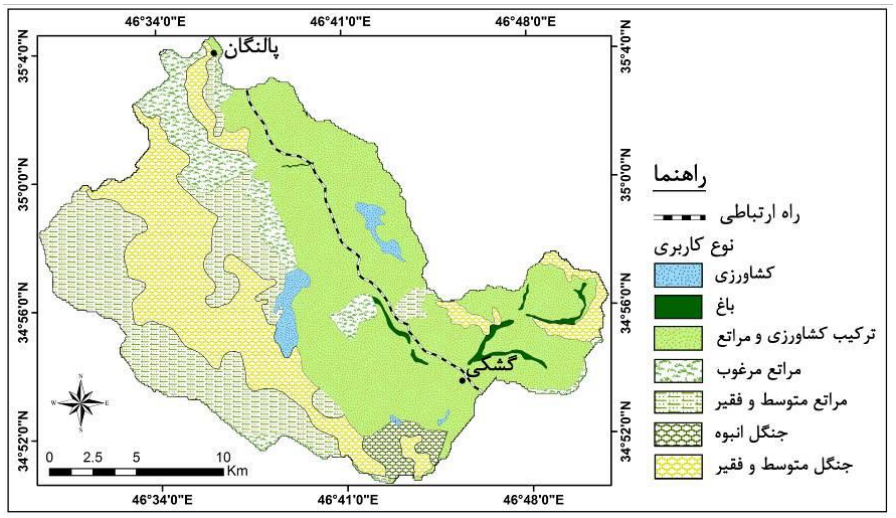
– **ارتفاع و رودخانه:** ارتفاع به‌طور غیرمستقیم می‌تواند احتمال وقوع لغزش را افزایش دهد. بدین‌صورت که با افزایش ارتفاع به‌ویژه بالاتر از ۱۵۰۰ متر مقدار ریزش برف افزایش یافته و با ذوب شدن آن در فصل بهار، آبراهه‌ها را پر آب و در زیر بری دامنه‌ها پرشیب در پادگانه‌های شنی نقش مهمی داشته است. بر این اساس دو پارامتر ارتفاع و رودخانه به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شده‌اند که در شکل ۴ نقشه این فاکتورها نشان داده شده است. مطابق شکل مذکور مناطق غربی حوضه ارتفاع بالاتری دارند به‌طوری که کوهستان‌های غربی حوضه دارای ارتفاع بالای ۳۰۰۰ متر هستند و از این نظر پتانسیل بالاتری برای زمین‌لغزش دارند.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه وضعیت ارتفاع و رودخانه‌های منطقه مورد مطالعه

-کاربری اراضی و راه ارتباطی: یکی از عوامل تأثیرگذار بر حرکات دامنه‌ای بخصوص لغزش‌ها، دخالت عوامل انسانی از جمله راه‌سازی است. تأثیر راه‌های ارتباطی به‌خصوص در مناطقی که دارای لیتولوژی سستی هستند بسیار چشم‌گیر است. معیار انسانی دیگر نوع کاربری اراضی است. کاربری اراضی می‌تواند در تشدید و یا کاهش حرکات دامنه‌ای مؤثر باشد به‌طوری‌که مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم باشند میزان لغزش، کم‌تر از مناطق بدون پوشش خواهد بود. همچنین ممکن است بعضی از کاربری‌های غیراصولی خصوصاً در مناطق پرشیب سبب تشدید حرکات دامنه‌ای شود. در شکل ۵ نقشه کاربری اراضی و راه ارتباطی حوضه مورد مطالعه نشان داده شده است.

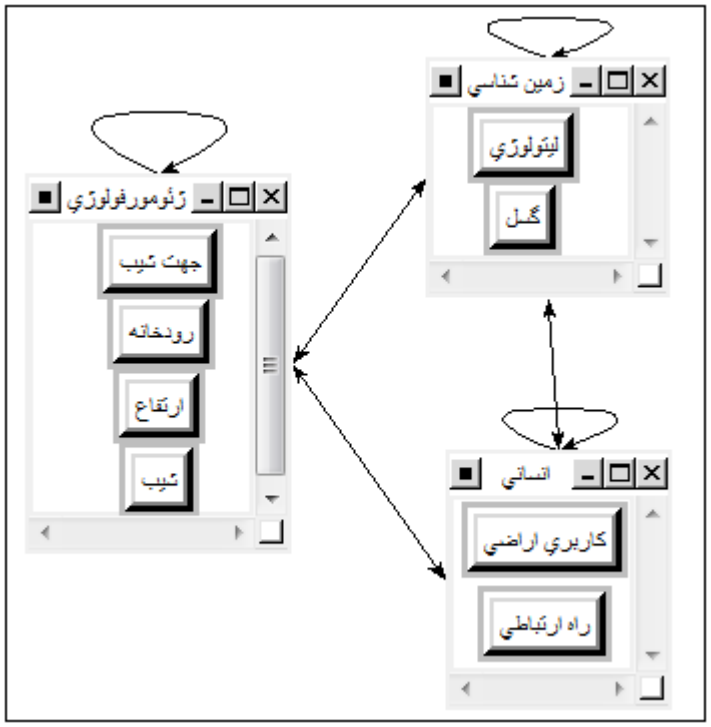


مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه وضعیت کاربری اراضی و راه ارتباطی منطقه مورد مطالعه

وزن دهی به لایه‌ها با استفاده از مدل ANP

پس از به دست آوردن لایه‌های اطلاعاتی برای وزن دهی به آن‌ها از مدل تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده شده است. برای این منظور پس از تشکیل ساختار شبکه‌ای (شکل ۶) و با توجه به رابطه درونی و بیرونی معیارها، از ماتریس مقایسه‌ای شامل ۸ سطر و ۸ ستون برای تعیین رابطه و میزان اهمیت هر یک از این معیارها و زیر معیارها استفاده شده است. به‌منظور امتیازدهی به معیارها از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر (۵ متخصص ژئومورفولوژی) استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Super Decisions استفاده شد و پس از به دست آوردن وزن‌های نهایی هرکدام از معیارها (جدول ۱)، در نرم‌افزار Arc GIS و IDRISI بر روی لایه‌های نقشه‌ای اعمال شدند.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: ساختار شبکه‌ای معیارها

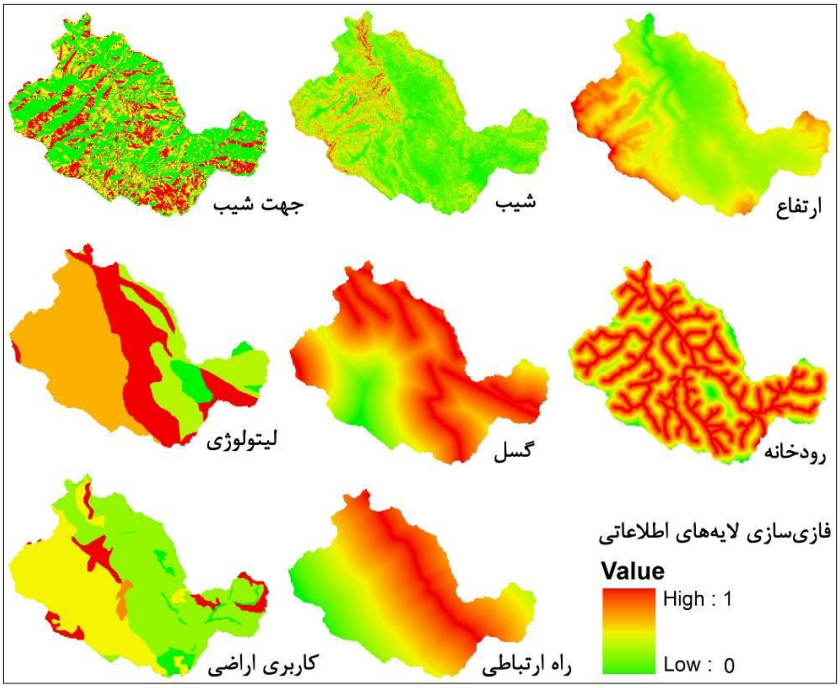
جدول ۱: وزن لایه‌های اطلاعاتی در مدل **ANP**

معیار	زمین‌شناسی		ژئومورفولوژی				انسانی	
	لیتولوژی	گسل‌ها	شیب	جهت شیب	ارتفاع	رودخانه	کاربری اراضی	راه ارتباطی
وزن در مدل ANP	./۱۱۹	./۰۸۹	./۲۱۷	./۰۵۶	./۰۷۷	./۱۶۸	./۰۹۷	./۱۷۸

مآخذ: نگارندگان

استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی، لایه‌ها با استفاده از منطقه فازی به‌صورت استاندارد شده در آمده‌اند. استاندارسازی لایه‌ها بر اساس نظر کارشناسان و اهداف پژوهش صورت گرفته است. برای لایه‌های وضعیت ارتفاعی و شیب، مناطق پرشیب و مرتفع ارزش نزدیک به ۱ و مناطق کم شیب و کم ارتفاع ارزش نزدیک به صفر در نظر گرفته شده است. برای لایه جهات شیب نیز جهات شمالی ارزش نزدیکی به ۱ و جهات جنوبی ارزش نزدیک به صفر دارند. همچنین مناطق نزدیک به خطوط گسل، رودخانه و راه ارتباطی ارزش نزدیک به ۱ و مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر دارند. برای لایه کاربری اراضی، مناطق بدون پوشش ارزش نزدیک به ۱ و مناطقی که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند ارزش نزدیک به صفر دارند. برای لایه لیتولوژی نیز، مناطقی که دارای لیتولوژی کم مقاوم مانند مارن، آهک و آبرفت دارند ارزش نزدیک به ۱ دارند و مناطقی که لیتولوژی مقاوم‌تری دارند (مناطق بازالتی) ارزش نزدیک به صفر دارند. در شکل ۷ نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی نشان داده شده است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه استانداردسازی شده لایه‌های اطلاعاتی

- تلفیق و ترکیب لایه‌های اطلاعاتی

پس از استاندارسازی لایه‌های اطلاعاتی به‌منظور شناسایی مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن به دست آمده با استفاده از منطق فازی با هم تلفیق و ترکیب شده‌اند.

- **تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از مدل میانگین‌گیری وزن‌دار ترکیبی (OWA):** عملگر OWA با استفاده از رابطه ۲ قابل استنتاج است (طالعی و همکاران، ۱۳۹۳):

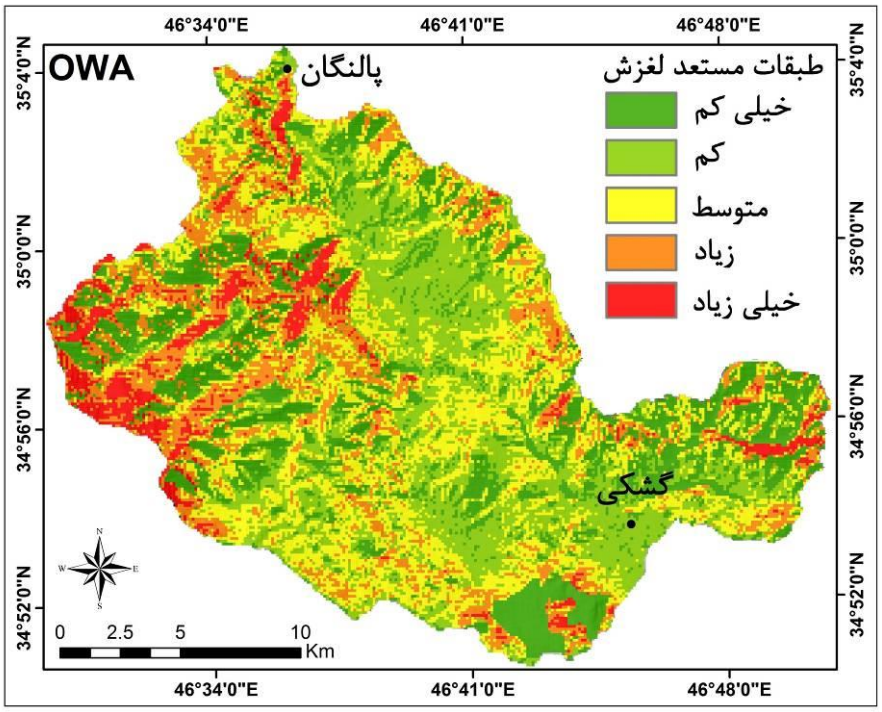
$$OWAt: \sum_{j}^{n} = 1 \left(\frac{wjuj}{\sum_{j=1}^{n} wjij}\right) zij$$ رابطه ۲:

در این معادله $Zij \geq \ldots \geq zi1$ به طریق ارزش‌های یک معیار (xij) به دست می‌آید. vj وزن ترتیبی و wj وزن معیار است. وزن‌های ترتیبی جهت ترکیب معیارهای وزن‌دار استفاده می‌شوند که در آن‌ها وزن‌ها به موقعیت مکانی پیکسل‌های لایه‌ها اختصاص می‌یابد. به‌عبارت‌دیگر، تمام پیکسل‌هایی که در یک موقعیت در چند نقشه قرار گرفته‌اند، وزن‌های ترتیبی یکسانی را می‌پذیرند. با استفاده از کمیت سنج‌های مفهومی فازی می‌توان وزن‌های ترتیبی ساخت. کمیت سنج‌های مفهومی به دو دسته مطلق و نسبی تقسیم می‌شوند. عباراتی مانند (حداقل ۴) و (حدود ۵) جزء کمیت سنج‌های نسبی با عباراتی نظیر با عبارتی نظیر اکثراً، اغلب، تعداد زیادی، نیمی، اندکی و حداقل یکی مشخص می‌شوند. کمیت سنج‌ها، استراتژی‌های تصمیم‌گیری مختلفی را در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهند، به‌طوری‌که با تغییر پارامتر a می‌توان مجموعه‌ای از نتایج ارزیابی را برای هدف تصمیم‌گیری به دست آورد. به‌عبارت‌دیگر، کاهش مقدار a باعث افزایش خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده و افزایش مقدار a باعث کاهش خوش‌بینی شده و بدبینی تصمیم‌گیرنده را افزایش می‌دهد (طالع‌جنکانلو و همکاران، ۱۳۹۴). در این پژوهش از کمیت سنج نسبی منظم افزایش استفاده شده است (جدول 2). پس از محاسبه وزن‌های ترتیبی و وزن‌های به‌دست‌آمده از طریق مدل ANP نقشه تلفیق پارامترها بر اساس مدل OWA به‌دست‌آمده است (شکل ۸).

جدول ۲: کمیت سنج‌ها متناظر و پارامتر α

کمیت سنج زبانی Q	حداقل یکی	کمی	بعضی	نیمی	بسیاری	اکثراً	بسیار زیاد	همه
α	./۰۰۱	./۱	./۵	۱	۲	۵	۱۰	۱۰۰۰

مآخذ: نگارندگان



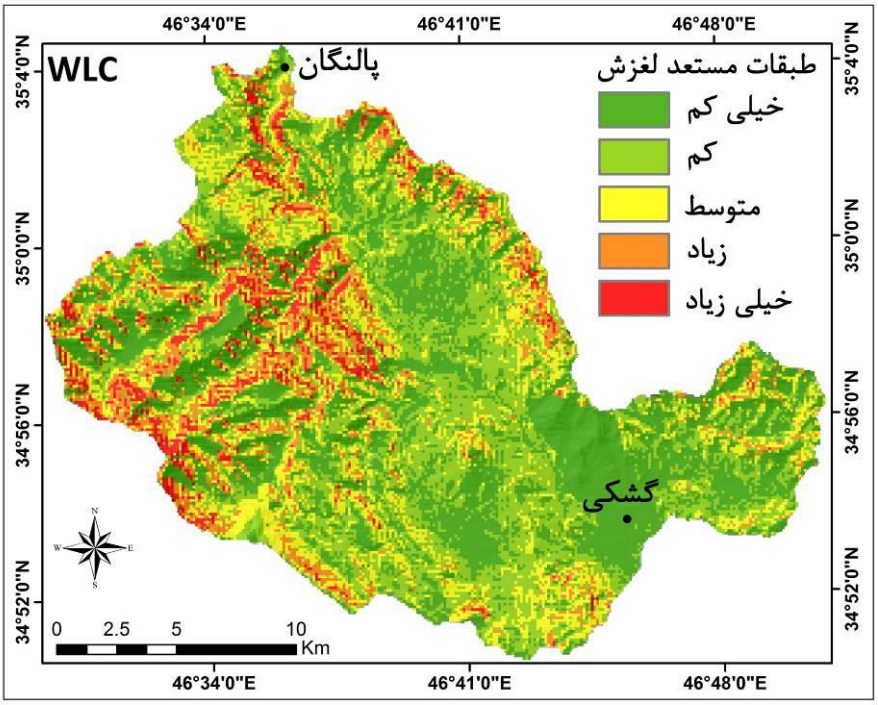
مآخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه مناطق وقوع لغزش بر اساس مدل تلفیقی OWA و ANP

– **تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC):** تکنیک WLC یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره MCE است که مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود (تقی زاده دیوا و همکاران، ۱۳۹۲):

رابطه ۳: $S=\sum wtxi$

در این معادله S معرف، xi تناسب زمین، wi وزن فاکتور i ام و xi معرف محدودیت i ام است. برای تهیه نقشه به روش ترکیب خطی وزنی پس از استانداردسازی لایه‌ها در نرم‌افزار IDRISI با اعمال وزن به دست آمده از طریق مدل ANP لایه‌های اطلاعاتی با هم تلفیق شده‌اند و در نهایت نقشه نهایی با استفاده از مدل WLC تهیه شده است (شکل ۹). در این پژوهش تکنیک WLC با استفاده از تابع MCE انجام شده است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه مناطق وقوع لغزش بر اساس مدل تلفیقی WLC و ANP

جدول ۳: مساحت طبقات برحسب کیلومترمربع

روش	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
WLC	۱۵۰	۱۱۸	۸۱	۴۷	۲۱
OWA	۹۸	۱۰۲	۱۲۱	۷۰	۲۵
منطق فازی	۱۱۴	۶۶	۱۰۹	۹۲	۳۵

مآخذ: نگارندگان

نتیجه‌گیری

حوضه پالنگان به دلیل قرارگیری در منطقه کوهستانی شاهو، از مناطق مستعد زمین‌لغزش در استان کردستان محسوب می‌شود. وقوع زمین‌لغزش‌های مختلف در طی سال‌های اخیر بیان کننده پتانسیل بالای منطقه در این زمینه می‌باشد. با توجه به شرایط حاکم بر منطقه در این پژوهش مناطق مستعد وقوع زمین‌لغزش شناسایی‌شده است. با توجه به اینکه شناسایی مناطق مستعد لغزش، نیازمند صحت سنجی با استفاده از بازدید میدانی و یا استفاده از روش‌های دیگر است، در این پژوهش از سه روش استفاده شده است تا ضمن صحت سنجی نتایج به دست آمده، نتایج حاصله با هم مقایسه و بر مبنای آن‌ها وضعیت منطقه ارزیابی شود.

نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر بیانگر این است که بخش زیادی از مناطق غربی حوضه مورد مطالعه داری پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش هستند. نتایج حاصل از سه روش منطق فازی، OWA و WLC به ۵ کلاس

خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه بندی شده است. در جدول ۳ مساحت طبقات برحسب کیلومترمربع نشان داده شده است. مطابق جدول مذکور مدل WLC داری بیش‌ترین اختلاف بین طبقات است به‌طوری که طبقه خیلی کم و کم به ترتیب ۱۵۰ و ۱۱۸ کیلومترمربع را خود اختصاص داده‌اند در حالی که طبقات زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۴۷ و ۲۱ کیلومترمربع را در گرفته‌اند. در روش OWA بر خلاف WLC تعدیل بیش‌تری بین طبقات وجود دارد. در این طبقه متوسط با ۱۲۱ کیلومترمربع بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده است و ۹۸ کیلومترمربع از حوضه در طبقه خیلی کم و ۲۵ کیلومترمربع از حوضه در طبقه با پتانسیل لغزش پذیری خیلی زیاد قرار دارد. در روش منطق فازی نیز همانند روش WLC تعدیل کم‌تری وجود دارد و طبقه خیلی کم با ۱۱۴ کیلومترمربع دارای بیش‌ترین مساحت و طبقه خیلی زیاد با ۳۵ کیلومترمربع دارای کم‌ترین میزان مساحت است. مجموعه‌ای از نتایج فوق و مقایسه روش‌ها بیانگر این است که حوضه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای لغزش پذیری دارد. مطابق نقشه‌های نهایی، مناطق شرقی حوضه شامل زمین‌های هموار اطراف روستای گشکی دارای کم‌ترین پتانسیل و دیوارهای و مناطق پرشیب غرب و جنوب غربی حوضه از جمله اطراف پالنگان دارای بالاترین پتانسیل برای لغزش هستند.

منابع

۱- ابراهیمی مقدم، فهیمه؛ عباس نژاد، احمد (۱۳۹۵): ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش استان کرمان با مدل‌های فازی و AHP، فصلنامه زمین‌شناسی و محیط زیست، دوره ۱۰، شماره ۳۷.

۲- احمدی، حسن (۱۳۷۴): ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران.

۳- احمدی، حسن؛ اسمعلی، اباذر؛ فیض نیا، سادات؛ شریعت جعفری، محسن (۱۳۸۲)، هنه بندی خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرمی چای)، نشریه منابع طبیعی ایران، دوره ۵۶، شماره ۴.

۴- آقانباتی، (۱۳۸۳): زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات صنوبر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۵- امامی، سید نعیم؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۲): پژوهشی بر سازوکار زمین‌لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعه موردی: لغزش افسر آباد استان)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان. صص ۱۲۶-۱۱۳.

۶- تقی زاده‌دیوا، سید علی؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ خیرخواه‌زرکش، میر مسعود (۱۳۹۲): مکان‌یابی چندمعیاری محل دفن مواد زائد ساختمانی با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتبی و فازی (مطالعه موردی: شهر گرگان)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، سال ۳، شماره ۱۰.

۷- حسنی، سحر؛ ارومیه‌ای، علی؛ ملکی، زهرا (۱۳۹۶): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش جاده کن -سولقان به روش منطق فازی، فصل‌نامه زمین‌شناسی و محیط‌زیست، دوره ۱۱، شماره ۳۸.

۸- رسولی، علی‌اکبر؛ محمود زاده، حسن؛ یزدچی، سعید؛ زرین‌بال، محمد (۱۳۹۱): ارزیابی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی در مکان‌یابی محل دفن مواد زائد شهری (مطالعه موردی: شهر مرند)، مجله جغرافیا و آمایش شهری و منطقه‌ای، شماره ۴، صص ۵۲-۴۱.

۹- رهنما، محمدرحیم؛ آقاجانی، حسین؛ فتاحی، مهدی (۱۳۹۱): مکان‌یابی محل دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۳، صص ۱۰۵-۸۷.
۱۰- طالع جنکانلو، علی؛ طالعی، محمد؛ کریمی، محمد (۱۳۹۴): ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش FUZZY، OWA و TOPSIS، نشریه علوم و فنون نقشه‌برداری، دوره ۴، شماره ۴، صص ۴۵-۲۹.
۱۱- طالعی، محمد؛ سلیمانی، حسین؛ فرجزاده اصل، منوچهر (۱۳۹۳): ارزیابی تناسب اراضی برای کشت دیم بر مبنای مدل فائو و با استفاده از تکنیک تلفیقی OWA-AHP و FUZZY در محیط ARCGIS (مطالعه موردی: شهرستان میانه)، نشریه آب‌وخاک، جلد ۲۸، شماره ۱، صص ۱۵۶-۱۳۹.
۱۲- عرب عامری، علیرضا؛ شیرانی، کوروش؛ رضایی، خلیل (۱۳۹۶): پهنه‌بندی استعداد اراضی نسبت به وقوع زمین‌لغزش با روش‌های دمپسترشیفر و نسبت فراوانی در حوضه سر خون کارون، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد بیست و چهارم، شماره سوم.
۱۳- قنواتی، عزت اله؛ کرم، امیر؛ تقوی مقدم، ابراهیم (۱۳۹۱): کاربرد منطق فازی در شناسایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان)، مجله علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۳، صص ۱۶-۹.
۱۴- مصفایی، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور؛ شریعتمداری، جعفر (۱۳۸۸): مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله پژوهش حفاظت آب‌وخاک، شماره ۴.
۱۵- نیری، هادی؛ کرمی، محمدرضا؛ سالاری، ممند (۱۳۹۵): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق ارزیابی متغیرهای محیطی با استفاده از مدل تحلیل شبکه‌ای (مطالعه موردی: شهر بیجار)، مجله پژوهش‌های کمی، سال پنجم، شماره ۴.

16- Davis, John C. Chung, Chang-Jo & Ohlmacher, Gregory C (2006): Two Models For Evaluating Landslide Hazards, Journal Of Computers & Geosciences, Elsevier, Vol. 32. Pp 1120-1127.
17- Dela Cerna, M. A. And Mara Villas, E. A. (2016): "An Application Of Partitive Clustering Algorithm For Landslide Hazard Zonation", In Proceedings Of The International Multi Conference Of Engineers And Computer Scientists (Vol. 1).
18- Garfi, G. And Bruno, D. E. (2007): Fan Morphodynamics And Slope Instability In The Macon River Basin (Sila Massif, Southern Italy): Signification Of Weathering And Role Of Land Use Changes, Catena. 50: 181-196.
19- Kosko, B. (1992): Fuzzy Systems As Universal Approximators Fuzzy Systems (1992), IEEE International Conference On San Diego, CA.
20- Pradhen, B. (2010): Application Of An Advanced Fuzzy Logic Model For Landslide Susceptibility Analysis. International Journal Of Computational Intelligence System. (33): 370-381.
21- Wang W. Zhang W. Xia Q. (2012): "Landslide Risk Zoning Based On Contribution Rate Weight Stack Method, International Conference On Future Energy", Environment, And Materials.
22- Westen، J. Seijmonsbergen، A. C. And Mantovani، F. (2000): Comparing Landslide Hazard Maps. Kluwer Academic Publishers. Pp. 26.
23- Yalcin, A. (2008): GIS Based Landslide Susceptibility Maping Using Analytical Hierarchy Process And Bivariate Statistics In Ardesen (Turkey), Comparisons Of Result And Confirmation Catena, 72: 1- 12.