تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۶

پهنه‌بندی مناطق مستعد حرکات دامنه‌ای (مطالعه موردی: شهرستان ماکو)

امیر کرم
استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه خوارزمی، تهران
مرضیه آقاعلیخانی*
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی
آیلا قلی زاده
مدرس گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور ماکو،ماکو،
حسن احمد زاده
دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، تبریز

چکیده
ناپایداری دامنه‌های طبیعی بوسیله حرکات توده‌ای از جمله پدیده‌هایی می‌باشد که پس از سیل و زلزله بیشترین خسارت را به انسان وارد می‌نماید، این حرکات تحت تاثیر پارامترهایی نظیر اختلاف دما، بارش، یخبندان، ارتفاع، شیب، زمین‌شناسی، لند فرم، فاصله از گسل، فاصله از رود، فاصله از جاده و ... رخ می‌دهد. بنابراین در این مطالعه سعی شده تا با استفاده از اطلاعات فوق و با کمک روش‌های مدلسازی AHP و TOPSIS علاوه بر شناسایی سطوح با خطر بالای حرکات دامنه‌ای مناسب‌ترین مدل در شناسایی این پهنه‌ها با کمک داده‌های میدانی مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل AHP مناسب‌ترین پهنه‌بندی از حرکات دامنه‌ای را ارائه می‌دهد. بر اساس نقشه بدست آمده بوسیله این مدل سطوح با پتانسیل بالای حرکات دامنه‌ای دارای شیبی بین ۱۰ تا۲۰ در صد و ارتفاع حدود ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰ متر می‌باشند و اغلب از سنگ آهک تشکیل گردیده‌اند و در مجموع حدود ۲۸ درصد محدوده را شامل می‌شوند و در مجموع حدود ۲۸ درصد مساحت محدوده را شامل می‌شوند.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی، حرکات دامنه‌ای، ماکو، AHP، TOPSIS.

مقدمه
ناپایداری دامنه‌های طبیعی بوسیله حرکات توده‌ای یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد این حرکات از جمله پدیده‌های طبیعی هستند که پس از سیل و زلزله بیشترین خسارت را به انسان وارد می‌کنند. با توجه به اینکه بخش عمده‌ای از سرزمین ایران را مناطق کوهستانی فرا گرفته است بنابراین ایران به دلیل توپوگرافی عمدتا کوهستانی، فعالیت زمین ساختی و لرزه خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی شرایط طبیعی را برای انواع حرکات دامنه‌ای دارا می‌باشد.

نویسنده مسئول: مرضیه آقاعلیجانی، دانشگاه خوارزمی تهران، marzy_alikhani@yahoo.com

این حرکات فرایندهای ژئواکوسیستمی مهمی در طبیعت می‌باشد که حیطه آن از تپه‌های ملایم تا کوهستانهای شیب‌دار گسترش یافته است (گروبر[1] و همکاران، ۲۰۰۹). این حرکات در شکل تدریجی و نامحسوس و یا تند و ناگهانی خود انواع مراکز جمعیتی و سازه‌های ساختمانی را تهدید نموده و در مقیاس وسیع موجب خسارات و صدمات جبران ناپذیری می‌گردند به همین دلیل همواره مورد توجه دولتها و مراکز علمی و پژوهشی می‌باشند.

مطالعه شرایط لیتولوژی، هیدرولوژی، توپوگرافی، جهت گیری دامنه‌ها، ویژگی سازندها و فرایندهای هوازدگی نشان می‌دهد که منطقه ماکو از مستعدترین مناطق برای وقوع حرکات توده‌ای از جمله ریزش محسوب می‌شود و این پدیده شهرها و روستاها را تهدید می‌کند و وقوع آن موجب خسارات مالی و تلفات جانی بسیار می‌گردد. اختلاف فصلی و شبانه روزی دما، وجود یخبندان و ذوب برف، بارانهای شدید از ویژگی‌های آب و هوایی منطقه محسوب می‌شوند.

شکل (۱): وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه

شکل (۲): وقوع حرکات دامنه‌ای در منطقه

از مهمترین رویدادهای پدیده ریزش که تحت تاثیر چنین شرایط آب وهوایی اتفاق افتاده است، سقوط تخته سنگهای عظیم از ارتفاعات در سال ۱۳۸۷ به دنبال بارش رگباری و پی در پی می‌باشد (روزنامه آوای ماکو،۱۳۸۷)، همچنین در سال ۱۳۷۲ برای چندمین بار سقوط سنگهای بزرگ در اثر ذوب تدریجی برفها و سست بودن سازندهای زیرین به تخریب چند واحد مسکونی دیگر منجر گردید (روزنامه همشری و کیهان، ۱۳۷۲). بنابراین توسعه روزافزون راههای ارتباطی از کناره‌های دامنه‌های حساس، کشت در دامنه‌ها بدون رعایت قوانین اصول کشت در مناطق شیب‌دار و عدم توجه به ثبات و تعادل دامنه‌ها سبب شده است که دامنه‌ها به شدت ناپایدار شوند. از این رو رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها در شهرستان ماکو ضرورت بررسی خطر ریزش را آشکار می‌سازد (شکل ۱ و ۲).

در این مطالعه سعی شده است با کمک روشهای مختلف مدلسازی آماری و ریاضی مانند AHP و تاپسیس[2] علاوه بر شناسایی سطوح با خطر بالای حرکات دامنه‌ای، مناسب‌ترین مدل در شناسایی این پهنه‌ها مورد ارزیابی قرارگیرد.

شناخت و تشخیص انواع حرکات توده‌ای حداقل به سالهای ۱۸۶۰ میلادی در چین باز می‌گردد (برآب[3]، ۱۹۹۱ ، ص۵۲). همچنین زمین لغزشهایی که طی یک سری زلزله در سال ۱۹۲۰ در ایالت کانسو چین رخ داد موجب مرگ و میر بیش از ۱۰۰۰۰۰ نفر گردید (توماس[4]،۱۹۹۱). اما مطالعات اولیه درمورد حرکات توده‌ای و زمین لغزشها توسط محققینی مختلف نظیر آلماگیا، شارپ، نیلسن، مورا، وارسون و برخی محققان دیگر انجام شده است(پورعلی.۱۳۸۲). تحقیقات اولیه در زمینه مدلسازی و پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از GIS نیز توسط محققینی همچون چانگ، لاماس، شارما، پارس، کاسادل انجام شده است(کریشنان[5]،۱۹۹۹).

1- Gruber

2- TOPSIS
3- Brabb
4- Thomas
5- Krishna

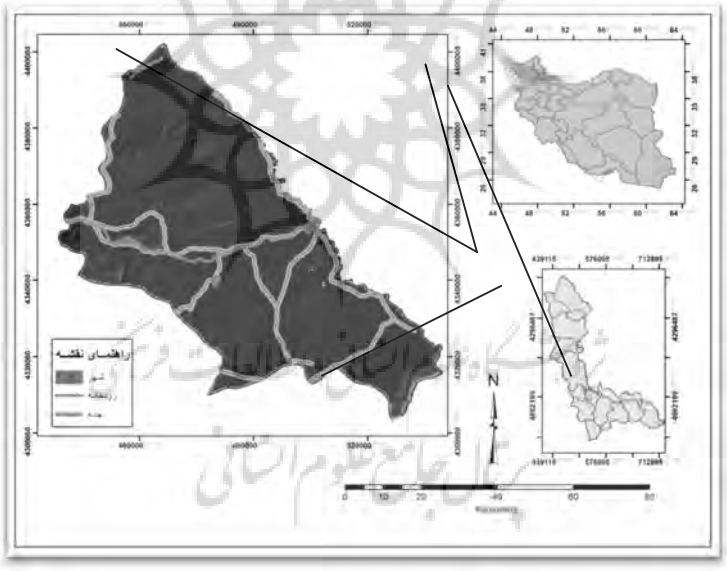
سابویا[1] و همکاران (۲۰۰۶) برای ارزیابی ناپایداری دامنه‌ها در ریودوژانیروی برزیل از مدل منطق فازی استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که چون در این مدل کارشناس می‌تواند بین صفر تا یک طبقات عوامل مختلف را وزن‌دهی نماید بنابراین نتایج بهتری نسبت به سایر مدلها بدست می‌آید. مورات و کاندن[2] (۲۰۰۳) در پژوهشی تحت عنوان استفاده از روابط فازی جهت تولید نقشه‌های توانمندی زمین لغزش در غرب دریای سیاه (ترکیه) به این نتیجه رسیدند که به دلیل پیچیده بودن پدیده زمین لغزش و دخالت عوامل متعدد در رخداد آن به کار بردن روابط فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش از سایر روشها بهتر و به واقعیت نزدیکتر است. لان[3] و همکاران (۲۰۰۴) به تحلیل فضایی خطر زمین لغزش و پیش‌بینی این پدیده در حوضه آبخیز اکسیا اوجیانگ[4] پرداختند و به این طریق یک پایگاه داده مکانی از پارامترهای موثر در وقوع زمین لغزش در محیط GIS طراحی کردند و با ترکیب لایه‌ها بر اساس درجه اهمیتشان و تعیین وزن آنها در محیط GIS از طریق هموشانی نقشه پهنه بندی منطقه مورد مطالعه بدست آمد.کومک[5] (۲۰۰۵) اقدام به مطالعه زمین لغزش در پریال پاین[6] اسلوونی با استفاده از مدل فرایند سلسله‌مراتبی و آمار چند متغییره (AHP) نمود و از این رو نقشه کاربری اراضی و داده‌های پوشش گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی با قدرت تفکیک‌پذیری بالا از منطقه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و با استفاده ازتجزیه وتحلیل آماری چند متغیره به این نتیجه رسید که شیب، سنگ شناسی، ناهمواری زمین و نوع پوشش نقش مهمی در زمین لغزش دارد. لیانگ و یانگ[7] (۲۰۰۷) به ارزیابی خطر وقوع زمین لغزش برمبنای GIS و AHP در ایالت گانسو در شمال غرب چین پرداختند آنها ابتدا عوامل موثر در وقوع زمین لغزش را به طور پیوسته محاسبه کردند در مرحله بعد شاخص‌ها شامل گسلها، تعیین رابطه بین تپه‌های بلند، گرادیان شیب و کاربری اراضی ارزیابی و سپس با استفاده از مدل AHP برای هر عامل وزن تعیین شد و سرانجام نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه تهیه گردید و نشان داد که ترکیب این دو مدل بهترین نتایج را در ارزیابی خطر زمین لغزش می‌دهد. بطورکلی سابقه مطالعات و پژوهش درمورد مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر حرکتهای توده‌ای در کشورهای توسعه یافته به دهه ۶۰ میلادی بازمی‌گردد اما علیرغم سابقه طولانی این عرصه از پژوهش در کشورهای توسعه یافته در کشور ایران مطالعات انجام شده دراین زمینه جوان بوده و شروع جدی آن عمدتا به اوایل دهه ۸۰-۷۰ باز می‌گردد و از جمله محققینی که در این مورد مطالعاتی داشتند می‌توان به فلاح زاده، خوش رفتار، شریعت جعفری، پورعلی، کرم، مهدویفر و نیک اندیش اشاره نمود. قهرودی تالی(۱۳۹۸) با استفاده از مدل فازی و با استفاده از داده‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اقلیمی، متغیرهای موثر در مخاطرات ژئومورفولوژیکی به تحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در حوضه رود کرج پرداخته و به این نتیجه رسید که مدل فازی نگرش درستی از توزیع فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی دارد. کرم(۱۳۸۰) با مدل سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز سر خون حرکات توده‌ای را با کمک چند مدل بررسی کرده و به این نتیجه رسیده است که روش رگرسیون لاجستیک بهترین روش برای مدل سازی خطر زمین لغزش در این منطقه می‌باشد.غیومیان وهمکاران(۱۳۸۱) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در منطقه رودبار گیلان انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بکار گیری ریاضیات و منطق فازی در ارزیابی خطر زمین لغزش به دلیل طبیعت و ماهیت این پدیده و داده‌های مورد استفاده در ارزیابی آن ابزار سودمندی برای ارزیابی خطر زمین لغزش به شمار می‌رود. در سطح استان ارومیه خضری و همکاران(۱۳۸۶) به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر

1- sabuya
2- Murat and Candan
3- Lan
4- Xiaojiang
5- Komac
6- Perialpine
7- Liang and Yang

ناپایداری دامنه‌ها در بخش مرکزی حوضه زاب به روش آنبالاگان پرداخته و نقشه پهنه‌بندی را در منطقه مورد مطالعه تهیه کرده است. علاوه بر مطالعات فوق بررسی‌های دیگری در زمینه حرکات دامنه‌ای بوسیله کرم (۱۳۸۳)، قلی‌زاده (۱۳۸۹) و روستایی و همکاران(۱۳۹۱) نیز صورت گرفته است. با توجه به جدید بودن مطالعات مربوط به حرکات دامنه‌ای در کشور و همچنین عدم مطالعه کامل و منسجم آن در سطح شهرستان ماکو انجام این مطالعه را ضروری می‌نماید.

منطقه مورد مطالعه

شهرستان ماکو با مختصات ″۳۰ ′۲۱ °۴۴ طول شرقی و ″۲۰ ′۲۵ °۳۹ عرض شمالی از توابع استان آذربایجان غربی در شمالغرب‌ترین نقطه کشورقرار دارد. وسعت آن ۴۱۸۲کیلومتر می‌باشد، که حدود ۲۲/۱ درصد کل وسعت آذربایجان غربی را شامل می‌شود. از نظر ارتفاعی در سطوح نزدیک به ۴۰۰۰- ۴۵۰۰ متر قرار دارد. این منطقه از نظر شرایط طبیعی دارای آب و هوای نیمه خشک با تابستان گرم و زمستان سرد است و از اختلاف دمای سالانه بالایی برخوردار می‌باشد، همچنین متوسط تعداد روزهای با پدیده یخبندان در ایستگاه هواشناسی ماکو ۱۱۱/۲۸ روز می‌باشد، که چنین شرایط اقلیمی زمینه لازم برای فعال نمودن حرکات دامنه‌ای بویژه ریزش را در مناطقی که به لحاظ زمین‌شناختی دارایی شرایط مستعد می‌باشند فراهم می آورد. از نظر زمین‌شناسی بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه بویژه در بخش‌های غربی آن از گدازه‌های بازالتی و آندزیتی پوشیده شده که از فعالیت آتشفشانی آرارات نشات گرفته است و سنگ‌های آهکی نیز بخش‌های وسیعی از منطقه را می‌پوشانند.

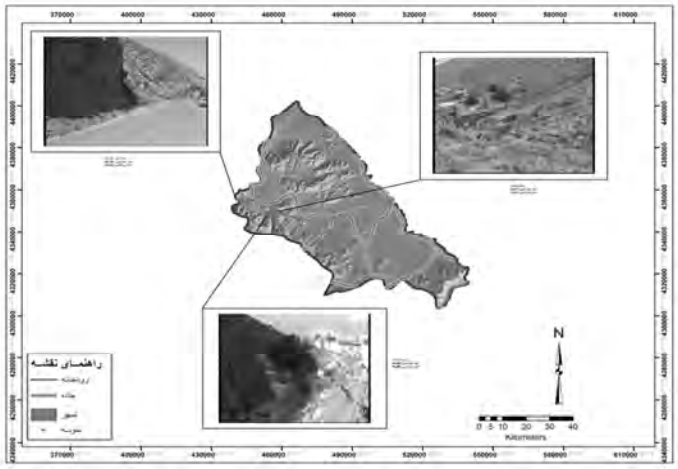


شکل (۳): موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان

بطورکلی با توجه شرایط توپوگرافی منطقه(کوهستانی و مرتفع) همراه با شرایط اقلیمی و زمین شناسی موجب ایجاد بستری مناسب برای انواع حرکات دامنه‌ای در منطقه گردیده و در میان شهرهای این شهرستان، شهر ماکو و چالدران بیشتر از شهرهای دیگر در معرض وقوع رخدادهای ناشی از حرکات دامنه‌ای می‌باشند. در جدول(۱) و شکل(۴) اطلاعات مربوط به بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه ارائه گردیده است.

جدول (۱): موقعیت نقاط ریزشی برداشت شده

ردیف	نام منطقه جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	نزدیک سه راهه رند	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۹
۲	بین جاده بازرگان و پارک جنگلی	۳۹/۲۷۱	۴۴/۶۰۲
۳	روبروی پارک جنگلی	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۸
۴	نزدیک پمپ گاز ورودی شهر ماکو	۳۹/۲۷	۴۴/۶۰۵
۵	قزبعلی	۳۹/۲۹۱	۴۴/۵۲۴
۶	قزبعلی ۲	۳۹/۲۹	۴۴/۵۱۷
۷	قره خجلیق	۳۹/۲۸۵	۴۴/۵۱
۸	قبرستان قره خجلیق	۳۹/۲۸۶	۴۴/۵۱۴
۹	قاسم آباد	۳۹/۲۸۹	۴۴/۵۱۳
۱۰	قاسم آباد۲	۳۹/۲۹۲	۴۴/۵۱۲
۱۱	انتهای قاسم آباد	۳۹/۲۹۳	۴۴/۵۱۶
۱۲	منطقه مسجد ابوالفضل	۳۹/۲۸	۴۴/۵۱۳
۱۳	اول بازار	۳۹/۲۹۶	۴۴/۵۱۳
۱۴	اول خیابان امیر کبیر	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۰۸
۱۵	خچرخان	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۱
۱۶	اول محله	۳۹/۲۹۴	۴۴/۵۰۵
۱۷	آخربلوار	۳۹/۲۹۲	۴۴/۴۸۲
۱۸	حسینیه بلوار	۳۹/۲۹۳	۴۴/۴۷۲
۱۹	معرفت	۳۹/۲۹	۴۴/۴۶۴
۲۰	بلوار شهید جواد قنبری	۳۹/۲۸۸	۴۴/۴۶۴
۲۱	روبروی پمپ گاز قره سو	۳۹/۲۸۹	۴۴/۴۶۲
۲۲	قره کورپی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۶۵
۲۳	خیابان شهید مدنی	۳۹/۲۸۷	۴۴/۴۸۸
۲۴	جاده شوط-چالدران	۳۹/۱۵۵	۴۴/۶۹۳
۲۵	جاده شوط-چالدران۲	۳۹/۱۶۱	۴۴/۷۰۵
۲۶	جاده شوط -چالدران۳	۳۹/۱۶۴	۴۴/۷۰۷
۲۷	جاده شوط -چالدران۴	۳۹/۱۶۵	۴۴/۷۱
۲۸	جاده شوط-چالدران۵	۳۹/۲	۴۴/۷۳
۲۹	ورودی روستای قلعه جوق-رودخانه زنگمار	۳۹/۲۸۲	۴۴/۴۶۲
۳۰	روستای قلعه جوق	۳۹/۲۷۴	۴۴/۴۶۹
۳۱	انتهای روستای قلعه جوق	۳۹/۲۷۱	۴۴/۴۹۱
۳۲	جاده ماکو-قره غاچ	۳۹/۲۶۷	۴۴/۴۶۱
۳۳	جاده ماکو-قره غاچ۲	۳۹/۲۶۵	۴۴/۴۶۱
۳۴	جاده ماکو-قره غاچ۳	۳۹/۲۴۱	۴۴/۴۳۵
۳۵	باشکند	۳۹/۳۵	۴۴/۳۳۹
۳۶	جاده باشکند-قرمزلیق	۳۹/۳۴۵	۴۴/۳۳۳



شکل (۴): مشاهدات میدانی مربوط به چند حرکت توده‌ای

داده‌ها و روش شناسی

الف) داده‌ها و لایه‌های مورد استفاده

با توجه به هدف تحقیق و همچنین مطالعات انجام شده بوسیله شادفر و همکاران(۱۳۸۳)، سیدعلی عبادی‌نژاد(۱۳۸۶)، ایلانلو و همکاران(۱۳۸۸)، بهشتی و همکاران (۱۳۸۸) و نیز شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی منطقه از اطلاعاتی همچون اختلاف دما، ارتفاع، بارش، زمین‌شناسی، شیب، فاصله از جاده، رود و گسل، لندفرمها و یخبندان(شکل‌های ۵ تا ۱۴) بعنوان عوامل موثر حرکات دامنه‌ای استفاده گردید. جهت تهیه این لایه‌ها از داده‌ها و اطلاعات اولیه شامل نقشه توپوگرافی منطقه، نقشه زمین شناسی، تصویر ماهواره‌ای ETM^{+}، داده‌های اقلیمی ایستگاههای هواشناسی مراغه، تبریز، جلفا، خوی، ماکو و ارومیه استفاده گردیده است. این لایه‌ها بوسیله نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردیده است. با کمک DEM لایه‌های اطلاعاتی شیب و ارتفاع تهیه شده است، جهت تهیه لایه فاصله از گسل و زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی بهره برده‌ایم، جهت آماده‌سازی لایه‌های اقلیمی مانند یخبندان، اختلاف دما و بارش ابتدا با کمک نرم‌افزار SPSS رابطه خطی بین این پارامترها و ارتفاع بدست آمده سپس با کمک DEM این لایه‌ها تهیه گردیدند.

رابطه(۱): رابطه بارش و ارتفاع

$$y = 68.56 + 0.158x \qquad R = 0.889$$

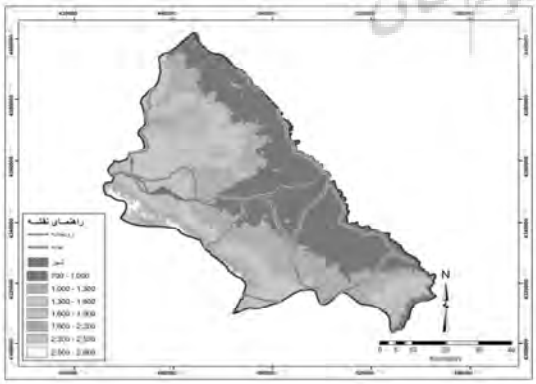
رابطه(۲): رابطه یخبندان و ارتفاع

$$y = 54.42 + 0.046x \qquad R = 0.96$$

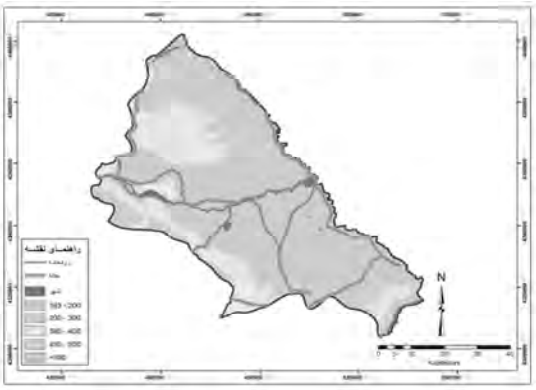
رابطه(۳): رابطه اختلاف دما و ارتفاع

$$y = 17.29 - 0.005x \qquad R = 0.723$$

شکل (۵): اختلاف دما



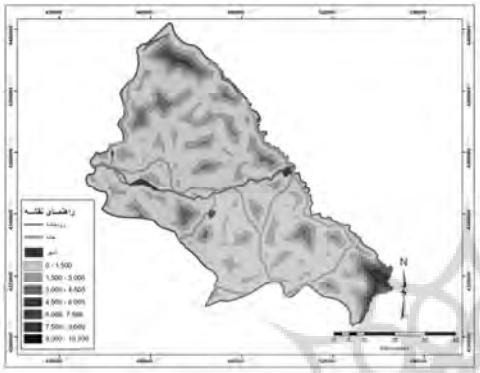
شکل (۶): ارتفاع



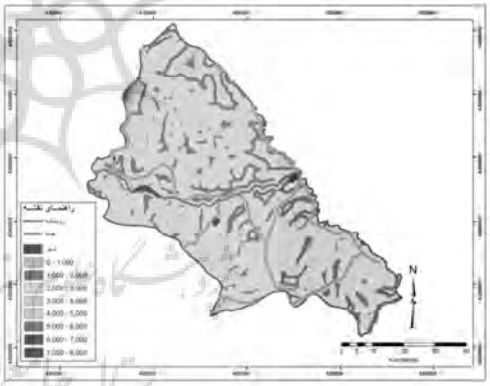
شکل (۷): بارش

شکل (۸): زمین شناسی

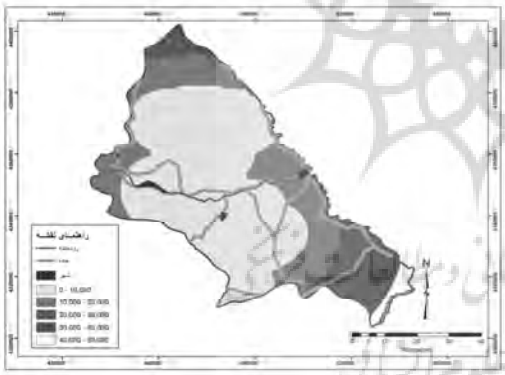
شکل (۹): شیب



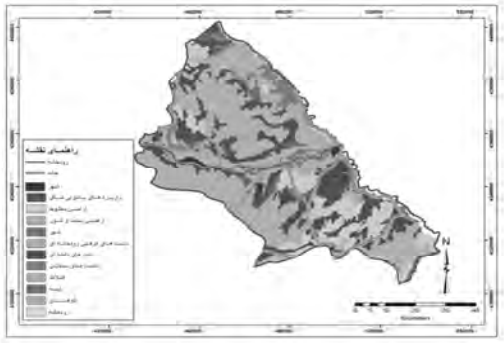
شکل (۱۰): فاصله ازجاده



شکل (۱۱): فاصله از رود



شکل (۱۲): فاصله از گسل



شکل (۱۳): لند فرم

شکل (۱۴): یخبندان

علاوه بر داده‌ها و اطلاعات فوق مشاهدات میدانی شامل برداشت مختصات (جدول ۱) و تصویر از حرکات دامنه‌ای در سطح منطقه مورد مطالعه صورت گرفته، که نقشه آن جهت ارزیابی نهایی مدل‌ها تهیه شده است(شکل ۲).

ب) روش شناسی تحقیق

با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار ArcGIS در تحلیل داده‌های مکانی از این نرم‌افزار برای پهنه‌بندی پتانسیل حرکات دامنه‌ای در شهرستان ماکو استفاده شده است. با توجه به توانمندی این نرم‌افزار در اجرا مدل‌های مختلف آماری و ریاضی از آن برای تعیین مناطق خطر در سطح منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. سپس نقشه نهایی خطر ریزش برای هر یک از مدلها جداگانه تهیه و با هم مقایسه شد سر انجام با توجه به نمونه‌های برداشت شده در مشاهدات میدانی مدلهای فوق مورد ارزیابی قرار گرفته تا مناسب‌ترین مدل جهت پتانسیل سنجی حرکات دامنه‌ای در شهرستان ماکو تعیین گردد.

مدل AHP: فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مبنی بر مقایسات زوجی می‌باشد که شامل عنصر، هدف، معیارها، مشخصه‌ها و گزینه‌های احتمالی می‌باشد (زبردست،۱۳۸۰). تحلیل سلسله مراتبی ارائه دهنده روشی برای طبقه‌بندی گزینه‌ها در آخرین سطح می‌باشد که این طبقه‌بندی منتج از تعیین ارجحیت بین معیارهاست (saaty, etal, 2007). این مدل در اجرا از سه مرحله یا گام اصلی شامل ایجاد مقایسات زوجی، محاسبه وزن معیارها و تخمین نرخ سازگاری تشکیل گردیده است(زیاری و دیگران، ۱۳۸۷). جهت انجام مقایسات زوجی در مدل از مقیاس عددی یک تا نه استفاده می‌شود عدد یک نشان‌دهنده اهمیت برابر معیارهای مورد مقایسه و عدد نه نشان دهنده بالاترین اهمیت می‌باشد. نرخ سازگاری نیز که مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد نشان‌دهنده درستی مقایسات انجام شده می‌باشد.

برای اجرای مدل AHP ابتدا هر یک از پارامترها با توجه به تاثیرشان بر حرکات دامنه‌ای طبقه‌بندی و سپس امتیازدهی گردیدند. عوامل عوارض توپوگرافی و هیدرولوژیکی، عوامل اقلیمی و عوامل زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی به عنوان معیارهای اصلی تعیین گردیدند و پارامترهای شیب، فاصله از رود، فاصله از جاده و ارتفاع زیر معیارهای عوامل عوارض توپوگرافی و هیدرولوژیکی را تشکیل می‌دهند، پارامترهای یخبندان، بارش و اختلاف دما زیر معیارهای عوامل اقلیمی می‌باشند و زیر معیارهای عوامل زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی شامل زمین شناسی، لند فرم و فاصله از گسل می‌باشند. این معیارها با توجه به میزان اهمیت هر پارامتر در وقوع حرکات دامنه‌ای مورد مقایسه زوجی قرار گرفته و در نهایت برای هر معیار وزنی بر اساس اهمیت آن معیار تعیین شد و بعد از ضرب این وزنها در لایه‌ها وجمع آنها باهم نقشه نهایی تهیه گردید.

مدل تاپسیس: این مدل گزینه‌ها را بوسیله شاخصهای تعریف شده مورد ارزیابی قرار می‌دهد و منطق آن بر تعیین فاصله هر یک از گزینه‌ها از نقاط ایده آل مثبت و منفی می‌باشد و گزینه بهینه گزینه‌ای است که کمترین فاصله از ایده آل مثبت و بیشترین فاصله از ایده‌آل منفی را دارا باشد (مومنی و همکاران، ۱۳۹۰).

بنابراین در نقشه تهیه شده بوسیله این مدل پیکسل‌هایی دارای بالاترین رتبه می‌باشند که بیشترین تشابه را با نقاط ایده آل مثبت دارا باشد جهت بدست آوردن فاصله هرگزینه از نقاط ایده آل مثبت و منفی از روابط زیر استفاده می‌گردد.

رابطه (۴)فاصله از ایده آل پوینت مثبت

$$di^{+} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{+}\right)^2} \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m$$

رابطه (۵)فاصله از ایده آل پوینت منفی

$$di^{-} = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}\left(V_{ij} - V_j^{-}\right)^2} \quad , \quad i = 1,2,\ldots,m$$

گزینه بهینه نیز از رابطه (۶)بدست آمد.

رابطه (۶) $$CL_i = \frac{d_i^{-}}{d_i^{-} + d_i^{+}}$$

بنابراین جهت پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای به این روش ابتدا روابط هر یک از پارامترها تعیین و سپس ماتریس موزون بی

بعد آنها بدست آمد و در نهایت فاصله هر یک از پارامترها از ایده‌آل‌های مثبت و منفی استخراج گردید و نقشه نهایی بر اساس رابطه (۶) بدست آمد.

پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای بوسیله مدل‌های فوق این مدل‌ها با کمک داده‌های میدانی برداشت شده مورد ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت پهنه‌های موثر در حرکات دامنه‌ای با کمک مناسب‌ترین نقشه بدست آمده تعیین گردیدند.

یافته‌ها

در مدل AHP همانطور که قبلا اشاره گردید عوامل عوارض توپوگرافی و هیدرولوژیکی، عوامل اقلیمی و عوامل زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی به عنوان معیارهای اصلی تعیین گردیدند و پارامترهای شیب، فاصله از رود، فاصله از جاده و ارتفاع زیر معیارهای عوامل عوارض توپوگرافی و هیدرولوژیکی را تشکیل می‌دهند، پارامترهای یخبندان، بارش و اختلاف دما زیر معیار های عوامل اقلیمی می‌باشند و زیر معیارهای عوامل زمین شناختی و ژئومورفولوژیکی شامل زمین شناسی، لند فرم و فاصله از گسل می‌باشند که در ادامه جدول مربوط به مقایسات ژوجی این پارامترها ارائه گردیده است.

از ضرب نتایج حاصل از وزن مقایسات زوجی معیارهای اصلی و زیر معیارهای مربوطه وزن نهایی هر یک از معیارها بدست آمده است (جدول ۶). شکل (۱۵) نقشه طیفی بدست آمده از پهنه‌بندی خطر با استفاده از مدل AHP می‌باشد. این نقشه با استفاده از متد شکستگی‌های طبیعی در پنج سطح طبقه‌بندی گردیده است(شکل ۱۶).

جدول (۲): مقایسات زوجی معیارهای اصلی مدل

	زمین شناختی	توپوگرافیکی	اقلیمی	وزن
زمین شناختی	۱	۲	۳	۰/۵۴
توپوگرافیکی	۰/۵	۱	۲	۰/۳
اقلیمی	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۱۶
مجموع				۱

CR=۰/۰۰۸۸

جدول (۳): مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل زمین شناختی مدل

	زمین شناسی	لند فرم	فاصله از گسل	وزن
زمین شناسی	۱	۳	۵	۰/۶۴
لند فرم	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۶
فاصله از گسل	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱
مجموع				۱

CR=۰/۰۳۷

جدول (۴): مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل توپوگرافیک مدل

	شیب	فاصله از رود	فاصله از راه	ارتفاع	وزن
شیب	۱	۳	۵	۷	۰/۵۶
فاصله از رود	۰/۳۳	۱	۳	۵	۰/۲۶
فاصله از راه	۰/۲	۰/۳۳	۱	۳	۰/۱۲
ارتفاع	۰/۱۴	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۰۶
مجموع					۱

CR=۰/۰۴۳۳

جدول (۵): مقایسات زوجی زیر معیارهای عوامل اقلیمی مدل

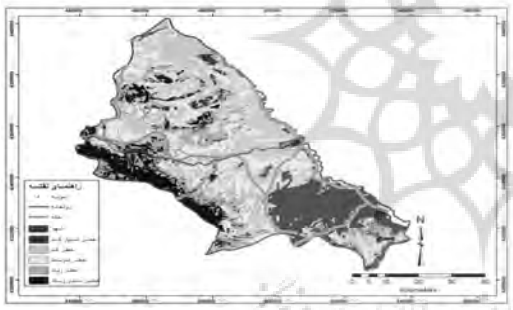
	یخبندان	بارش	اختلاف دما	وزن
یخبندان	۱	۳	۵	۰/۶۴
بارش	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲۶
اختلاف دما	۰/۲	۰/۳۳	۱	۰/۱
مجموع				۱

CR=۰/۰۳۷

جدول (۶): وزن نهایی مربوط به هر یک از معیارها

معیار های اصلی	وزن	معیار های فرعی	وزن	وزن نهایی معیار ها
زمین شناختی	۰/۵۴	زمین شناسی	۰/۶۴	۰/۳۵
		لندفرم	۰/۲۶	۰/۱۴
		فاصله از گسل	۰/۱	۰/۰۵
توپوگرافیک	۰/۳	شیب	۰/۵۶	۰/۱۷
		فاصله از رود	۰/۲۶	۰/۰۸
		فاصله از راه	۰/۱۲	۰/۰۴
		ارتفاع	۰/۰۶	۰/۰۲
اقلیمی	۰/۱۶	یخبندان	۰/۶۴	۰/۱
		بارش	۰/۲۶	۰/۰۴
		اختلاف دما	۰/۱	۰/۰۱
مجموع	۱			۱

شکل (۱۵): نقشه طیفی مدل AHP



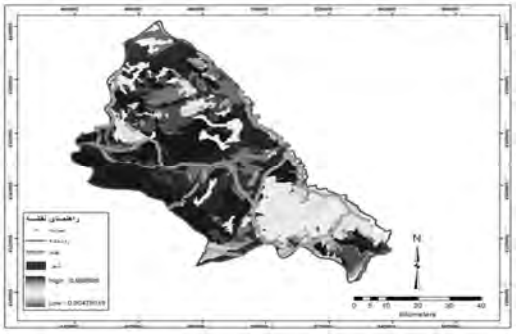
شکل (۱۶): نقشه طبقه بندی شده مدل AHP

در مدل تاپسیس نیز ابتدا لایه بی بعد هر یک از لایه‌های اطلاعاتی بکار رفته در پهنه‌بندی پتانسیل حرکات دامنه‌ای بدست آمده است و سپس با استفاده از ضرب این لایه‌ها در وزن‌های کارشناسی تعیین شده (جدول ۷) لایه بی بعد وزین این معیارها بدست آمده است.

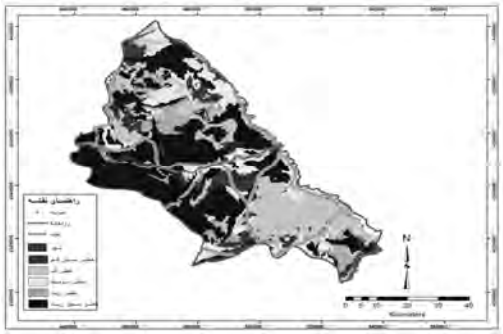
پس از بدست آوردن ایده آل‌های مثبت و منفی نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل حرکات دامنه‌ای بدست آمده است (شکل ۱۵)، که در پنج سطح با استفاده از متد شکستگی‌های طبیعی طبقه‌بندی شده است (شکل ۱۶). در جدول(۸) مشخصات مربوط به هر یک از سطوح خطر در مدل‌های فوق ارائه گردیده است.

جدول (۷): وزن کارشناسی هر یک از لایه‌های بکار رفته در مدل تاپسیس

معیار	زمین شناسی	لندفرم	فاصله از گسل	شیب	فاصله از رود	فاصله از راه	ارتفاع	یخبندان	بارش	اختلاف دما
وزن	۱/۲۵	۱/۲	۰/۹	۱/۱۵	۰/۸۵	۰/۵۵	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۹۵



شکل (۱۵): نقشه طیفی مدل تاپسیس



شکل (۱۶): نقشه طبقه بندی شده مدل تاپسیس

جدول (۸): مشخصات سطوح خطر در هر یک از مدها به درصد

سطوح خطر / مدل	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
AHP	۱۷/۷۸	۲۸/۵۷	۲۵/۹۱	۱۷/۳۲	۱۰/۴۳
تاپسیس	۱۰/۴۹	۲۳/۶۵	۱۴/۴۹	۷/۱۶	۴۴/۲۱

جدول (۹): نتایج همپوشانی نقشه‌های نهایی پیش بینی شده با نقاط نمونه برداری شده

سطوح خطر / مدلها	خطر بسیارکم	خطر کم	خطر متوسط	خطر زیاد	خطر بسیار زیاد
تاپسیس	۰	۰	۰	۰	۳۶
AHP	۰	۱	۴	۱۳	۱۸

* ارقام جدول تعداد نمونه‌های حرکت‌های ریزشی در هر طبقه خطر را نشان می‌دهد.

جهت ارزیابی مدل‌ها بازدید میدانی از حوضه مورد مطالعه در سه مرحله انجام شده یک بازدید مقدماتی و اولیه از حوضه مورد مطالعه و همچنین انطباق اطلاعات حاصله از نقشه‌های توپوگرافی،پوشش گیاهی، زمین شناسی،شیب حوضه و سایر نقشه‌ها با واقعیت‌های موجود بر روی زمین. مرحله دوم تهیه عکس و ثبت موقعیت و ارتفاع از ریزش‌های اتفاق افتاده به کمک دستگاه GPS (جدول ۱) و مرحله سوم بازدید نهایی از محدوده مورد مطالعه پس از اتمام مطالعه جهت تطبیق یافته‌های تحقیق با محیط واقعی. لایه اطلاعاتی مربوط به این نقاط در نرم‌افزار GIS تهیه گردید و با نقشه‌های نهایی بدست آمده همپوشانی گردید که نتایج مربوط به این همپوشانی در جدول(۹) نشان داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل خطر حرکات دامنه‌ای بدست آمده و جدول(۸) در مدل AHP، ۱۰/۴۳ درصد از سطح شهرستان ماکو را سطوح با خطر بسیار زیاد بوجود می‌آورند ودر مدل تاپسیس این سطوح ۴۴/۲۱ درصد از منطقه را شامل می‌شوند. نتایج حاصل از همپوشانی لایه نمونه‌های برداشت شده با نقشه‌های نهایی نیز نشان می‌دهد که تمام نمونه‌های برداشت شده در مدل تاپسیس در سطوح با خطر زیاد قرار می‌گیرند. بطور کلی در مدل تاپسیس سطوح با خطر بسیار زیاد مساحت زیادی از منطقه را به خود اختصاص می‌دهند، که نتایج حاصل از بررسی‌های میدانی نهایی نشان داده است که سطوح با خطر بسیار زیاد دارای چنین گستردگی در منطقه نمی‌باشد و به نظر می‌رسد این مدل دارای دقت پایین‌تری بدلیل تعیین خطی روابط در آن می‌باشد.

بنابراین با توجه به بررسی‌های میدانی این مدل دارای صحت لازم جهت بررسی‌های مربوط به پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای در منطقه مورد مطالعه نمی‌باشد و مدل AHP به عنوان مدل مناسب جهت پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای پذیرفته شده است. بنابراین موثرترین و کم‌تاثیرترین سطوح در ایجاد حرکات دامنه‌ای در منطقه با توجه به مدل AHP تعیین گردید(جدول ۱۰). بر اساس این جدول موثرترین سطوح در ایجاد حرکات دامنه‌ای اغلب دارای شیبی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد بوده و در سطوح ارتفاعی ۱۶۰۰ تا ۱۹۰۰ متر مناطق کوهستانی قرار دارند و از لحاظ لیتولوژیکی بیشتر از سنگ آهک تشکیل گردیده‌اند و در فاصله کمتر از ۵۰۰۰ متر از گسل‌ها می‌باشند واز نظر اقلیمی بیشتر در محدوده‌هایی واقع گردیده‌اند که دارای ۱۲۰تا ۱۴۰ روز یخبندان سالانه، میانگین اختلاف دمای ۸ تا ۱۰ درجه سانتیگراد در سال و میانگین بارش سالانه ۲۵۰ تا ۳۵۰ میلیمتر می‌باشد. همچنین این سطوح در فاصله کمتر از ۲۰۰۰ متر از جاده‌ها و کمتر از ۱۵۰۰ متر از رودخانه‌ها قرار گرفته‌اند. کم تاثیرترین سطوح نیز اغلب دارای شیب ۰تا ۵ در صد و ارتفاع کمتر از ۱۰۰۰ متر می‌باشند و بستر آنها را دشت‌های سیلابی که اغلب از ماسه سنگ پوشیده شده‌اند تشکیل می‌دهند. این سطوح اغلب فاصله‌ای بین ۰ تا ۵۰۰۰ متر گسل‌ها دارند.

همچنین نتایج حاصل از مدل AHP نشان می‌دهد که شهرهای ماکو و بازرگان مراکز سکونتی می‌باشند که بیشتر از سایر مراکز انسانی در معرض خطر حرکات دامنه‌ای می‌باشند و نیاز به برنامه‌ریزی و بررسی بیشتر در این زمینه جهت توسعه آینده شهر دارند و ضروری است تا این مساله در مدیریت این مناطق مورد توجه قرار گیرد.

جدول (۱۰): جمع‌بندی نتایج همپوشانی هر یک از لایه‌ها با نقشه AHP با استفاده از متد جداول متقاطع

ردیف	معیار	موثرترین سطوح	درصد مساحت طبقه خطر بسیار زیاد
۱	شیب	۱۰-۲۰ ٪	۵۴/۳۳
۲	ارتفاع	۱۶۰۰-۱۹۰۰	۳۹/۴۶
۳	زمین شناسی	سنگ آهک	۶۳/۴
۴	لندفرم	کوهستان	۸۱/۰
۵	اختلاف دما	۸-۱۰	۵۹/۸۳
۶	یخبندان	۱۲۰-۱۴۰	۵۴/۴
۷	بارش	۲۵۰-۳۵۰	۶۲
۸	فاصله از جاده	۰-۲۰۰۰	۶۷
۹	فاصله از رود	۰-۱۵۰۰	۶۱/۸
۱۰	فاصله ازگسل	۰-۵۰۰۰	۸۹/۱

منابع

۱- ایلانلو، م.، مقیمی، ا. و ثروتی م.(۱۳۸۸): پهنه بندی خطر حرکات تودهای بااستفاده ازروش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) مطالعه موردی حوضه آبریزسدکرج، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال دوم، شماره ۵۵، ص. ۸۵.

۲- بلادپس، ع.(۱۳۸۱): پژوهش در تحول ژئومورفولوژیک منطقه ماکو، پایان نامه دکترا، دانشگاه تبریز. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر، سال هشتم، شماره ۲۳، صفحه ۱-۱۷.

۳- بهشتی راد، م. فیض نیا، س.، سلاجقه، ع.، احمدی، ح. (۱۳۸۸): بررسی کارایی مدل پهنه‌بندی خطرزمین لغزش فاکتور اطمینان (CF) مطالعه موردی حوضه آبخیز معلم کلایه، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال دوم شماره۵.

۴- پورعلی،س. ح.(۱۳۸۲): پهنه‌بندی مناطق خطرزمین لغزه در محدوده شهرستانهای اردل وفارسان(حوضه آبخیز کوهرنگ) با استفاده از GIS و RS استان چهارمحال بختیاری، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه شهیدبهشتی.

۵- خضری، س.، روستایی، ش.، رجایی، ع. (۱۳۸۶): ارزیابی وپهنه بندی خطرناپایداری دامنه هادربخش مرکزی حوضه زاب شهرستان سردشت، فصلنامه مدرس علوم انسانی، سال دهم، شماره۴،ص.۸۰- ۹۵.

۶- روزنامه آوای ماکوشماره ۲۰۹ ، ۳۱مردادماه۱۳۸۷.

۷- روزنامه همشهری، یکشنبه ۱۲ دی ماه ۱۳۷۲

۸- روزنامه کیهان پنچشنبه ۱۲اسفندماه ۱۳۷۲.

۹- روستایی، ش. و احمد زاده، ح.(۱۳۹۱): پهنه‌بندی مناطق متاثر از زمین لغزش در جاده تبریز- مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱: ص ۴۷-۵۸.

۱۰- زبردست، ا.، ۱۳۸۰، کاربرد فرایند سلسله‌مراتبی در برنامه ریزی شهری ومنطقه‌ای، هنرهای زیبا، ۱۰، ص ۱۳-۲۱.

۱۱- زیاری، ک. واشرفی، ی.(۱۳۸۷):کاربرد مدل تحلیل سلسله مراتبی AHP در مکان یابی صنعت روستایی نمونه موردی مکانیابی صنعت آبمیوه گیری در شهرستان بناب، ۲۳، ص۱۰۳-۱۲۸.

۱۲- سازمان آب و هواشناسی کشور، آمار ایستگاههای سینوپتیک، مراغه، تبریز، جلفا، خوی، ماکو و ارومیه.

۱۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، تصویر ماهواره‌ای شهرستان ماکو.

۱۴- سازمان زمین شناسی کشور، نقشه زمین شناسی، ۱:۱۰۰۰۰۰.

۱۵- سازمان نقشه برداری کشور، نقشه توپوگرافی، ۱:۵۰۰۰۰.

۱۶- شادفر، ص. و یمانی، م.(۱۳۸۳): پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲ زمستان ۸۶، ص ۱۱-۲۳.

۱۷- عبادی نژاد، س. ع.، یمانی، م.، مقصودی، م. و شادفر، ص. (۱۳۸۶):ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین لغزش(مطالعه موردی:حوضه آبخیز شیرود)، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال اول شماره ۲:ص ۳۹

۱۸- غیومیان، ج.، فاطمی عقدا، م.، اشقلی فراهانی،ع. وتشنه لب، م. (۱۳۸۱): پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی(مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)، پژوهش سازندگی، شماره۵۶و۵۷، ص ۸۰-۶۷.

۱۹- قلی زاده، ا.(۱۳۸۹): مدلسازی پتانسیل ریزش در شهرستان ماکو مطالعه موردی حوضه رودخانه زنگبار با استفاده از مدل فازی و GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.

۲۰- قهرودی تالی، م.(۱۳۸۹):کاربرد مدل فازی درتحلیل فضایی مخاطرات ژئومورفولوژیکی در حوزه رودکرج، دهمین کنفرانس سیستم‌های فازی ایران، دانشگاه شهیدبهشتی.

۲۱- کرم، ا.(۱۳۸۰):مدلسازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی حوضه سر خون)، رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.

۲۲- کرم، ا.(۱۳۸۳):کاربرد مدل ترکیب خطی وزین(WLC) در پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین لغزش مطالعه موردی: منطقه سرخون در استان چهارمحال و بختیاری، جغرافیا و توسعه، ص ۱۳۱-۱۴۶.

۲۳- مومنی،م.(۱۳۷۸): مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ دوم، تهران، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.

۲۴- مومنی، م.، جعفرنژاد، ا. و صادقی، ش.(۱۳۹۰):جابجایی بهینه مراکز توزیع در فرایند بازاریابی با استفاده از روش ریاضی، مدیریت صنعتی، ۶، ص ۱۲۹-۱۴۸

25- Brabb , E . E.(1991):The World Landslide Problem : Episodes , V. 14. No .1, P. 52-61.

26- Komac,M.(2005):A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia.geomorphology,74,p17-28.

27- Krishna, H.(1999):Landslide hazard zonation mapping using remote sensing &GIS, geomorphology, 21,p153-163.

28- Lan,H.,wang,L.,Li,R.(2004):Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the xiaojiang watershed ,enginnering geology,7,p109-128.

29- Liang,SH.and Yang,X (2007): Landslide hazard assessment based on GIS and AHP.

30- Murat,E.and Candan ,G(2003): use of fuzzy relation to produce landslide susceptibility map of a landslide pron erea (west black sea region,turkey),engineering geology, vol75, p24.

31- Saaty, T,(1980): the analytical hierarchical process: planning ,priority setting resource allocation, NEW YORK ,Mc Graw – Hill.

32- sabuya.F,M.G.Alves and pinto, W.D. (2006): Assessment of failure susceptibility of soil slopes sing fuzzy logic, Engineering Geology ,p14.

33- Thomas,T.(1991): Slope Stabilization by New Ground Anchorage Systems in Rocks And Soils, Slope Stability Engineering, p335-340.

34- Gruber, S. Huggel, C. Pike, R.(2009): Modelling Mass Movements and Landslide Susceptibility, Developments in Soil Science, v,33,ISSN 0166-2481.