



Identification and zoning of landslide prone areas using object-oriented method and network analysis (ANP)

(Case study: Shahroudchai catchment area of Khalkhal city)

Siran Bahmani ^{a*}, Zahra Zanganeh Tabar ^b, Sara Mohammadi ^c, Sara Matai ^d

^a Master in Hydrogeomorphology, University of Tabriz, Iran

^b PhD Student in Geomorphology, University of Tabriz, Iran

^c PhD Student in Geomorphology, Kharazmi University, Tehran, Iran

^d PhD Student in Geomorphology, University of Tabriz, Iran

Received: 4 April 2021

Revise: 10 June 2021

Accepted: 20 June 2021

Abstract

Mass movements, especially landslides, are among the most dangerous and harmful environmental hazards that have accelerated in recent decades along with human manipulation of natural systems. The aim of this study was to evaluate the efficiency of Sentinel 2A object-oriented image processing technique in identifying, detecting and zoning landslides in Shahroudchai catchment area of Khalkhal city. For this reason, landslides occurred in the region were first identified using object-oriented processing and then the study area was zoned in terms of landslide risk using the network analysis (ANP) method. Elevation, slope, flow direction, vegetation index and Sentinel 2A image were used to extract landslides; Field studies have shown that the existing landslides (81 landslides) in the region have been identified and extracted with 94% accuracy and 91% kappa coefficient by object-oriented method. This indicates the high ability of object-oriented processing to identify areas prone to landslides. Then, using network analysis method and using 11 parameters of elevation, slope, slope direction, land use, geology, slope length index (LS), topographic moisture index (TWI), canal power index (SPI), distance from fault Distance from the road and distance from the waterway, zoning of the study area in terms of landslide risk was done that according to the results, 39.13% of the lands in the study area have a very high potential for landslides. Also, a significant percentage of landslides are in the high-sensitivity class of 50 landslides (61.72). Therefore, it can be said that the accuracy of the model used in landslide susceptibility zoning is acceptable and good.

Keywords: Landslide, GLCM, Shahroud Chai, Object Oriented Processing, Network Analysis

*. Corresponding author: Siran Bahmani E-mail: Sbahmani910@gmail.com Tel: + 989361178171

How to cite this Article: Bahmani, S., Zanganeh Tabar, Z., Mohammadi, S., Mataee, S. (2021). Identification and zoning of landslide prone areas using object-oriented method and network analysis (ANP) (Case study: Shahroudchai catchment area of Khalkhal city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 10(3), 39-58.

doi: 10.22067/geoeh.2021.67924.1006



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant with open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 10, Issue 3 - Number 39, Fall 2021

<https://geoeh.um.ac.ir>

doi: <https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67924.1006>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره سی و نهم، پاییز ۱۴۰۰، صص ۵۸-۳۹

مقاله پژوهشی

شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از روش شی‌اگرا و تحلیل شبکه (ANP)

(مطالعه موردی: حوضه آبریز شاهرودچایی شهرستان خلخال)

سیران بهمنی^۱ - کارشناس ارشد هیدروژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

زهرا زنگنه تبار - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

سارا محمدی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

سارا مطاعی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱/۱۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۳/۲۰ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۳۰

چکیده

حرکت‌های دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش در زمره پرخطرترین و زیان‌بارترین مخاطرات محیطی است که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی میزان کارایی تکنیک پردازش شی‌اگرای تصاویر ماهواره‌ای سنتینل 2A در شناسایی، آشکارسازی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها در حوضه آبریز شاهرودچایی شهرستان خلخال صورت گرفت. به همین دلیل ابتدا با استفاده از پردازش شی‌اگرا زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه شناسایی گردیدند و سپس با استفاده از روش تحلیل شبکه (ANP) منطقه مورد مطالعه از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی گردید. جهت استخراج زمین‌لغزش‌ها از لایه ارتفاع، شیب، جهت جریان، شاخص پوشش گیاهی و تصویر سنتینل 2A استفاده گردید؛ با بررسی‌های میدانی صورت گرفته مشخص گردید

Email: Sbahmani910@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۳۶۱۱۷۸۱۷۱

نحوه ارجاع به این مقاله:

بهمنی، سیران، زنگنه تبار، زهرا، محمدی، سارا، مطاعی، سارا. (۱۴۰۰). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش با استفاده از روش شی‌اگرا و تحلیل شبکه (ANP) (مطالعه موردی: حوضه آبریز شاهرودچایی شهرستان خلخال). جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۰(۳)، صص

۵۸-۳۹.

<https://dx.doi.org/10.22067/geoeh.2021.67924.1006>

که زمین لغزش‌های موجود (۸۱ زمین لغزش) در منطقه با دقت ۹۴ درصد و ضریب کاپای ۹۱ درصد با روش شیء‌گرا شناسایی و استخراج گردیده‌اند که نشان‌دهنده توانایی بالای پردازش شیء‌گرا در شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش است. در ادامه با استفاده از روش تحلیل شبکه و به‌کارگیری ۱۱ پارامتر ارتفاع، شیب زمین، جهت شیب، کاربری زمین، زمین‌شناسی، شاخص طول شیب (LS)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)، شاخص قدرت آبراهه (SPI)، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه، پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر خطر وقوع زمین لغزش انجام گرفت که با توجه به نتایج به دست آمده ۳۹/۱۳ درصد از اراضی محدوده مورد مطالعه از پتانسیل بسیار بالایی برای وقوع زمین لغزش برخوردار می‌باشند. همچنین، درصد قابل توجهی از زمین لغزش‌ها در طبقه با حساسیت زیاد تعداد ۵۰ زمین لغزش (۶۱/۷۲) قرار دارند؛ لذا می‌توان گفت دقت مدل بکار رفته در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین لغزش قابل قبول و خوب است.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، GLCM، شاهرود چایی، پردازش شیء‌گرا، تحلیل شبکه.

۱- مقدمه

در حوضه‌های مناطق کوهستانی جهت اجرای طرح‌های مربوط به عمران آب و مدیریت محیط و توسعه شبکه‌های ارتباطی و توسعه مراکز و تأسیسات صنعتی و سکونتگاهی آنچه قبل از انجام هر پروژه‌ای ضرورت دارد، شناسایی خطرات مربوط به حرکات مواد در سطح زمین است. از جمله وقوع پدیده‌های ژئومورفولوژیک همچون زمین لغزش، فراهم آوردن نقشه خطر وقوع و پهنه‌بندی آن را می‌طلبند تا مشکلاتی نظیر آسیب‌های وارده بر زیرساخت‌های اقتصادی، صنعتی و کشاورزی تکرار نشود (روستایی و علیزاده، ۱۳۹۱). حرکت‌های دامنه‌ای و به‌ویژه زمین لغزش در زمره پرخطرترین و زیان‌بارترین مخاطرات محیطی است که همگام با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (شادفر، ۱۳۸۴). مخاطرات ناشی از انواع فرم‌های زمین لغزش همه‌ساله منجر به خسارات جانی و مالی در سراسر جهان می‌شود (عابدینی و طولابی^۱، ۲۰۱۸).

زمین لغزش یکی از فرآیندهای ژئومورفیک تأثیرگذار بر تکامل چشم‌انداز مناطق کوهستانی است (روئرینگ و همکاران^۲، ۲۰۰۵). وقوع زمین لغزش اثرات زیادی را در مقیاس محلی و جهانی در اقتصاد داشته و همه‌ساله هزاران نفر در سرتاسر جهان زندگی‌شان را به خاطر زمین لغزش از دست می‌دهند (یالچین^۳، ۲۰۱۱). زمین لغزش‌ها زندگی انسان‌ها را با تخریب محیط، منابع و دارایی آن‌ها با خطر جدی روبه‌رو می‌کنند (سان وی و همکاران^۴، ۲۰۱۲). در مقایسه با انواع مخاطرات طبیعی همچون آتش‌فشان و سیل، زمین لغزش آسیب‌های قابل توجهی را به جهت مالی و

1 Abedini & Tulabi

2 Roering et al

3 Yalcin

4 Sanwei et al

جانی منجر می‌شود (گوزتی^۱، ۲۰۰۵)؛ به طوری که زمین‌لغزش ۹٪ از کل بلایای طبیعی را در دهه گذشته شامل شده و این آهنگ رو به رشد در دهه‌های آتی ادامه دارد (ییلماز^۲، ۲۰۰۹). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از لغزش‌ها داراست؛ بنابراین به همان اندازه که از موهبت کوهستانی بودن و تنوع آب و هوایی بهره‌مند هستیم در معرض خطرات ناشی از آن نیز قرار داریم (نصیری، ۱۳۸۳). زمین‌لغزش در ایران نیز به‌عنوان یک بلای طبیعی، سالیانه خسارات فراوانی به کشور وارد می‌سازد. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت‌های مالی از طریق لغزش زمین‌ها بر کشور تحمیل می‌شود (نادری به نقل از روستایی، ۱۳۹۸). در ایران به دلیل تعدد توپوگرافی کوهستانی، فعالیت‌های دوره‌ای زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، تنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، افزایش جمعیت و فشار بی‌رویه بر منابع طبیعی و تغییرات کاربری در دهه‌های اخیر، شرایطی طبیعی برای بروز طیف گسترده‌ای از خطرات زمین‌لغزش‌ها فراهم می‌باشد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱). شهرستان خلخال نیز به لحاظ وضعیت منطقه مانند توپوگرافی، شیب زیاد، مواد سطحی سست بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی از پتانسیل بالایی برای وقوع لغزش برخوردار است؛ بنابراین مطالعه عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی جهت ارائه راه‌حل جهت کنترل لغزش ضروری به نظر می‌رسد. از جمله مطالعاتی که در رابطه با شناسایی و استخراج زمین‌لغزش‌ها با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور به‌ویژه پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای و همچنین پهنه‌بندی زمین‌لغزش صورت گرفته است، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

مارتا و همکاران^۳ (۲۰۱۰) اقدام به آشکارسازی و شناسایی زمین‌لغزش‌ها با استفاده از روش شیء‌گرا نمودند. به همین منظور منطقه‌ای با مساحت ۸۱ کیلومتر مربع در بخشی از حوضه آبریز رودخانه منداکینی^۴ هیمالیا در پیرامون شهر اوخیمات^۵ ایالت اوتاراخند^۶ هند برای این مطالعه انتخاب شد. نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از این روش سرعت بسیار بالایی در شناسایی زمین‌لغزش‌ها دارد و می‌تواند تجزیه و تحلیل وقوع مخاطرات و نحوه مواجهه با آن و مدیریت بلایای طبیعی بعد از وقوع یک رخداد طبیعی همانند زلزله و یا یک بارندگی شدید را به خوبی انجام دهد و اثرات مخرب آن را تقلیل دهد.

هوبلینگ و همکاران^۷ (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات زمین‌لغزش توسط روش شیء‌گرا در تایلند پرداخته‌اند. اساس کار این پژوهش ایجاد دستورات طبقه‌بندی مناسب جهت استخراج زمین‌لغزش با استفاده از ویژگی‌های طیفی

1 Guzzetti

2 Yilmaz

3 Martha & et al

4 Mandakini river

5 Okhimath

6 Uttarakhand

7 Hobling & et al

تصاویر و تفاوت ارزش پیکسلی جهت تفکیک آن‌ها می‌باشد. در این مطالعه یک روش مبتنی بر شیء‌گرا برای طبقه‌بندی جریان آوار و نیز تغییر زمین‌لغزش در شمال تایوان پیشنهاد گردید. زمین‌لغزش و مناطق آوار / حمل‌ونقل رسوبات ایجاد شده توسط دو توفان بزرگ، آئر و مستا^۱، که عمدتاً بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی متفاوت بودند، شناسایی گردید. این تغییرات با مقایسه مقادیر ویژگی اشیا تصویری ت تصاویر ماهواره اسپات سری پنج در قبل و بعد از رویداد مشخص شد.

کامرت^۲ و همکاران (۲۰۱۹)، در مطالعه خود، زمین‌لغزش‌های کم‌عمق در منطقه دریای سیاه ترکیه را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل شیء‌گرای تصاویر بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه از داده‌ها و عکس‌های هوایی تهیه شده با استفاده از هواپیمای بدون سرنشین (UAV) استفاده کرده و زمین‌لغزش‌ها را با استفاده از رویکرد طبقه‌بندی مبتنی بر شیء استخراج نمودند. در این مطالعه، یک مدل نیمه اتوماتیک با استفاده از تجزیه‌وتحلیل تصویر مبتنی بر شیء برای نقشه‌برداری سریع زمین‌لغزش‌های کم‌عمق از داده‌های به دست آمده از پهپادها پس از حوادث عمده رانش زمین در منطقه دریای سیاه ترکیه ایجاد گردید. داده‌های لغزش به دست آمده با مدل‌های توسعه یافته با داده‌های میدانی لغزش مقایسه گردید. روند مقایسه نشان داد که زمین‌لغزش‌های استخراج شده با توجه به تعداد و پراکنندگی مکانی زمین‌لغزش‌ها، دقت بیش از ۸۶٪ دارند.

عابدی قشلاقی و فیضی زاده^۳ (۲۰۱۷) با استفاده از روش ANP و منطق فازی، خطر زمین‌لغزش را در حوضه آذرشهر مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری، چگالی گیاه، بارش، فاصله از گسل، فاصله از جاده و فاصله از رودخانه به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شدند و ۲۳،۲۲ درصد از منطقه در طبقه پرخطر قرار گرفت.

فیضی زاده و بلاشک^۴ (۲۰۱۴)، به بررسی پدیده زمین‌لغزش با استفاده از روش نیمه اتوماتیک تصویر پایه در حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداختند. در این تحقیق از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالای اسپات و IRS و ترکیب آن‌ها با مدل ارتفاع رقومی زمین و لایه‌های توپوگرافی شیب، جهت شیب و انحناى دامنه استفاده نمودند. دقت ارزیابی نتایج ۹۳،۰۷ درصد به دست آمد که بیانگر قابل‌اعتماد بودن نقشه نهایی زمین‌لغزش‌های به دست آمده هست؛ که این نشانگر قدرت بالای روش‌های شیء‌گرا و تصاویر پایه و کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در ایجاد و پهنه‌بندی نقشه‌های زمین‌لغزش می‌باشد.

عابدینی و پیروزی (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق روش‌های Hot Spot, ANP و WIC در شهرستان خلخال پرداخته‌اند. در این پژوهش عوامل مؤثر لغزش در منطقه شناسایی و لایه‌های

1 Aere & Matsa

2 Comert

3 Abedi Gheshlaghi & Feizizadeh

4 Feizizadeh & Blaschke

اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شده و در مرحله بعد وزن‌دهی عوامل مورد بررسی، با روش ANP و در محیط نرم‌افزار Super Decision انجام شده و تحلیل با روش تحلیل لکه‌های داغ به‌عنوان روش آمار فضایی و روش WIC به‌عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره صورت گرفته. نتایج نشان داد که عوامل شیب، کاربری اراضی، بارش و لیتولوژی به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۶۶۳، ۰/۶۴۶، ۰/۶۳۹، ۰/۳۷۹ بیشترین تأثیر را در ایجاد زمین‌لغزش شهرستان خلخال دارند.

معزز و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند. لایه اطلاعاتی مربوط به ۸ فاکتور مؤثر در وقوع زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌لغزش، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و بارش در سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه شده و در نرم‌افزار Super Decision وزن‌دهی صورت گرفته. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بیش از ۴۰ درصد از مساحت منطقه پتانسیل بالایی از نظر وقوع زمین‌لغزش را داراست که منطبق بر کاربری مرتع، حاشیه آبراهه‌ها و مناطق دارای سازند مارن است. ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی تهیه شده از مدل ANP با نقاط لغزشی رخ داده در منطقه نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد لغزش‌ها در مناطق با خطر زیاد و خیلی زیاد اتفاق افتاده که نشان دهنده دقت خوب این مدل است.

عابدینی و همکاران (۱۳۹۷) در مقاله‌ای به شناسایی و طبقه‌بندی انواع زمین‌لغزش با استفاده از ویژگی‌های طیفی و مکانی با رویکرد شیء‌گرا در حوضه نصیرآباد تا سد ستارخان اهر پرداخته‌اند. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل تصاویر رنگی کاذب مستخرج از داده‌های ماهواره Resourcesat-1 با قدرت تفکیک مکانی ۵٫۸ متر و مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۱۰ متری حاصل از تصاویر ۲٫۵ متری ماهواره Cartosat استفاده گردیده است. ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌ها برای اجرای مدل و ۳۰ درصد دیگر برای اعتبارسنجی به کاررفته است. نتایج نشان می‌دهد ۳۴/۰۲ درصد از اراضی محدوده مورد مطالعه به‌عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد برای وقوع زمین‌لغزش در نظر گرفته شده‌اند و درصد قابل توجهی از لغزش‌ها در طبقه با حساسیت زیاد و خیلی زیاد ۵۷/۰۵ قرار دارند؛ و در مجموع ۳ لغزش با دقت شناسایی ۷۱٫۱۱ درصد و دقت کلاس‌بندی ۹۱٫۴ درصد تشخیص داده شده است و نشان دهنده این است که دقت مدل به کاررفته در پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش قابل قبول و خوب است. مددی و همکاران (۱۳۹۸)، پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز کندیرق‌چای را با استفاده از مدل تحلیل شبکه ANP، مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند. در همین راستا، ۱۰ عامل مؤثر در رخ داد زمین‌لغزش‌های حوضه آبریز کندیرق‌چای شامل لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه، شاخص قدرت آبراهه (SPI) و شاخص حمل رسوب، شناسایی و مورد استفاده قرار گرفتند. نقشه نهایی نشان داد که پهنه‌های با خطر متوسط و خطر خیلی زیاد بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. تطبیق

سطوح لغزش یافته و پهنه‌های مواجه با خطر نشان می‌دهد که مناطقی که در رده خطر خیلی زیاد و متوسط قرار دارند دارای بیشترین مساحت از سطوح لغزشی هستند. به طوری که پهنه با خطر خیلی زیاد ۳۵ درصد (۷۹ کیلومتر مربع) و پهنه با خطر زیاد ۳۲/۶ درصد (۷۲ کیلومتر مربع) از زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده‌اند؛ به عبارت دیگر بیش از ۷۷ درصد زمین لغزش‌ها با پهنه‌های خطر خیلی زیاد و متوسط مطابقت دارند. همچنین عوامل سنگ‌شناسی، شیب و فاصله از آبراهه بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند.

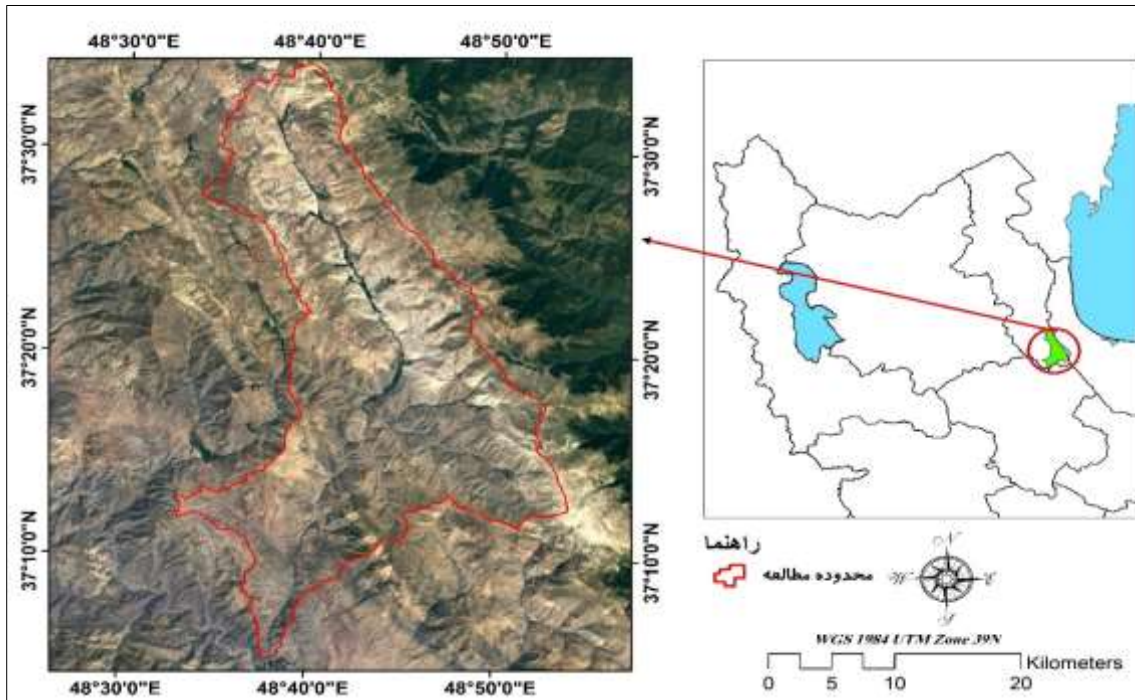
در تحقیقات ارائه شده، هر محقق یک جنبه از مخاطرات را مورد تأکید قرار داده و با یک روش خاص این موضوع را بررسی نموده است. بررسی این تحقیقات نشان می‌دهد که در هیچ‌کدام از مطالعات تلفیقی از روش پردازش شیء‌گرا و تحلیل شبکه (ANP) بکاربرده نشده و این می‌تواند از نقاط قوت این تحقیق نیز باشد. مخاطره زمین لغزش همواره موجب ایجاد خسارت‌هایی در سطح کشور بخصوص در نواحی کوهستانی شده و از طرفی بسیاری از دامنه‌ها در نواحی کوهستانی در شرایط ناپایداری قرار دارند و رخداد پدیده‌هایی همچون بارش و زلزله، دامنه‌های ناپایدار را مجبور به سقوط می‌نمایند به طوری که این حرکات دامنه‌ای در برخی مناطق موجب ایجاد تلفات و خسارات گسترده‌ای می‌گردد. از آنجایی که شهرستان خلخال نیز از این قضیه مستثنی نبوده و با توجه به اینکه حوضه آبریز شاهرود چایی واقع در شهرستان خلخال از جمله مناطقی است که به دلیل بارندگی نسبتاً فراوان و وجود سازندهای زمین‌شناسی مساعد، رویداد زمین لغزش‌های متعددی در آن گزارش شده است و مطالعه در خصوص این مخاطره در حوضه مورد نظر صورت نگرفته است؛ بنابراین تحقیق حاضر با هدف شناسایی و آشکارسازی زمین لغزش‌ها و همچنین پهنه‌بندی منطقه از نظر وقوع زمین لغزش با استفاده از تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا و روش پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای صورت می‌گیرد. هدف کلی تحقیق حاضر، تهیه نقشه وضعیت موجود زمین لغزش‌ها در کوتاه‌ترین زمان ممکن جهت پاسخگویی برای طرح‌های مدیریت بحران حاصل از مخاطرات محیطی با استفاده از جدیدترین تصاویر ماهواره‌ای و آماده‌سازی پایگاه اطلاعاتی زمین لغزش می‌باشد.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان خلخال در جنوب استان اردبیل واقع شده است و مرکز آن شهر خلخال است. این شهرستان یک منطقه کوهستانی است که ارتفاع آن از شرق به غرب و از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و از لحاظ آب‌وهوا دارای تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد است. منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز شاهرود چایی می‌باشد که در بخش شاهرود در جنوب شهرستان خلخال واقع گردیده است. رودخانه شاهرود که در بخش شاهرود و به سمت جنوب در جریان است و پس از طی مسیر پر پیچ‌وخم خود به قزل‌اوزن می‌پیوندد. حوضه آبریز شاهرود

چای با مساحت ۶۸۸ کیلومتر مربع، بین $37^{\circ}50'00''$ تا $37^{\circ}54'20''$ طول و شرقی $48^{\circ}30'00''$ تا $48^{\circ}34'18''$ عرض شمالی قرار دارد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

۲-۲- مشخصات ماهواره‌ها، سنجنده‌ها و تصاویر مورد استفاده

ماهواره سنتینل 2A به‌عنوان سری دوم ماهواره‌های سنتینل آژانس فضایی اروپا می‌باشد که در روز ۲۳ ژوئیه سال ۲۰۱۵ از پایگاه آژانس فضایی اروپا در گویان فرانسه توسط موشک وگا پرتاب شد. مدار این ماهواره خورشید آهنگ و قطبی و در ارتفاع ۷۸۶ کیلومتر می‌باشد. منطقه تحت پوشش این ماهواره از عرض ۸۴ درجه شمالی تا ۵۶ درجه جنوبی می‌باشد. سنتینل 2A یک سنجنده چند طیفی با ۱۳ باند (بین طول‌موج‌های ۴۴۳ تا ۲۱۹۰ نانومتر) است. ۴ باند مرئی و مادون قرمز نزدیک با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، ۶ باند مادون قرمز کوتاه با قدرت تفکیک مکانی ۲۰ متر و ۳ باند تصحیح اتمسفری با قدرت تفکیک ۶ متر دارد. پهنای تصویربرداری این ماهواره ۲۹۰ کیلومتر می‌باشد (فایل متادیتای تصویر سنتینل 2A). در این پژوهش داده‌های ماهواره‌های سنتینل 2A برای شناسایی زمین‌لغزش‌ها و همچنین برای برآورد مشخصات طیفی زمین‌لغزش‌ها مانند NDVI و روشیایی مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۳- پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

روش طبقه‌بندی شیء‌گرا به‌عنوان روشی جامع‌تر در تعریف پدیده‌ها، از هر دو دسته اطلاعات مکانی پیکسل پایه و شیء پایه^۱ در کنار داده‌های طیفی در فرایند طبقه‌بندی استفاده می‌نماید (فیضی‌زاده، ۱۳۹۶). در این روش اطلاعات بسیار زیادی می‌تواند بر اساس اشیاء تصویری استخراج شوند، علاوه بر تن، شکل، بافت، زمینه، از سایر لایه‌های اطلاعاتی اشیاء استفاده می‌شود. استفاده از این اطلاعات منجر به تمایز معنایی بهتر و صحیح‌تر و موجب ایجاد نتایج خاصی می‌شود (راهنمای اکونیشن،^۲ ۲۰۱۲). همچنین روش طبقه‌بندی شیء‌گرا به دلیل استفاده از توابع عضویت در ارزیابی پدیده‌ها در کلاس‌ها، جزء روش‌های طبقه‌بندی نرم به شمار می‌رود. مزیتی که طبقه‌بندی شیء‌گرا نسبت به طبقه‌بندی پیکسل مبنا دارد این است که اشیاء تصویر حاوی اطلاعات بیشتری نسبت به تک‌تک پیکسل‌هاست. چراکه در طبقه‌بندی شیء پایه، علاوه بر اطلاعات طیفی از اطلاعات بافت و محتوا نیز برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود (جیمز،^۳ ۲۰۰۶).

۲-۳-۱- سگمنت سازی

یک گام مهم قبل از توصیف ویژگی‌های تشخیصی در عوارض مورد نظر، مانند زمین‌لغزش، ایجاد اشیاء-بخش‌هایی است که به‌تنهایی یا به‌صورت گروهی، مرز عوارض داده شده را مشخص کند. این کار با استفاده از تقسیم‌بندی تصویر صورت می‌گیرد که شامل روند تقسیم تصویر به اشیاء یا نواحی بر اساس همگنی مقادیر پیکسل است. سگمنت به معنی گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که شباهت (نظیر ارزش عددی و بافت) مهم‌ترین معیار مشترک آن‌هاست (فیضی‌زاده و میررحیمی، ۲۰۰۷). در پردازش شیء‌گرا از تصاویر، اشیاء به‌وسیله گروهی از پیکسل‌ها مطابق با معیار همگنی و ناهمگنی شکل می‌گیرند که مهم‌ترین فرایند در پردازش شیء‌گرای تصاویر محسوب می‌شود. در فرآیند سگمنت‌سازی مفسر می‌تواند عوامل تفسیر بصری تصاویر ماهواره-ای شامل، شکل، رنگ و الگو را دخالت دهد. در پژوهش حاضر سگمنت‌سازی با مقیاس ۲۵ و ضرایب شکل و فشردگی به ترتیب ۰,۴ و ۰,۶ انجام گرفت؛ که در شکل (۲) نتیجه حاصل نمایش داده شده است.

1 Object based

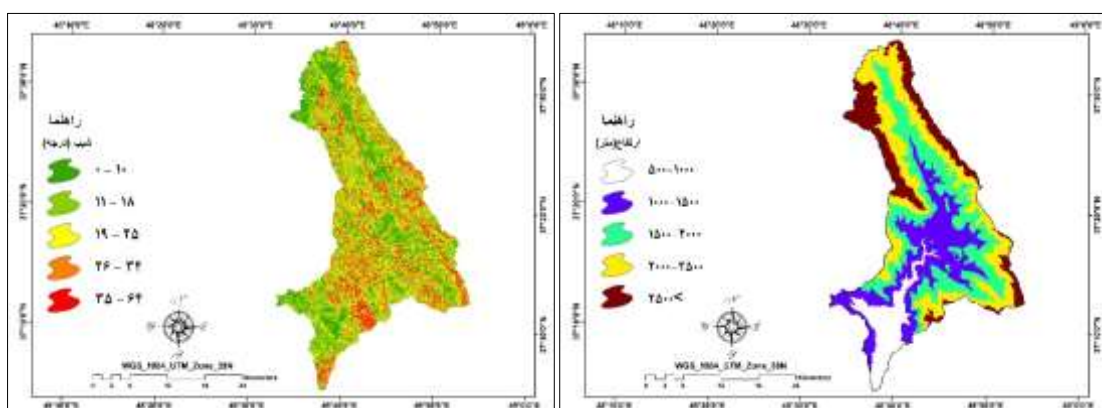
2 Recognitions user guide

3 James



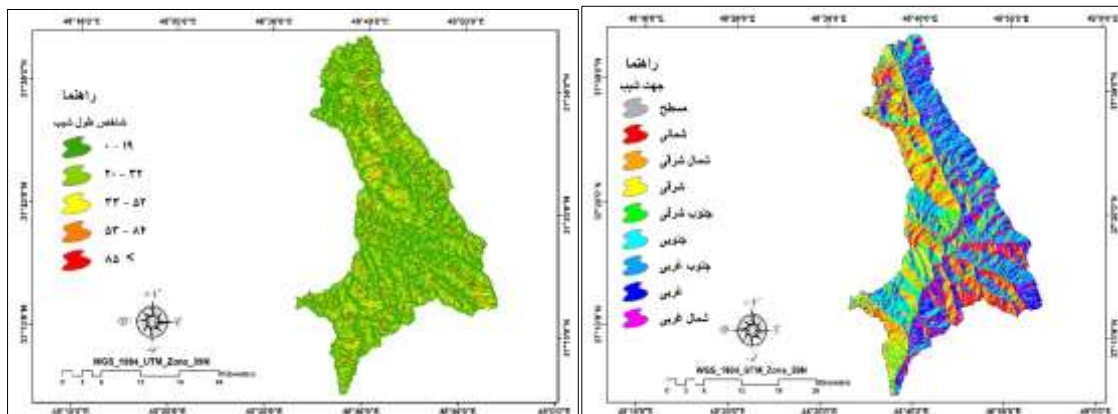
شکل ۲- ایجاد واحدهای پردازش (قطعه‌بندی چند تفکیکی)، مأخذ: نگارندگان

امکان دسترسی به نقشه‌های ریسک و خطر زمین‌لغزش برای شناسایی مناطق بالقوه خسارات زمین‌لغزش و به حداقل رساندن تأثیر اجتماعی آن ضروری است. یکی از اولین گام‌ها برای این منظور، تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش است، که حساسیت نسبی زمین برای وقوع زمین‌لغزش را نشان می‌دهد و هنگامی که با اطلاعات زمانی ترکیب شود، می‌تواند به نقشه خطر زمین‌لغزش تبدیل شود، که می‌تواند به همراه عناصر اطلاعات خطر برای برآورد خسارات بالقوه زمین‌لغزش در آینده مورد استفاده قرار گیرد، و به مدیریت بلندمدت احتمال وقوع زمین‌لغزش در مناطق کوهستانی کمک کند. به همین منظور در این تحقیق، در کنار پردازش شیء‌گرایی تصاویر ماهواره‌ای در راستای استخراج زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه، از روش‌های تحلیل شبکه (ANP) نیز برای پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل وقوع خطر زمین‌لغزش استفاده گردید. جهت انجام این مدل ۱۱ فاکتور مهم از جمله؛ ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، کاربری اراضی، لیتولوژی، شاخص طول شیب (LS)، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) و شاخص قدرت آبراه‌های (SPI) بکار برده شد. لازم به ذکر است که لایه‌های طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافیک و شاخص قدرت آبراه‌های در محیط متن‌باز SAGA GIS به صورت خودکار از روی لایه رقومی ارتفاع به دست آمده است. شکل‌های ۳ تا ۱۴ این فاکتورها را نشان می‌دهد.



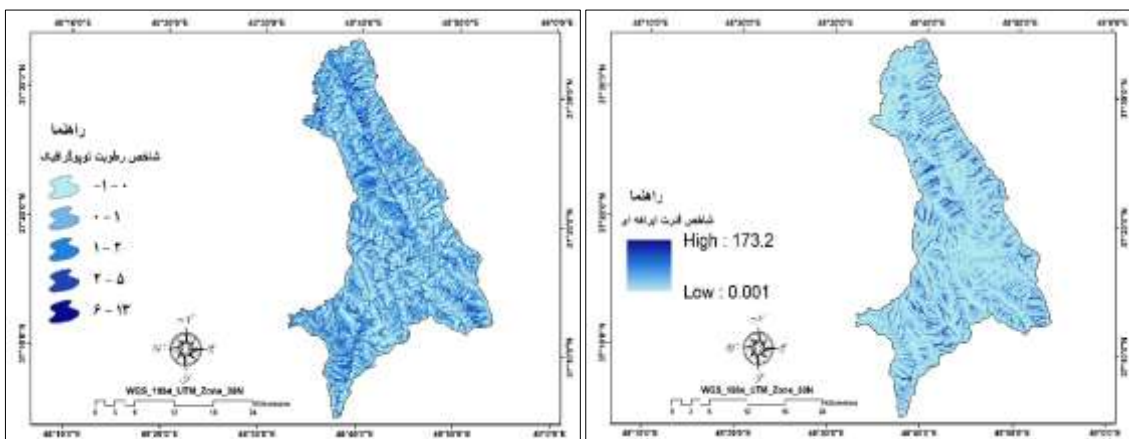
۴- طبقات شیب منطقه

شکل ۳- طبقات ارتفاعی منطقه شکل



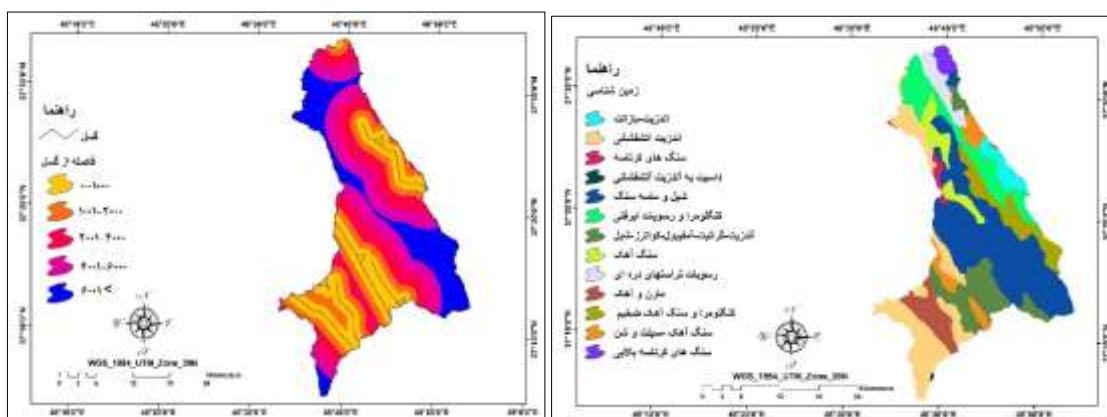
شکل ۶- شاخص طول شیب

شکل ۵- جهات شیب در منطقه شکل



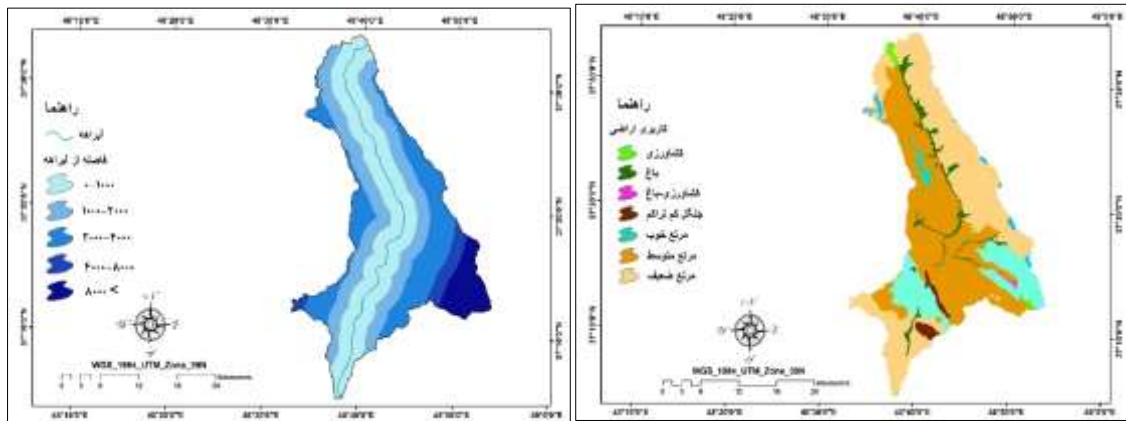
شکل ۸- شاخص رطوبت توپوگرافیک

شکل ۷- شاخص قدرت آبراه‌های



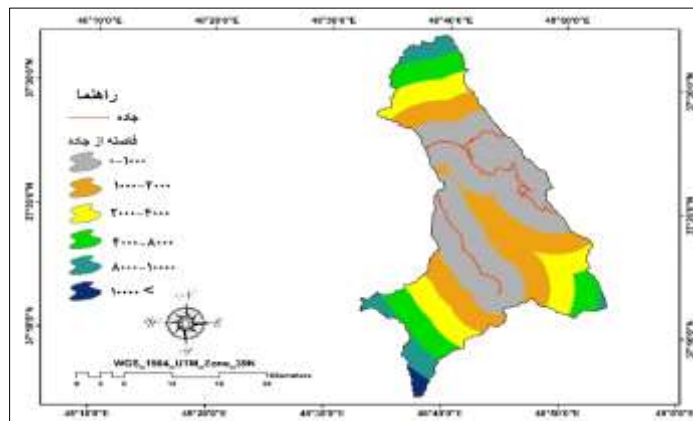
شکل ۱۰- فاصله از گسل

شکل ۹- زمین‌شناسی منطقه مطالعه



شکل ۱۲- فاصله از آبراهه‌ها

شکل ۱۱- کاربری اراضی منطقه شکل



شکل ۱۳- فاصله از جاده‌ها

۲-۴- مدل تحلیل شبکه (ANP)

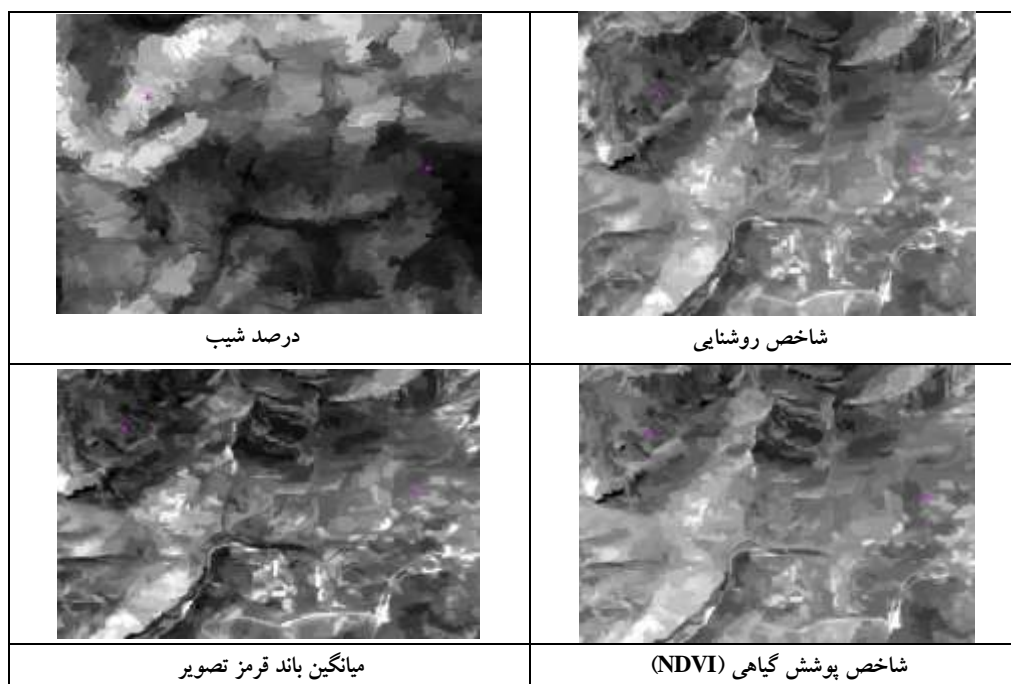
فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از جدیدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که به وسیله پرسور ساعتی ارائه شده است. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و شبکه را جایگزین سلسله‌مراتب کرده است (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۳۱). روش ANP دارای سه قسمت است: بخش اول، سلسله‌مراتب کنترل برای شبکه معیارها و زیرمعیارها، بخش دوم شبکه‌ای از روابط میان عناصر و خوشه‌ها و بخش سوم بازخورد بین خوشه‌های مختلف و عناصر داخل یک خوشه است (ایحسان و متین، ۲۰۰۷).

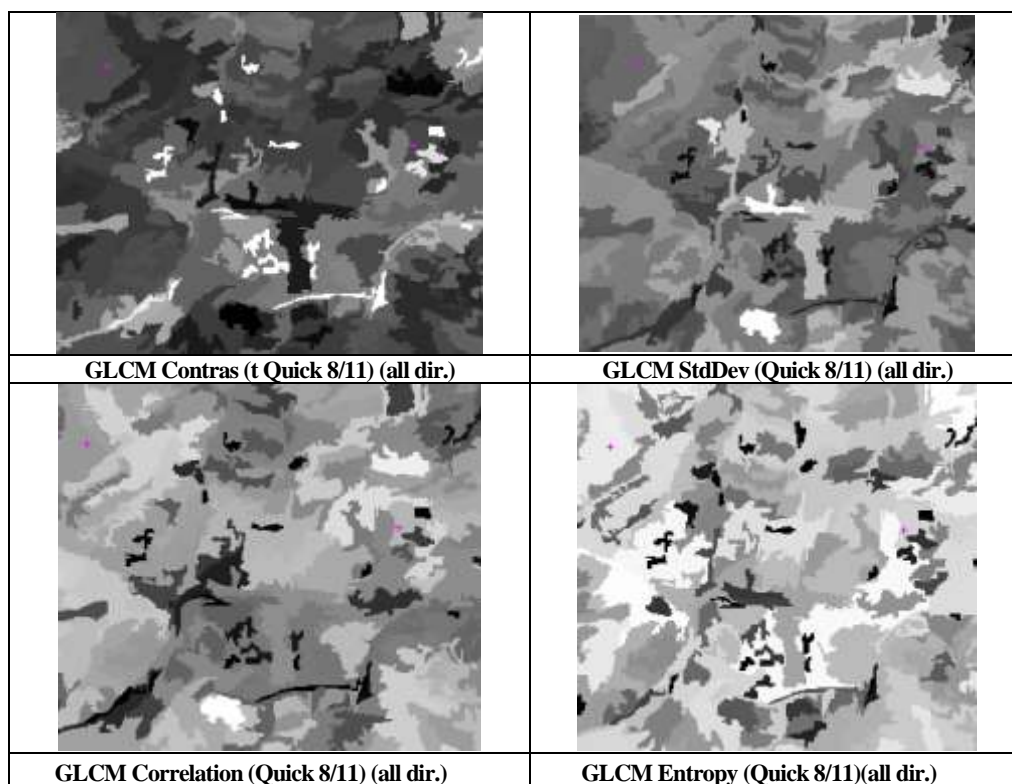


شکل ۱۴- فرآیند تحلیل شبکه

۳- نتایج و بحث

در پژوهش حاضر از توابع مختلف و قابلیت‌های متنوع تکنیک‌های OBIA جهت استخراج مناطق مستعد زمین لغزش با دقت بالا استفاده شده است؛ از جمله این توابع می‌توان به اطلاعاتی بافتی (GLCM)، میانگین باندهای تصویر، شاخص روشنایی، شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شیب، ارتفاع و سایر اطلاعات اشاره کرد. نتایج حاصل از اعمال برخی از این توابع به صورت موردی در شکل شماره ۳ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش از نرم‌افزار eCognition استفاده شده است.





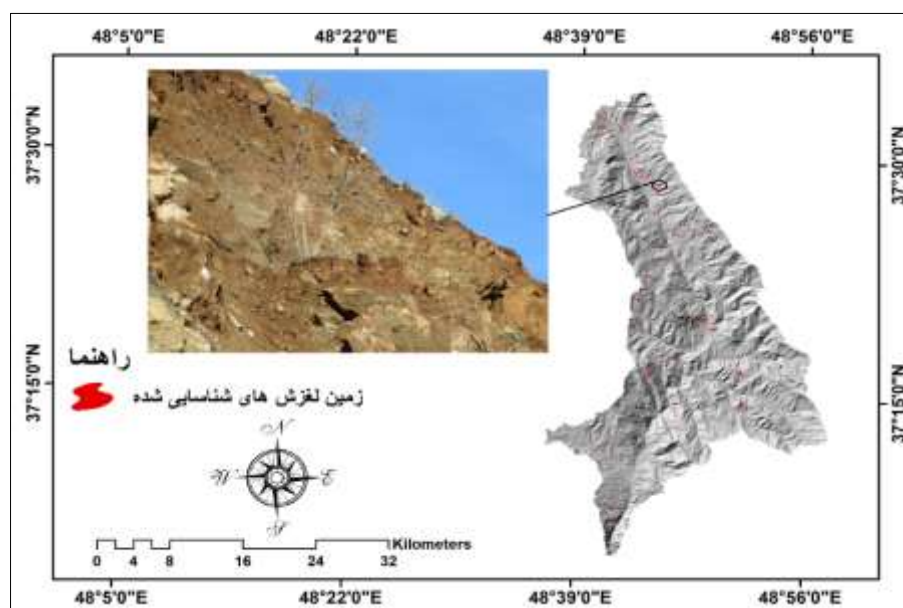
شکل ۱۵- نتایج برخی توابع اعمال‌شده بر روی تصویر

جهت مشخص نمودن زمین‌لغزش‌ها از پارامترهای مانند: NDVI، بافت (GLCM)، روشنایی (Brightness)، شیب، جهت جریان، ضریب انحنای زمین و شبکه جریان به‌طور خودکار با استفاده از الگوریتم‌های موجود در نرم‌افزار و پردازش تصویر استفاده شد. با توجه به اینکه مناطق وقوع زمین‌لغزش با تن روشن‌تری و با پوشش گیاهی کمتر در روی تصاویر ماهواره‌ای ظاهر می‌شوند، شاخص‌های روشنایی و پوشش گیاهی (NDVI) جزء معیارهای مناسب جهت شناسایی زمین‌لغزش‌ها می‌تواند مطرح باشند و از طرفی یکی دیگر از پارامترهای مهم در تشخیص و شناسایی زمین‌لغزش‌ها، استفاده از ویژگی‌های بافتی می‌باشد که این قابلیت مهم نیز در نرم‌افزار eCognition تحت الگوریتم با نام GLCM مطرح است. مشخصات بافت جهت بررسی بافت اشیاء تصویری استفاده می‌شوند و مشخصاتی را شامل می‌شوند که بر اساس تجزیه تحلیل زیر اشیاء (اشیاء فرعی) برای بررسی داده‌هایی با دقت بالا برای بافت مفید است. GLCM (ماتریس هم‌رخداد سطوح خاکستری) عبارت است از چگونگی ترکیب‌های مختلف از سطوح خاکستری پیکسل که در یک صحنه رخ می‌دهد. ماتریس‌های هم‌رخدادی مختلفی برای هر ارتباط فضایی وجود دارد. در پژوهش حاضر جهت شناسایی و استخراج زمین‌لغزش‌ها در منطقه مورد مطالعه،

شاخص‌ها و معیارهای مختلفی استفاده گردید. این معیارها و الگوریتم‌های مناسب جهت استخراج زمین‌لغزش‌ها، مطابق جدول ۱ به دست آمد.

جدول ۱- معیارها و الگوریتم‌های مناسب جهت استخراج زمین‌لغزش‌ها

شاخص	آستانه
پوشش گیاهی (NDVI)	$< ۰,۰$
روشنایی (Brightness)	> ۳۴۲
GLCM Correlation (Quick 8/11) (all dir.)	$> ۰,۵۷$
GLCM Contrasts (Quick 8/11) (all dir.)	> ۳۶۱
GLCM Entropy (Quick 8/11) (all dir.)	> ۸
GLCM StdDev (Quick 8/11) (all dir.)	$> ۴,۷۵$
ارتفاع	> ۱۳۷۰ و < ۲۶۰۰
درصد شیب	$> ۷\%$ و $< ۲۸\%$



شکل ۱۶- زمین‌لغزش‌های شناسایی شده با روش شیء‌گرا در محدوده‌ی مورد مطالعه

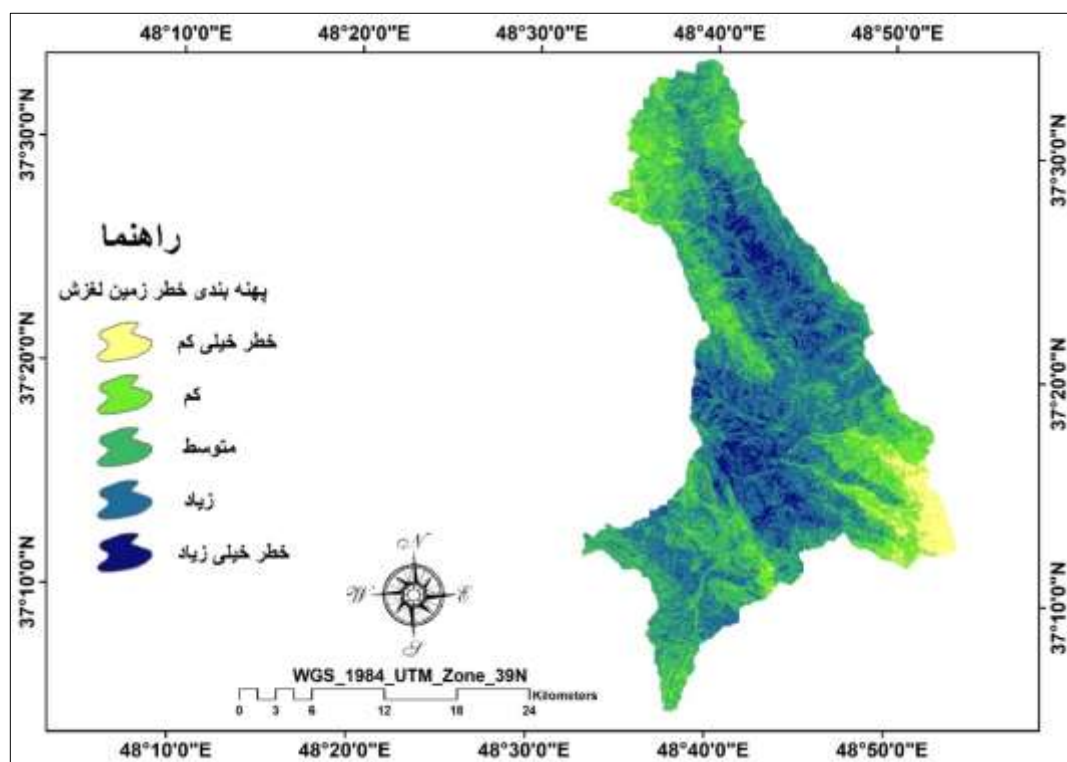
با پردازش شیء‌گرای تصویر ماهواره‌ای سنتینل 2A تعداد ۸۱ زمین‌لغزش در منطقه شناسایی گردید که نسبت به زمین‌لغزش‌های ثبت شده (۷۳ زمین‌لغزش) در این منطقه، تعداد ۸ زمین‌لغزش بیشتر استخراج گردیده است. علاوه بر این از مجموع ۸۱ زمین‌لغزش، بیش از ۶۸ زمین‌لغزش (معادل ۸۳ درصد) شناسایی شده با روش شیء‌گرا برابر با ۹۳

درصد زمین‌لغزش‌های ثبت‌شده مربوط به منطقه مطابقت کامل دارند که نشان‌دهنده دقت بالای پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در ادامه برای اجرای مدل ANP ابتدا بر اساس ماهیت داده‌ها و ارتباطات موجود بین آن‌ها، پارامترها در چهار خوشه اصلی (پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی (۲) پارامترهای زمین‌شناسی (۳) پارامترهای انسانی و پوشش زمین و در نهایت ۴ پارامترهای ژئومورفولوژیکی دسته‌بندی شدند. در ادامه با مشخص شدن خوشه‌ها، ساختار شبکه‌ای بین خوشه‌ها و پارامترهای در نظر گرفته‌شده تشکیل شد؛ و در نهایت پس از محاسبه و تشکیل سوپرماتریس‌ها، وزن نهایی هر یک از پارامترها به دست می‌آید. بر اساس جدول شماره (۲)، لایه فاصله از گسل با ۰/۱۸۴ و شیب با ۰/۱۵۰۵ بیشترین ضریب تأثیر را در پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش دارند. در مقابل لایه‌های رقومی ارتفاع با ۰/۳۲۱ و فاصله از جاده با ۰/۲۱۴۴ کمترین ضریب تأثیر را دارا هستند.

جدول ۲- جدول پارامترها وزن هر یک از کلاس‌ها بر اساس تحلیل شبکه

Alternatives	Raw	Normal	Ideal	Ranking
Aspect	۰/۰۲۷	۰/۰۴۷	۰/۲۷	۹
distance to river	۰/۰۲۳	۰/۰۷۳۷	۰/۲۶۴	۷
distance to road	۰/۰۱۱۸	۰/۰۲۱۴۴	۰/۱۳۲	۱۱
distance to fault	۰/۰۷۴۱۲	۰/۱۸۴۲	۱	۱
land use	۰/۰۴۱۸	۰/۱۰۳۵	۰/۵۰۵۸	۴
Lithology	۰/۰۶۲۵	۰/۱۳۸	۰/۸۷	۳
Slope	۰/۰۶۰۲۶	۰/۱۵۰۵	۰/۷۳۴۹	۲
DEM	۰/۰۲۱۱	۰/۰۳۲۱	۰/۲۵۳۶	۱۰
SPI	۰/۰۴۷۵	۰/۰۹۵۷	۰/۵۷۱	۵
LS	۰/۰۴۵۳	۰/۰۸۸۱	۰/۵۳۲۶	۶
TWI	۰/۰۲۳۵۲	۰/۰۶۵۷	۰/۲۶۸۷	۸

سپس با استفاده از ضرایب به‌دست‌آمده، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش بر اساس مدل تحلیل شبکه‌ای گردید. بدین منظور ابتدا در محیط Arc Gis لایه‌های اطلاعاتی که از قبل تهیه و رقومی شده بودند به فرمت رستری تبدیل گردیده و سپس طبقه‌بندی مجدد شدند و نهایتاً ضرایب به‌دست‌آمده از مدل تحلیل شبکه‌ای ANP با استفاده از تابع Weighted Overlay اعمال گشته و نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دست آمد. نقشه به‌دست‌آمده در پنج کلاس خطر خیلی کم، خطر کم، متوسط، زیاد و خطر خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. شکل ۱۷ نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۷- نقشه نهایی پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش به روش تحلیل شبکه (ANP)

جدول ۳- درصد مساحت پهنه‌های لغزشی در حوضه آذرشهر چای با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای

کلاس زمین‌لغزش	مساحت به Km ²	مساحت به درصد
خطر خیلی کم	۲۴/۸۵۴	۳/۶۳
کم	۸۲/۸۹۶	۱۲/۱۳
متوسط	۲۶۲/۸۱۵	۳۸/۴۶
زیاد	۲۶۷/۳۷۹	۳۹/۱۳
خطر خیلی زیاد	۴۵/۳۲۶	۳۹/۱۳
مجموع	۶۸۳/۲۷۳	۱۰۰

۳-۱- ارزیابی دقت

دقت طبقه‌بندی بیانگر سطح اعتماد به نقشه استخراج شده بوده، در نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر سنجنش‌ازدور بایستی حداقل ۸۵ درصد باشد. در این مرحله از پژوهش، برای کسب اطمینان از صحت طبقه‌بندی انجام شده اقدام به ارزیابی دقت طبقه‌بندی کرده و در طی عملیات میدانی به‌طور تصادفی نقاط کنترل با GPS از سطح منطقه برداشت شده تعداد ۴۹ نقطه مرجع (برداشت زمینی) و پارامترهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی

ضرایب آماری کاپا و دقت کلی طبقه‌بندی استخراج شد. در این پژوهش مقادیر ضریب کاپا و دقت کلی به ترتیب ۰,۹۱۳ و ۰,۹۴۶ به دست آمد که نشان‌دهنده دقت بالای تکنیک‌های شیء‌گرا در شناسایی و استخراج زمین‌لغزش‌ها می‌باشند. جدول (۴) مشخصات زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده و مطابقت آن با نقشه نهایی پهنه‌بندی زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مشخصات زمین‌لغزش‌های شناسایی‌شده و تطابق آن با نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه

پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش	تعداد زمین‌لغزش	درصد زمین‌لغزش	مساحت زمین‌لغزش به هکتار
خطر خیلی کم	۱	۱/۲۳	۵/۴۶
خطر کم	۶	۷/۴	۲۱/۶۹
متوسط	۲۴	۲۹/۶۲	۱۲۹/۳
زیاد	۳۵	۴۳/۲	۱۹۲/۲۱
خیلی زیاد	۱۵	۱۸/۵۱	۴۰/۰۶
مجموع	۸۱	۱۰۰	۳۸۷/۷۲

امروزه، تصاویر حاصله از سنجش‌ازدور جدیدترین اطلاعات در جهت مطالعه رخدادهای روی زمین شناخته شده است. در این تحقیق تصویر ماهواره سنتینل با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر، به‌منظور شناسایی زمین‌لغزش‌ها (در حوضه آبریز شاهرود چایی)، با دقت‌های بالاتر کلاس‌بندی، به روش شیء‌گرا در محیط نرم‌افزار ۹,۱ eCognition Developer مورد پردازش قرار گرفتند. مناطق آسیب‌دیده از زمین‌لغزش‌ها، در یک تصویر با روشی بیشتری ظاهر می‌گردند. این ویژگی در زمین‌لغزش تازه رخ داده، توسط داده‌های سنجش‌ازدور به‌خوبی ثبت شده و به‌عنوان اولین معیار برای تشخیص تفسیر بصری تصویر استفاده می‌گردد. این تغییرات پوشش زمین را می‌توان برحسب NDVI، بهتر نشان داد که دارای سطوح پایین پوشش گیاهی است؛ بنابراین، NDVI به‌عنوان یکی دیگر از معیارها برای شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و جدا کردن آن‌ها از سایر مناطق مانند زمین جنگل، باغ و زمین محصول استفاده گردد. عوامل ناپایداری با سهم متفاوت در وقوع حرکات توده‌ای، به‌خصوص در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش دارند. نقش هرکدام از عوامل یاد شده با توجه به شرایط توپوگرافی، زمین‌شناسی و فعالیت‌های انسانی کاملاً متفاوت است. توپوگرافی نقش مهمی در میزان دسترسی افق‌های خاک به رطوبت دارد و روی میزان نفوذ آب و سرعت رواناب و حالت اشباع یا غیر اشباع بودن لایه‌های خاک تأثیر می‌گذارد. بیشتر حرکات دامنه‌ای در شیب‌های بالای ۷ درصد در ارتفاعات بالای ۱۳۷۰ متر رخ داده است، به نظر می‌رسد در شیب‌های کمتر از ۷ درصد و ارتفاعات کمتر از ۱۳۷۰ متر به دلیل کاهش تأثیر نیروی جاذبه بر دامنه‌ها و در شیب‌های بیشتر از ۲۸ درصد و در ارتفاعات بیشتر از ۲۶۰۰ متر به دلیل تضعیف فرایند خاک‌زایی به تبع آن عدم وجود مواد مستعد برای وقوع لغزش احتمال آن کاهش می‌یابد.

همچنین وجود جاده و رودخانه نقش افزایشی در وقوع زمین لغزش‌های منطقه داشته‌اند، به این دلیل که جاده‌سازی در دامنه‌های با شیب تندتر (بیش از ۱۵ درصد) به دلیل زیربری ناهمواری‌ها و رودخانه به دلیل فراهم کردن رطوبت کافی و افزایش قدرت تخریبی و فرسایش باعث کاهش پایداری دامنه‌ها شده و وقوع زمین لغزش را تسهیل می‌بخشد. همچنین ساختارهای زمین‌شناسی به‌ویژه گسل‌ها در شکل‌گیری و وقوع زمین لغزش‌ها نقش اساسی دارند. در اغلب موارد در کنار هر زمین لغزش و یا با فاصله کمی از توده لغزنده گسلی قرار دارد که ورود آب را به درون توده دارای پتانسیل لغزش تسهیل می‌کند. لازم به ذکر است که شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI و شاخص روشنایی (Brightness) اهمیت بیشتری در شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش دارند.

۴- جمع‌بندی

با مروری بر تحقیقات قبلی و مقایسه‌ی نتایج آن‌ها با یافته‌های پژوهش حاضر می‌توان دریافت که تحلیل‌های صورت گرفته و خروجی حاصل از این مقاله، نشان‌دهنده‌ی توانایی و کارایی بسیار زیاد تکنیک‌های شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای در استخراج زمین لغزش‌های منطقه موردنظر می‌باشد. با استفاده از تکنیک شیء‌گرا زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با دقت ۹۴ درصد و ضریب کاپای ۹۱ درصد شناسایی گردیدند. این دقت بالا بیشتر به این دلیل است که در این روش، علاوه بر استفاده از اطلاعات طیفی، از اطلاعات مربوط به محتوا، شکل، بافت و تن نیز برای طبقه‌بندی استفاده می‌شود؛ بنابراین با بهره‌گیری از اطلاعاتی غیر از ارزش‌های عددی در طبقه‌بندی تصاویر، موجبات افزایش دقت طبقه‌بندی می‌شود. نتایج این تحقیق با نتایج حاصله از پژوهش‌های صورت پذیرفته‌شده توسط فیضی زاده و بلاشکا (۲۰۱۳)، مارتا و همکاران (۲۰۱۰)، هوبلینگ و همکاران (۲۰۱۵) که همگی بر کارایی و توانایی بالای تکنیک پردازش شیء‌گرا در استخراج و آشکارسازی زمین لغزش‌های یک منطقه تأکید داشته‌اند، مطابقت دارد؛ و در ادامه کار جهت پهنه‌بندی منطقه مورد مطالعه از نظر خطر وقوع زمین لغزش مدل تحلیل شبکه (ANP) مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نقشه تهیه شده بخش‌های مرکزی منطقه مورد مطالعه از نظر وقوع زمین لغزش بیشترین پتانسیل وقوع زمین لغزش را دارد. با توجه به اطلاعات جدول شماره ۳، ۳۹/۱۳ درصد از اراضی محدوده مورد مطالعه به‌عنوان منطقه‌ای با پتانسیل خیلی زیاد برای وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده‌اند. از طرفی بررسی نتایج به دست آمده نشان داد که در مجموع تعداد ۸۱ زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش پردازش شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید که از این تعداد ۶۸ مورد با زمین لغزش‌های ثبت‌شده مطابقت کامل داشتند که نشان از دقت بالای پردازش شیء‌گرا در استخراج و شناسایی زمین لغزش‌ها می‌باشد و در ادامه مطابق جدول (۴)، مشاهده می‌گردد که از مجموع ۸۱ زمین لغزش شناسایی شده، تعداد ۵۰ زمین لغزش معادل ۶۱/۷۲ درصد زمین لغزش‌های رخ داده در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد رخ داده‌اند؛ و این نتیجه نیز دلالت بر کارایی مدل تحلیل شبکه در پهنه‌بندی منطقه مورد نظر از نظر وقوع خطر زمین لغزش می‌باشد.

کتابنامه

- روستایی، شهرام؛ عزیزاده، راحله؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنبالگان. فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. ۳۹۱۲. صص. ۱۷-۳۵.
- شادفر، صمد؛ ۱۳۸۴. ارزیابی تحلیلی مدل‌های کمی زمین‌لغزش به منظور دستیابی به مدلی مناسب برای حوضه آبخیز چالکرد. رساله دکتری تخصصی. دانشگاه تهران. دانشکده جغرافیا. ص ۲۲۵.
- عابدینی، موسی؛ پیروزی، الناز؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق روش‌های Hot Spot, ANP, WIC (مطالعه موردی: شهرستان خلخال) مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۳۲. صص ۱۹-۳۶.
- عابدینی، موسی؛ روستایی، شهرام؛ فتحی، محمدحسین؛ ۱۳۹۷. شناسایی و طبقه‌بندی انواع زمین‌لغزش با استفاده از ویژگی‌های طیفی و مکانی با رویکرد شیء‌گرا (نصیرآباد تا سد ستارخان اهر، نشریه علمی-پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۲۲. شماره ۶۶. صص ۱۸۷-۲۰۵.
- فرجی سبکبار، حسن علی؛ بدری، سیدعلی؛ مطیعی لنگرودی، سیدحسن؛ شرفی، حجت‌الله؛ ۱۳۸۹. سنجش میزان پایدار نواحی روستایی بر مبنای مدل تحلیل شبکه، با استفاده از تکنیک بردا مطالعه موردی: نواحی روستایی شهرستان فسا. پژوهش‌های جغرافیای انسانی (پژوهش‌های جغرافیایی). دوره ۴۲. شماره ۷۲. صص ۱۵۵-۱۳۵.
- فیضی زاده، بختیار؛ حاجی میررحیمی، سید محمود؛ ۱۳۸۶. آشکارسازی تغییرات فضای سبز شهر تبریز با استفاده از روش‌های شیء‌گرا.
- فیضی زاده، بختیار؛ ۱۳۹۶. ارزیابی تطبیقی تکنیک‌های پردازش پیکسل پایه و شیء‌گرا در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای Aster برای استخراج نقشه‌های اراضی کشاورزی و باغی در حاشیه شرقی دریاچه ارومیه. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی. دوره ۲۸. شماره ۱۰۹. صص ۱۸۳-۱۶۷.
- مددی، عقیل؛ بهشتی جاوید، ابراهیم؛ آقازاده، نازفر؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی و ارزیابی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز کندیرق چای با استفاده از مدل ANP. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال بیست و یکم. شماره ۶۲. پاییز ۱۴۰۰. صص ۲۶۰-۲۴۳.
- معزز، سمیه؛ روستایی، شهرام؛ رحیم‌پور، توحید؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز نهندچای با استفاده از مدل ANP و تکنیک GIS، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. سال ۸. شماره ۲. صص ۲۷-۲۳.
- نادری، فتح‌الله؛ ۱۳۹۸. امکان‌سنجی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کلارود با استفاده از GIS. فصلنامه جغرافیایی سرزمین. سال شانزدهم. شماره ۶۳. صص ۱۴۵-۱۳۲.
- نصیری، شهرام؛ ۱۳۸۳. نگرشی بر زمین‌لغزش‌های ایران (بررسی موردی: ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز). پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور. صفحه ۱.
- یمانی، مجتبی؛ احمدآبادی، علی؛ زارع، غلامرضا؛ ۱۳۹۱. به کارگیری الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز درکه). جغرافیا و مخاطرات محیطی - دانشگاه فردوسی مشهد. سوم. صص ۱۲۵-۱۴۲.

- Abedi Gheshlaghi H., & Feizizadeh B., 2017. An integrated approach of analytical network process and fuzzy based spatial decision making systems applied to landslide risk mapping. *Journal of African Earth Sciences* 133: 15-24.
- Abedini, M., & Tulabi, S., 2018. Assessing LNRF, FR, and AHP models in landslide susceptibility mapping index: a comparative study of Nojian watershed in Lorestan province, Iran. *Enviro Earth Sci* 77:405. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7524-1>.
- Comert, R., Avdan, U., Gorum, T., & Nefeslioglu, H. A. (2019). Mapping of shallow landslides with object-based image analysis from unmanned aerial vehicle data. *Engineering Geology*, 260, 105264.
- eCoginiton Developer 2012: Userguide, eCoginiton Developer Imaging.
- Feizizadeh, B., & Thomas B., 2014. An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility, *International Journal of Geographical Information Science*, 2014 Vol. 28, No. 3, 610–638, <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2013.869821>.
- Guzzetti, F., 2005. Landslide hazard and risk assessment. Ph. D Dissertation, Bonn.
- Hölbling, D., Friedl, B., Eisank, C., 2014. Object-based change detection for landslide monitoring based on SPOT imagery. In *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 16(3), 10634.
- Ihsan, Y., Metin D. d., 2007. Using the analytic network process (ANP) in a SWOT analysis – A case study for a textile firm, *Information Sciences* 177, 3364–3382.
- James D, H., Daniel L, C., Martha S, G., Sandy, p., Emily H, W., 2006. Tidal Wetland Classification From Landsat Imagery Using An Integrated Pixel-based and Object-based Classification Approach. *ASPRS 2006 Annual Conference Reno, Nevada*. May 1-5, 2006.
- Martha, T. R., Kerle, N., Jetten, V., van Westen, C. J., Kumar, K. V., 2010. Characterising spectral, spatial and morphometric properties of landslides for semi-automatic detection using object-oriented methods. *Geomorphology*, 116(1), 24-36.
- Roering, J. J., Kirchner, J. W., Dietrich, W. E., 2005. Characterizing structural and lithologic controls on deep-seated landsliding: Implications for topographic relief and landscape evolution in the Oregon Coast Range, USA. *Geological Society of America Bulletin*, 117(5-6), 654-668.
- Sanwei He, S., Pan, P., Dai, L., Wang, H., Liu, J., 2012. Application of kernel-based Fisher discriminant analysis to map landslide susceptibility in the Qinggan River delta, Three Gorges, China. *Geomorphology*, 171, 30-41.
- Yalcin, A., 2011. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena*, 72(1), 1-12.
- Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat—Turkey). *Computers & Geosciences*, 35(6), 1125-1138.